

Volumen 5 - Nº35 - 1996

CIENCIAHOY

Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la
Asociación Ciencia Hoy

ARTICULO

LAS MAYORES ENERGÍAS EN LA NATURALEZA

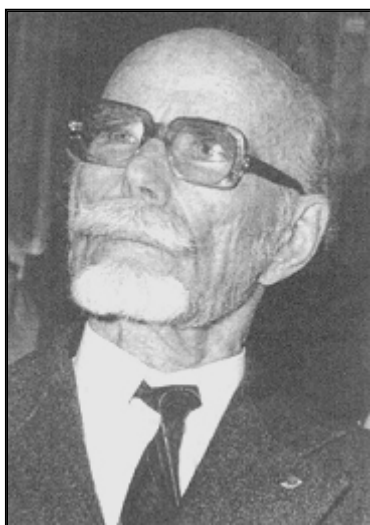
El Proyecto Pierre Auger

ALBERTO ETCHEGOYEN - ALBERTO FILEVICH

Laboratorio Tandar, Comisión Nacional de Energía Atómica

Ignoramos qué son, de dónde vienen y cómo se aceleran, pero sabemos desde hace treinta años que la capa superior de la atmósfera es bombardeada por un enjambre de partículas llamadas rayos cósmicos, y que algunas de ellas están dotadas de energías insospechadas.

Científicos de una veintena de países trabajan activamente en la instalación de dos observatorios gigantes, uno en el hemisferio sur y otro en el norte, extendidos sobre una superficie de 3000km² cada uno, capaces de detectar eficientemente dichos partículas. En noviembre de 1995, en una reunión realizada en la sede de la UNESCO, la Argentina fue elegida sede del componente austral de este ambicioso proyecto.



El físico francés Pierre Auger, descubridor de los chubascos de radiación cósmica, cuyo nombre lleva el experimento que explica esta nota.



Victor Franz Hess, descubridor de los rayos cósmicos, en un globo aerostático usado para mediciones de altura.

En abril de 1962, un detector de radiación cósmica ubicado en Volcano Ranch, Nuevo México, registró un hecho extraordinario: una lluvia o chubasco de partículas subatómicas, originado por un rayo cósmico primario, cuya energía superaba ampliamente a la de los más energéticos registrados hasta entonces. El descubrimiento se publicó luego de un largo y cuidadoso análisis de los datos. Han pasado más de treinta años y varios laboratorios instalados desde entonces (Haverah Park en Inglaterra, Yakutsk en Rusia, Agasa en Japón y Dugway en los EE.UU.) confirmaron la aparición ocasional de estas partículas, cuya altísima energía alcanza los 10^{20} eV (electrón-voltios), comparable con la que lleva una pelota de tenis en un saque, pero concentrada en una masa veinticuatro órdenes de magnitud menor (la relación entre la masa de la partícula cósmica y la de la pelota de tenis sería semejante a la que hay entre una gota y mil veces toda el agua de los océanos de la Tierra).

La decena de sucesos (en jerga suelen denominarse eventos) que sirvió para confirmar el detectado en Volcano Ranch permitió estimar que, en cada siglo, sólo llega una de esas partículas a cada km^2 de la superficie de la Tierra. Aun con instalaciones de detección que cubrieran superficies del orden del centenar de km^2 , se necesitaría esperar decenas de años entre un suceso y el siguiente. En tal marco, el mundo científico está tratando de entender el mecanismo por el cual, en algún lugar del universo, pudo haberse conformado un 'acelerador cósmico' capaz de impartir energías de esa magnitud a una partícula subatómica. Tal es la misión del proyecto Pierre Auger, así llamado en honor del físico francés que, en 1938, descubrió los chubascos cósmicos, esa lluvia de un gran número de partículas cósmicas. La comprensión del proceso podría abrirnos las puertas de una nueva física.

El conocimiento de la radiación cósmica data de comienzos de este siglo, cuando los científicos notaron que los instrumentos denominados electroscopios, capaces de medir carga eléctrica, se descargaban espontáneamente en breve tiempo. Estos dispositivos consisten en una placa cargada inmersa en un ambiente gaseoso perfectamente aislante. La única manera de explicar la descarga fue aceptar que, con el tiempo, el gas aislador se convertía en conductor de electricidad. Hacia 1910, el físico estadounidense de origen austriaco Víctor Franz Hess, que ganó el Nobel en 1936, y sus colaboradores, explicaron aquel hecho experimental mediante la idea de que existe una radiación muy penetrante, de origen cósmico, que incide sobre nuestro medio. Los mencionados investigadores la estudiaron con enorme inventiva y lograron determinar, en pocos años, muchas de sus propiedades. Su descubrimiento dio origen a una prolífica rama de la física que absorbió la atención de los estudiosos de las partículas elementales. Se descubrió que la radiación cósmica Consiste tanto en partículas cargadas -electrones, protones o núcleos de átomos más pesados- como neutras -fotones, neutrones y neutrinos-, que inciden permanentemente sobre el planeta; algunas provienen del Sol, pero muchas se originan fuera del sistema solar y una fracción importante procede de más allá de nuestra galaxia, la Vía Láctea.

Al llegar a la atmósfera terrestre, esos *rayos cósmicos* interactúan con los átomos de nitrógeno y oxígeno de esta, mediante procesos que han sido estudiados en laboratorios utilizando aceleradores de partículas. La radiación choca con los gases de la atmósfera y produce liberación de electrones, excitación de átomos y formación de nuevas partículas, que, a su vez, decaen o chocan con otras. Tiene así lugar una variedad muy grande de reacciones nucleares y subnucleares, de las cuales resultan muchas nuevas partículas que transportan la energía remanente, interactúan con otros átomos del gas atmosférico y dan lugar a una multiplicación del número de partículas. La energía de las partículas originales se emplea en crear muchas nuevas (recuérdese la equivalencia entre masa y energía, $E=mc^2$) y en imprimirles elevada velocidad.

Los chubascos resultantes pueden ser muy intensos (con más de 10^{11} nuevas partículas) y, si bien se dispersan por el espacio, tienden a conservar la dirección de la partícula que los desencadenó. Debido a las leyes de conservación de la energía y del impulso lineal (el producto de la masa por la velocidad de la partícula incidente), las partículas secundarias se mueven dentro de un cono cuyo eje corre en la dirección de incidencia. Un proceso similar se observa en una mesa de *pool* al iniciarse el juego: la bola que lanza el primer jugador choca con las que se encuentran en reposo y las impulsa hacia adelante. También el proceso de cascada tiene cierta similitud, ya que la bola propulsada por el jugador sólo transmite energía a aquellas con las que choca, las que, a su vez, sufren colisiones secundarias y originan un 'chubasco' de bolas de billar. En el caso cósmico la situación es un poco más compleja, por un efecto que está ausente en el billar: la creación y aniquilación de partículas.

El efecto de conservación del impulso lineal resulta muy útil para estudiar la radiación cósmica, porque, una vez determinada la dirección general de las partículas, inferimos la que traía la 'bola de billar': el rayo cósmico primario de energía ultraelevada que originó el chubasco. La atmósfera terrestre actúa como detector de radiación cósmica de muy alta energía y el resultado final de cada proceso de detección es un rápido y violento chubasco de electrones, rayos gamma, muones, neutrones y neutrinos, que se propaga por el aire siguiendo la dirección general del rayo primario. Sólo los rayos cósmicos de alta energía logran formar chubascos de tal magnitud que se advierten directamente en la superficie de la Tierra mediante detectores de radiación de diversos tipos. Los chubascos que tienen su origen en radiación de menor energía se extinguen en la atmósfera, a diferentes alturas. Desde el suceso de Volcano Ranch, se han registrado otros ocho rayos cósmicos de muy alta energía, a propósito de los cuales los científicos se formulan tres preguntas: ¿de dónde vienen y cómo se propagan?, ¿cómo resultan aceleradas las partículas? y, en definitiva, ¿qué son?

Sea cual fuere el lugar del que provengan, este debe encontrarse relativamente cercano a nosotros en términos cósmicos -es decir, a distancia menor que unos 300 millones de años luz ($2,84 \times 10^{21}$ km)-, porque una partícula cuya energía supere los 4×10^{19} eV se frenaría rápidamente por efecto de su interacción con la radiación de fondo de 2,7K (grados Kelvin), que se encuentra distribuida en todo el universo como remanente del Big Bang. Por ello resultó una gran sorpresa registrar sucesos en los que se midieron energías superiores a dicho valor, considerado de corte. pues se creía que, aunque pudiese haber fuentes capaces de producir tal energía, estarían demasiado lejos de la Tierra y las partículas llegarían con energía reducida. El mencionado valor de corte es la energía con la que terminaría asintóticamente una partícula, independientemente de la que tuviera inicialmente, si hiciera un recorrido suficientemente largo (Fig. 1).

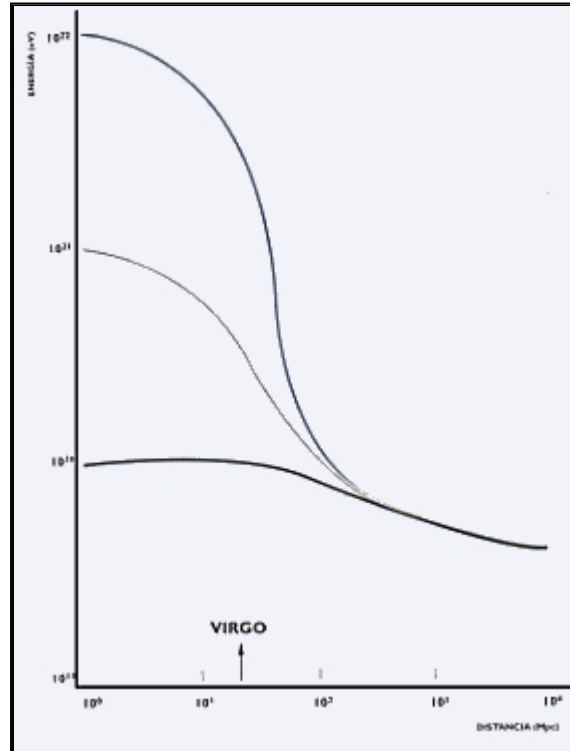


Fig 1.
 Valor asintótico o de corte de la energía de protones. Un protón con una energía mayor que 4×10^{19} eV la perdería hasta llegar a ese valor si recorriera el cosmos. Otras partículas más pesadas, por ejemplo los núcleos de hierro, tienen similar comportamiento.

ACELERADORES CÓSMICOS

Para explicar la existencia de radiación cósmica de alta energía, Enrico Fermi propuso en 1949 un mecanismo de aceleración basado en fenómenos electromagnéticos conocidos, como la acción de los campos magnéticos asociados con plasmas cósmicos. Fermi mostró que, en determinadas condiciones, en cada colisión de una partícula con esos plasmas magnéticos podía haber ganancia de energía. En este mecanismo es necesario que el producto de la intensidad del campo magnético por su extensión en el espacio sea proporcional a la energía. Esta es una fuerte razón para suponer que las partículas más energéticas se originan fuera de nuestra galaxia.

¿Cuáles son y dónde están los aceleradores posibles de partículas ultraenergéticas? Existen cuatro tipos de objetos con campos magnéticos de gran intensidad y extensión: las enanas blancas, las estrellas de neutrones, las galaxias de núcleos activos y las radiogalaxias. Los dos primeros son estados terminales de la materia estelar al final de su evolución; si bien poseen intensísimos campos magnéticos, su extensión no es grande y, por ende, difícilmente puedan ocasionar aceleraciones hasta las energías observadas. Las galaxias con núcleos activos muestran comportamientos energéticos catastróficos en su centro y las radiogalaxias poseen lóbulos muy extensos con campos magnéticos apreciables. Estos cuatro mecanismos son los únicos posibles en el marco de la física convencional; para postular otros habría que crear una nueva física. Tal vez los cuatro puedan imprimir energías de 10^{20} eV a partículas, pero estas tendrían que ser aún más energéticas para realizar el largo viaje hasta la Tierra y llegar en las condiciones registradas.

Para ser más precisos, en los cálculos de aceleración habría que incluir también los procesos de pérdida de energía. La aceleración se interrumpe cuando se pierde más de la que se gana; incluyendo estas pérdidas, sólo quedan como aceleradores posibles las radiogalaxias.

CIENCIAHOY

Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la
Asociación Ciencia Hoy

ARTICULO

El Proyecto Pierre Auger



Si las fuentes en cuestión estuviesen relativamente cerca, deberían ser objetos astrofísicos observables por métodos convencionales, como la astronomía óptica o la radioastronomía. De los nueve rayos cósmicos de energía ultraelevada registrados, dos despertaron gran interés. El más energético, con $3,2 \times 10^{20}$ eV, fue detectado por un telescopio flyps eye (ojo de mosca, tipo que se comentará más adelante) en Utah, y el segundo, con 2×10^{20} eV, se registró en Akeno, Japón. Dadas las direcciones de incidencia observadas, en ninguno de los dos casos se lograron identificar claramente fuentes convencionales cercanas, aunque hay dos posibles. Tampoco se conocen a ciencia cierta los mecanismos de aceleración, pero últimamente se han sugerido algunos cuya viabilidad aún debe verificarse median-te datos experimentales. Tales acelerado-res cósmicos deben realizar la proeza de eyectar partículas con energías mayores que 10^{20} eV, cien millones de veces mayo-res que las alcanzadas en el más potente acelerador construido, el Tevatrón, emplazado en el Fermilab, cerca de Chicago. Si bien las fuentes cósmicas deben ser cercanas, no pueden estar en nuestra galaxia, pues ella carece de las dimensiones y del campo magnético que se necesitarían (ver recuadro 'Aceleradores cósmicos').

En cuanto a qué son las partículas en cuestión, los candidatos normales serían los protones, los neutrones, los rayos gamma, los neutrinos y los núcleos pesados (estos son menos probables, pues en su viaje por el espacio chocan repetidamente con la radiación de fondo y tendrían alta probabilidad de desintegrarse).

Las cuestiones de proveniencia y modo de aceleración están muy relacionadas entre ellas, pues ambas ayudan a individualizar una fuente que debe estar cerca y para la que hay pocos candidatos. Un indicio para resolver el misterio está dado por las energías mayores que 10^{20} eV. La trayectoria de las partículas, en esencia, debe ser una línea recta, pues los campos magnéticos intergalácticos son muy débiles y no alcanzarían para curvarla significativamente. Esta particularidad (elevada *rigidez* magnética) debería permitir identificar la fuente, pues, observando la dirección de llegada, se puede reconstruir con poco error la trayectoria en el cosmos. Para explicar la índole de las partículas, podría ser necesario postular la existencia de una nueva clase de estas, quizá la misma que correspondería a la llamada materia oscura, que puede llegar a propagarse enormes distancias sin perder energía, por su muy baja probabilidad de interacción con la materia conocida.

¿Qué hacer para contestar las tres preguntas enunciadas? Para los físicos experimentales la respuesta es clara: hay que registrar más sucesos. La forma de lograrlo es construir detectores que cubran un área considerablemente más grande que los actuales. Así como Victor Hess, en la primera de muchas aventuras románticas corridas por los físicos con el afán de estudiar los rayos cósmicos, logró descubrir la radiación que descargaba los electroscopios balanceándose en un globo a 5000 metros de altura, hoy, muchos años después, se inicia otra de esas aventuras. Hace poco, una veintena de países decidió montar dos observatorios, uno en cada hemisferio, con el propósito de obtener los registros adicionales requeridos; esa es la iniciativa que recibió el nombre de proyecto *Auger* (ver recuadro '[Participantes](#)'). Como no sabemos hacia dónde mirar para establecer la proveniencia de los chubascos Cósmicos, es crucial observar la mayor porción posible del espacio: la instalación de dos observatorios obedece a la necesidad de escudriñar regiones diferentes del cielo y contrastar sus resultados. La búsqueda podría conducir a nuevas

fronteras del Conocimiento y la idea inicial del proyecto es otorgar atención preferente a aquellos sucesos en los que se registren energías mayores que 10^{20} eV.

PARTICIPANTES

Al momento, participan en el proyecto Auger científicos y técnicos de Alemania, Argentina, Armenia, Australia, Bolivia, Brasil, China, EE.UU., España, Francia, Gran Bretaña, India, Italia, Japón, México, Rusia, Suecia, Suiza y Vietnam. La conducción está en manos de James Cronin, de la universidad de Chicago, premio Nobel de física de 1980. Entre otras instituciones, intervienen numerosas universidades de los mencionados países, el Fermi National Laboratory (*Fermilab*), la Universities Research Association *Inc.*, la Granger Foundation, la National Science Foundation (los Cuatro de los EE.UU.) y la UNESCO.

Las comunidades científicas argentina y brasileña desempeñarán un lugar destacado en esta aventura científica. Del lado argentino, se cuenta con físicos y astrónomos pertenecientes al laboratorio Tandem; de la Comisión Nacional de Energía Atómica, la Comisión Nacional de Actividades Espaciales, el Instituto Balseiro/Centro Atómico Bariloche, las facultades de ciencias exactas y naturales de las universidades de Buenos Aires y La Plata, el Instituto de Astronomía y Física del Espacio, el **Instituto Argentino de Radioastronomía** y el Centro Regional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Mendoza (los tres últimos parte del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas). Del mismo modo, la comunidad científica brasileña ha tomado un fuerte compromiso con el proyecto; su sólido apoyo fue crucial para decidir emplazar el observatorio austral en la Argentina.

Los avances recientes en materia de Comunicaciones entre computadoras, usando telefonía celular, electrónica de baja potencia, energía solar y señales temporales muy precisas de satélites (*global Positioning satellital system*, GPS), permiten montar sistemas de detección autónomos extendidos sobre una gran superficie (unos 6000km^2 para los dos observatorios) que, se espera, puedan develar los secretos de una violencia cósmica cuyo resultado son las partículas de mayor energía observadas hasta ahora en el universo. En el pasado tal empresa habría resultado imposible, por la ausencia de los avances técnicos mencionados. El más grande observatorio actual, en Japón, ocupa un área de apenas 100km^2 , insuficiente para reunir una razonable cantidad de información, dada la frecuencia mencionada de una partícula por km^2 y por siglo.

Se espera que, en diez años, el proyecto Auger habrá registrado unos 600 rayos Cósmicos de energía mayor que 10^{20} eV número posiblemente suficiente para individualizar las fuentes, que deben provenir de regiones bien localizadas del espacio. Aun si se mantuviera la tendencia observada de que el flujo de partículas depende inversamente de su energía, es decir, que el número de detecciones decrece 100 veces por cada factor 10 de aumento en la energía, también se obtendrían cinco registros con energías mayores que 10^{21} eV. En caso de fracarsarse en la identificación de las fuentes, habrá que buscar nuevas soluciones, como considerar los llamados defectos topológicos ([ver recuadro 'Defectos topológicos'](#)), singularidades remanentes de los primeros instantes de existencia del universo.

El chubasco cósmico se mueve a considerable velocidad. Al atravesar el gas de la atmósfera, sus componentes se van frenando, por las interacciones que se producen. Mientras tienen lugar los procesos nucleares mencionados antes, en la escala atómica (es decir, en una escala mayor que la nuclear) se producen interacciones de origen puramente electromagnético, que remueven algunos de los electrones atómicos del gas y dejan átomos ionizados (o sea, con carga eléctrica neta distinta de cero). Los electrones remanentes se acomodan saltando entre órbitas, para migrar hacia el estado de menor energía, proceso del cual resulta una emisión de radiación electromagnética, en su mayor parte en la región del ultravioleta. Qué lástima que no podamos ver estos chubascos de radiación cósmica. Podrían ser un espectáculo formidable en noches despejadas y sin Luna; pero son extremadamente débiles y, por consistir en rayos ultravioletas, están más allá de la capacidad de nuestros ojos, de modo que sólo es posible registrarlos mediante instrumentos especiales. Estos recogen la mayor cantidad posible de esa luz y la concentran sobre un detector muy sensible mediante grandes espejos esféricos o parabólicos, que enfocan la radiación sobre un conjunto de dispositivos muy sensibles, llamados fotomultiplicadores. El conjunto de detección formado por los espejos, cada uno con fotomultiplicadores en su centro o foco, constituye un telescopio que, por su apariencia, recuerda al ojo de una mosca, nombre con

que fue bautizado. Por medio de impulsos eléctricos, el ojo de mosca permite reconstruir la forma, dimensión, dirección y energía de la partícula primaria incidente.

DEFECTOS TOPOLÓGICOS

Nos cuesta entender cómo un acelerador cósmico pueda incrementar gradualmente la energía de una partícula hasta los 10^{20} eV. Pero, tal vez, no es ese el mecanismo por el que una partícula adquiere tal energía, sino que, simplemente, podría 'nacer' con ella. Sin embargo, esta solución, la más simple, constituiría una revolución de la física y de nuestro conocimiento del universo, y por esta razón deberá ser muy cuidadosamente contrastada con los resultados de experimentos antes de ser aceptada. El modelo estándar (véase 'El último quark', CIENCIA HOY N° 26) plasma nuestro conocimiento de las partículas elementales -que son doce- y logra clasificarlas; por otra parte, se han inferido en forma experimental sus respectivas masas, las que están muy lejos de 10^{20} eV (recuerde nuevamente el lector la equivalencia entre masa y energía). Para alcanzar esa masa/energía tendríamos que estar en presencia de una nueva partícula supermasiva, como la X que postulan las grandes teorías unificadas (grand Unified theories, GUTS, es decir, agallas), que decaería en una variedad de otras entidades con muy altas energías (las asociadas con las GUTS son del orden de 10^{24} eV).

Una fuente de partículas X serían las cuerdas cósmicas, defectos topológicos del universo temprano en forma de estructuras filiformes (de allí su nombre); al encontrarse dos de ellas, según la teoría, interaccionarían fuertemente, con gran acumulación de energía inestable que se desintegraría en una explosión de partículas de la GUT. Una sencilla forma de identificar las cuerdas cósmicas podría ser advertir la presencia de un mayor flujo de rayos cósmicos de alta energía, que no podría ser explicada por los mecanismos convencionales de aceleración, pues, según ellos, se producen partículas en una gama continua de energía. Mientras las cuerdas cósmicas podrían generar partículas con determinado valor específico de energía.

Los chubascos originados por partículas cósmicas con altas energías pueden ser registrados en la superficie de la Tierra por distintos tipos de detectores. Algunos se basan en la ionización de la materia causada por el paso de la radiación, que libera cargas en el detector (igual que los chubascos lo hacen en la atmósfera) y, al ser estas recolectadas mediante campos eléctricos, originan una corriente cuya medición acusa el paso del chubasco. Hay detectores basados en el efecto Cherenkov, que se produce cuando una partícula cargada se mueve en un medio transparente con velocidad mayor que la que tendría la luz en dicho medio (igual a la que esta tiene en el vacío dividida por el índice de refracción del medio). En tales circunstancias ocurre una perturbación electromagnética que ocasiona emisión de luz, fenómeno con alguna similitud con la estela de una embarcación rápida que navega en aguas en reposo. En el caso de la partícula, la luz resulta emitida dentro de los límites de una superficie cónica, cuyo vértice es el punto en que la partícula entró al detector y cuya directriz es la dirección de su movimiento. Aprovechando el efecto Cherenkov -que lleva el nombre de Pavel Alexeievich Cherenkov, quien recibió el premio Nobel de física en 1958 por haberlo descubierto-, un tanque de agua hermético y oscuro puede servir como detector si se le agregan algunos fotomultiplicadores similares a los empleados en el ojo de mosca.



CIENCIAHOY

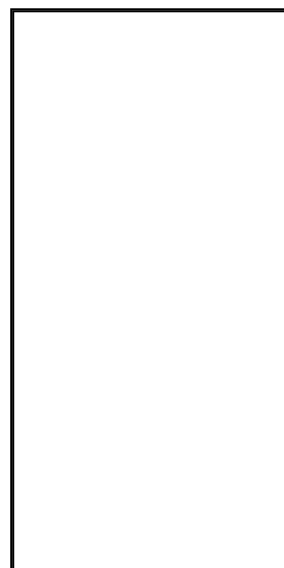
Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la
Asociación Ciencia Hoy

ARTICULO

El Proyecto Pierre Auger



El proyecto Auger tiene un doble cometido: detectar la luz emitida por el chubasco y también las partículas (gamma, electrones y muones) que hacen colisión con la Tierra. Por eso cada observatorio que se montará será híbrido: tendrá un telescopio óptico del tipo ojo de mosca y unos 1600 detectores de superficie esparcidos a lo largo y ancho de 3000 km². El telescopio óptico enfocará la misma región del cielo que los detectores de superficie, con el fin de duplicar las mediciones (dicho técnicamente, tener redundancia). En la figura 2 se puede ver un esquema del observatorio, dibujado en planta, y en la 3, una simulación por computadora de un chubasco cósmico. Se ha pensado en diversas opciones para diseñar el detector de superficie. Por ejemplo, utilizar dos láminas centelladoras plásticas de un par de centímetros de espesor separadas por una placa de plomo de dimensiones similares, formando una especie de sandwich pintorescamente denominado leadburger, configuración atractiva porque permitiría separar con relativa facilidad los componentes 'duros' (muones) del chubasco de los electromagnéticos (electrones y gamma). Otra posibilidad sería utilizar dos cámaras gaseosas separadas por una lámina convertora metálica (también en sandwich), las que igualmente permitirían una fácil separación de los componentes del chubasco. Con los flujos esperados de partículas, se estima que la superficie que cada detector deberá ocupar sobre el terreno, para que registre una muestra relativamente reducida pero suficiente del chubasco, será pequeña (unos 10m²). La utilización de detectores Cherenkov de agua parece la opción más conveniente, tanto desde el punto de vista operativo como económico, y ha sido adoptada provisoriamente aunque se continúan estudiando otros sistemas. Se ha pensado en tanques cilíndricos completamente llenos de agua, de aproximadamente 3,6m de diámetro (base de 10m²) y 1.2m de alto ([ver recuadro 'Prototipo de detector Cherenkov instalado en el laboratorio Tandar'](#)), emplazados a 1,5km entre ellos, formando una red de hexágonos que cubra 3000 km². La celda unitaria consistiría en siete detectores, seis en los vértices del hexágono y uno en su centro, y cada detector tendría, posiblemente, tres fotomultiplicadores en su parte superior, un panel solar y plaquetas electrónicas de adquisición de datos y de comunicaciones (Fig. 4), que medirían y transmitirían la intensidad de la radiación Cherenkov producida por las partículas del chubasco al atravesar el medio detector transparente de agua pura.



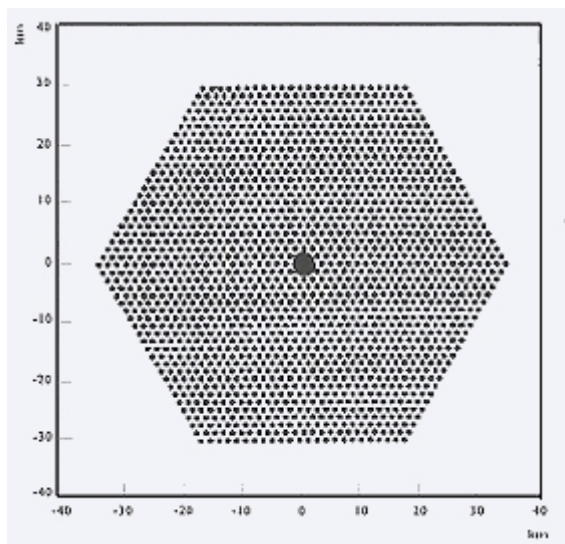


Fig 2
Planta esquemática del sistema de detección de superficie. Cada punto representa un detector que ocupa un area de 10m² y esta a 1,5km de sus detectores vecinos. En el centro, el telescopio óptico.

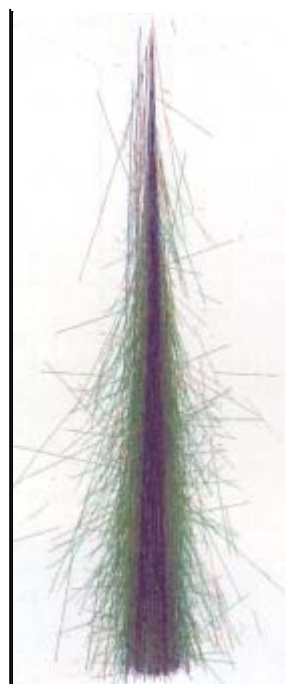
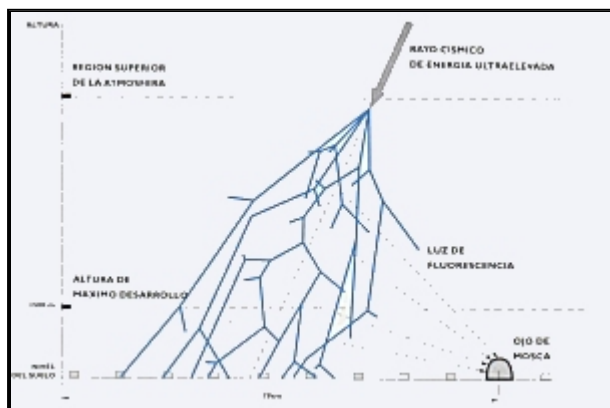


Fig 3
Simulación por computadora de un chubasco de radiación incidente sobre la tierra.



Estructura del chubasco simulado en la Fig 3

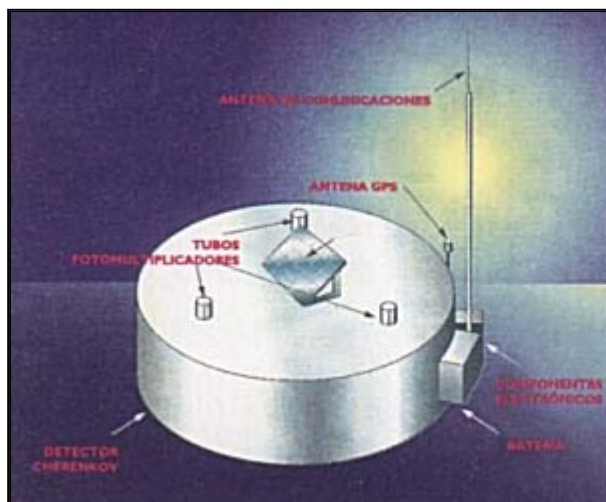


Fig 4
Diseño conceptual de detectores basadas en el efecto Cherenkov. El tanque contiene agua pura y es controlado por tres fotomultiplicadores (detectores muy sensibles de luz) cuyos pulsos eléctricos, una vez localmente, son comunicados por la antena a seis detectores vecinos y comparados con registros de estos. En caso de producirse coincidencias, se informan por la misma vía a la estación central. La antena GPS se utiliza para controlar el tiempo con gran precisión. Los paneles solares aseguran la autonomía energética de las estaciones

¿Cómo se recogería la información? Tender cables que conecten todos los detectores dispersos en 3000km² (un círculo de unos 30km de radio, o cuyo diámetro equivalga aproximadamente a la distancia entre Buenos Aires y La Plata) no es una solución posible. Por ello se ha pensado en que las estaciones de medición sean autónomas, con paneles solares como fuente de energía y capacidad de enviar y recibir datos por radio. Las partículas secundarias de un chubasco causado por un rayo cósmico de 10²⁰eV se extenderán en un círculo de unos 5km de diámetro y serán registradas. por lo tanto, en varios detectores. Pero los sucesos de interés -que denominaremos señal- serán muy poco frecuentes (uno por km² y por centuria), por lo que durante la inmensa mayoría del tiempo los detectores estarán registrando sucesos que no interesan a los fines del proyecto (por ejemplo, rayos cósmicos de menor energía), y que denominaremos ruido. La aparición de una señal vendrá indicada

por el número de detectores que se activen simultáneamente y por el número de partículas que registre cada uno de ellos, ya que, cuanto mayor sea la energía, más intenso es el chubasco. Los tanques deberán poder discernir localmente si están en presencia de una señal o de ruido; a tal efecto se comunicarán entre vecinos, por un sistema similar a la telefonía celular; cada vez que detecten partículas. Cuando haya coincidencia (un número prefijado de detectores consecutivos -digamos tres en una celda de siete- detecte, por ejemplo, cuatro partículas cada uno en el mismo pequeño intervalo), se considerará recibida la señal de un chubasco y la red mandará la información a la estación central para su análisis. Los relojes de los tanques deberán estar sincronizados; el tiempo sería medido con información satelital del sistema GPS, con una exactitud relativa cercana a los 10ns (nanosegundos, milmillonésimas partes de segundo). La necesidad de esta gran precisión en la medida del tiempo se debe a que el conocimiento preciso del instante de llegada de las partículas a cada detector es necesario para determinar la dirección de avance del chubasco y, por extensión, la de la partícula de alta energía que lo produjo y la región del cielo de la que proviene el rayo cósmico. Por otro lado, será también importante conocer el tipo de partículas que componen las diferentes partes del chubasco, porque ello tiene relación con la composición del rayo cósmico primario. Si en cada detector se pudiera discriminar entre los muones y las componentes electromagnéticas se obtendría información sobre la química de los rayos cósmicos.

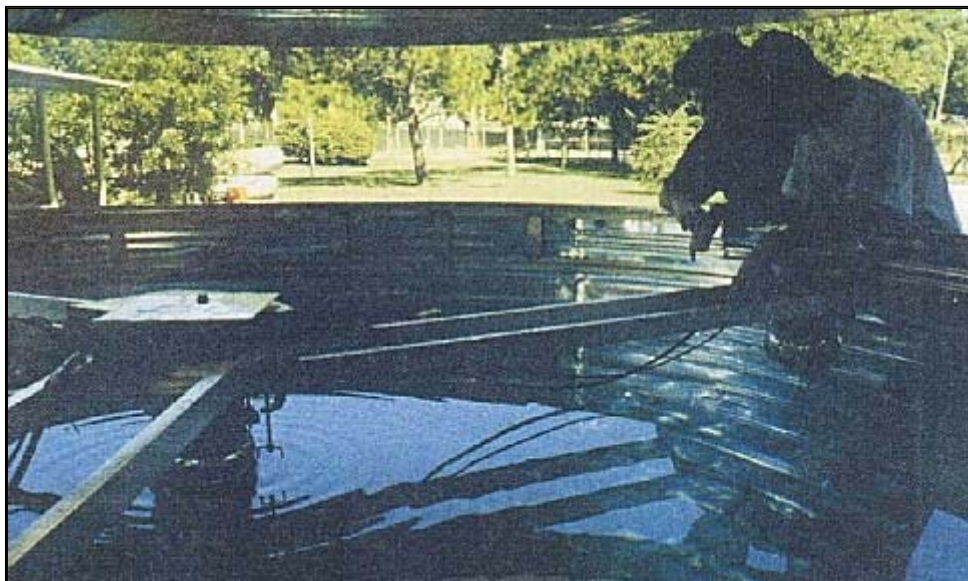
Una vez que los datos lleguen a la computadora de la estación central se almacenarán y pondrán a disposición (vía las redes de comunicación científica, como la Internet) de los miembros del proyecto para su estudio. El análisis detallado de los datos producidos en forma simultánea por los detectores Cherenkov y por el ojo de mosca se facilitará mediante complejos programas de simulación, para reconstruir los sucesos y conocer la energía, la Composición química y la dirección de proveniencia en el espacio de la radiación cósmica primaria. La precisión de las mediciones se verá asegurada por la redundancia de los registros: de allí la importancia de contar con un sistema híbrido compuesto por el ojo de mosca y los detectores de superficie. Si bien el proyecto consiste en un experimento muy importante de física, es también una gran experiencia de colaboración entre científicos e instituciones de muchos orígenes. Ambos aspectos son importantes. El proyecto Auger está abierto a científicos de todos los países que quieran participar; como toda empresa de esta envergadura, tendrá consecuencias importantes en la formación y retención de recursos humanos. A instalar el observatorio en la Argentina seguramente contribuirán científicos, estudiantes, técnicos y empresas, tanto locales como de la región, en particular del Brasil, de cuyos investigadores e instituciones se espera una participación muy activa. La realización del observatorio requerirá la aplicación de variadas técnicas: electrónicas analógicas y digitales de bajo consumo, comunicaciones, adquisición de datos por telemetría, microprocesamiento rápido de información en redes, simulación, reconocimiento de estructuras lógicas, empleo de redes satelitales para sincronización y posicionamiento, administración de grandes sistemas tecnológicos, tratamiento de agua, etc. Pero el proyecto Auger, fundamentalmente, es una empresa de ciencia pura y, como tal, su mayor contribución será la posibilidad de hacernos avanzar un paso más en el conocimiento del universo y en la satisfacción de una de las más importantes y nobles inquietudes del género humano: la curiosidad intelectual.

PROTOTIPO DE DETECTOR CHERENKOV INSTALADO EN EL LABORATORIO TANDAR

Con la idea de ensayar el funcionamiento de los detectores Cherenkov de agua, y de contribuir experimentalmente al diseño de los que, finalmente, serían utilizados en el proyecto Auger, se construyó un prototipo de tamaño natural y se lo instaló en Buenos Aires, en el laboratorio Tandar de la CNEA. Los parámetros de diseño del instrumento se redujeron a que ocupara una superficie de 10m² y a que se eligiera la profundidad mínima del elemento sensible (agua) que fuera suficientemente eficaz en la detección de las partículas provenientes de los chubascos de radiación cósmica. Mediante simulaciones realizadas con computadoras, se estudia en estos momentos la respuesta del detector al ingreso de una partícula energética, según diferentes alturas del agua y distintas posiciones en el tanque de los fotomultiplicadores. Tales simulaciones tienen en cuenta todos los fenómenos nucleares, atómicos y estadísticos inherentes al proceso de detección y contemplan detalladamente la geometría y los materiales utilizados en el tanque. Al mismo tiempo, se observan los pulsos eléctricos producidos por el prototipo ante la llegada de la radiación cósmica real, que tiene lugar en toda la superficie de la Tierra. Comparando los resultados del cálculo teórico y del experimento, se espera lograr un conocimiento suficientemente preciso del comportamiento de estos mecanismos de detección para poder llegar a un diseño óptimo del detector.

Un problema no trivial a resolver es mantener el agua en estado de perfecta transparencia a lo largo del tiempo de operación del observatorio. Se espera que ese lapso se extienda, por lo menos, por veinte años y se desea, por impráctico y costoso, evitar cambiar o reponer el agua de 1600 estaciones dispersas en 3000km². Se están haciendo estudios para determinar las condiciones que garantizarían

la óptima conservación del agua.



Prototipo de detector Cherenkov instalado en el Laboratorio Tandar

PEQUEÑO GLOSARIO

Año-Luz: unidad usada en astronomía para medir distancias, equivalente a la que recorre la luz en un año, o $9,461 \times 10^{12}$ km.

Electrón-voltio (eV): energía que adquiere un electrón cuando atraviesa una diferencia de potencial de un voltio.

Fly's eye (ojo de mosca): telescopio óptico segmentado, formado por espejos parabólicos o esféricos, cada uno con fotomultiplicadores en su foco o centro, que se asemeja al ojo de una mosca.

Fotomultiplicador: detector de luz muy sensible que, al recibir la incidencia de fotones, libera electrones, los cuales son acelerados y liberan más electrones, el resultado es una corriente eléctrica que se puede medir.

Global positioning satellital system (GPS): sistema que permite medir, con mucha precisión, el tiempo y la ubicación de un punto sobre la superficie de la Tierra, mediante una red de satélites.

Ion: átomo con carga eléctrica neta distinta de cero.

Luz o radiación de Cherenkov: luz -en la zona de los azules o ultravioleta- emitida por partículas cargadas eléctricamente cuando atraviesan un medio transparente a mayor velocidad que la que puede alcanzar la luz en dicho medio.

Muón: partícula cargada eléctricamente, de la familia del electrón, pero unas 200 veces más pesado.

Neutrino: partícula de la familia del electrón, pero sin masa ni carga.

Rayo cósmico: partículas energéticas que entran en la atmósfera terrestre, provienen del sistema solar, de la galaxia de la que formamos parte (la Vía Láctea) o el espacio intergaláctico.

Rayo gamma: radiación electromagnética de energía elevada.

Ruido: dato registrado por un detector y carente de interés para el experimento.

Señal: dato de interés para el experimento registrado por un detector

Via Láctea: nombre de nuestra galaxia.

Los autores agradecen a Aníbal Gattone su cuidadosa lectura del manuscrito.

