

Futuro En la mina más profunda del hemisferio Norte se ha abierto una ventana hacia el Sol. Es el observatorio de Sudbury (Canadá), en el que los científicos detectan el flujo de neutrinos procedentes de la estrella para estudiar las reacciones que la hacen lucir. La visita a este laboratorio desvela el fascinante mundo de la física de partículas.

Caza de neutrinos en una mina de níquel

A más de dos kilómetros bajo tierra, en Canadá, los físicos investigan cómo funciona el Sol

FALICIA RIVERA, Sudbury Fraser Duncan está esperando junto a la boca de la mina de Creighton, en Sudbury (Canadá) a primera hora de la mañana. Hay que darse prisa para no perder el ascensor de los mineros que baja a las galerías, y antes hay que ponerse todo el equipo idéntico al de los hombres y mujeres que descienden a arrancar el mineral de níquel y cobre, incluidos mono de trabajo, casco, linterna, baterías en el pesado cinturón, botas y gafas de protección. Duncan no es minero, sino director del detector del Observatorio de Neutrinos de Sudbury (SNO), un exclusivo y avanzado laboratorio de física de partículas alojado en una cavidad excavada junto a una de las galerías de la mina, a 2.070 metros de profundidad.

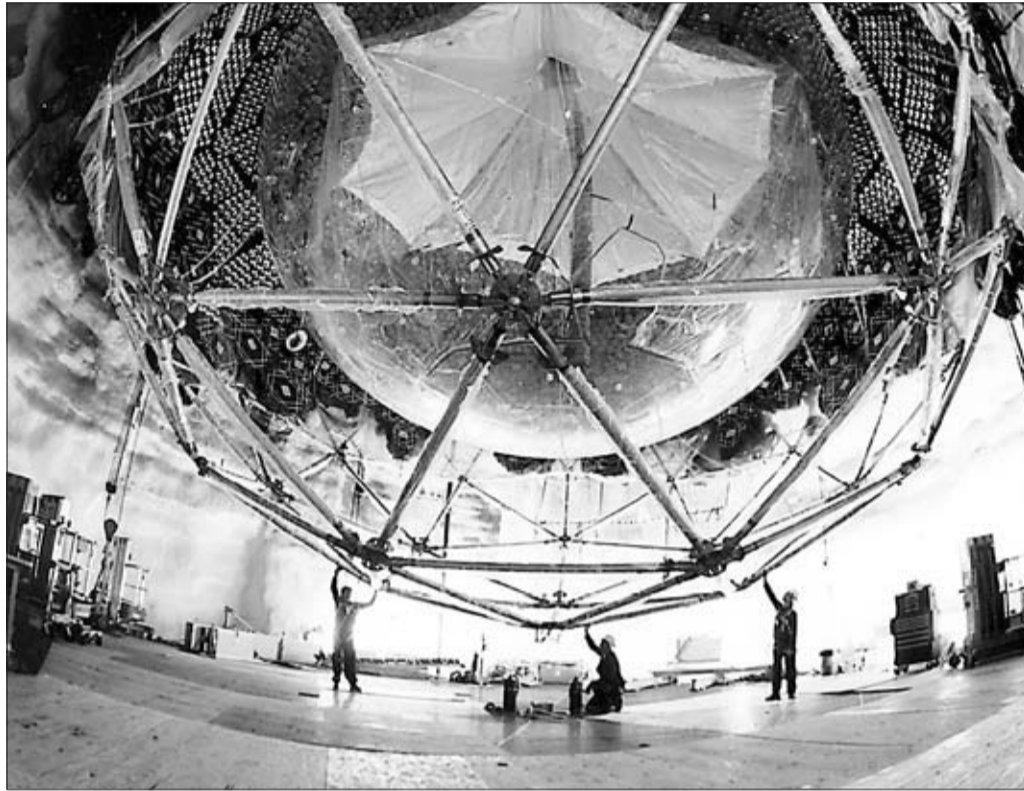
Aunque subterráneo, el SNO es un observatorio solar, dicen los científicos, que se han parapetado ahí abajo para poder detectar los fantasmagóricos neutrinos que traen información de las reacciones por las que luce la estrella.

La preparación para el descenso al SNO empieza en los barracones del exterior de la mina que alojan el centro de operaciones del detector, unido al mismo por 3,8 kilómetros de fibra óptica. Ahora está todo en obras debido a la ampliación emprendida.

Con el atuendo de minero ya completo y revisado, y tras depositar una chapa individual de identificación en los tableros de la entrada de la mina (para controlar en todo momento qué personas están abajo), se accede al ascensor con los obreros del turno que descienden a las galerías. La cabina de hierro mal iluminada baja a toda velocidad por el pozo. En el penúltimo nivel, a 2.070 metros, arranca una galería horizontal de un kilómetro y medio que hay que recorrer a pie hasta la entrada del SNO. "Trajimos todos los equipos del detector y del laboratorio en piezas que entraron en el ascensor y en las vagonetas de la mina", explica Duncan durante la visita especial para EL PAÍS, organizada por el Gobierno canadiense.

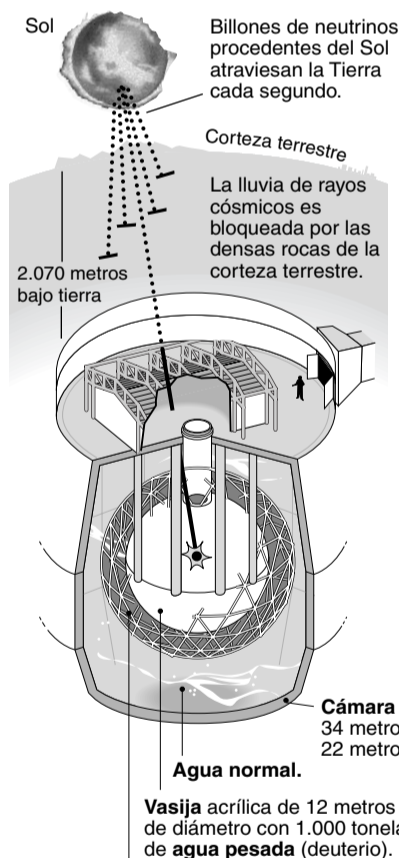
Por fin una simple puerta de hierro en la galería, sin banderolas ni placas llamativas sino con carteles recordando la obligatoriedad de lavarse las botas antes de entrar para eliminar el polvo de la mina, indica que se ha llegado a uno de los laboratorios de física más importantes del mundo. Las operaciones obligatorias para cruzar el umbral hacia ese habitáculo ultralimpio no han acabado: nada más entrar hay que quitarse el atuendo de minero y toda la ropa que uno lleva, ducharse con agua, luego ponerse ropa del laboratorio y pasar por una ducha de aire a presión. La roca está caliente a esta profundidad y la presión es un 25% más alta que en la superficie.

"Los neutrinos son las partículas elementales más abundantes del universo, después de los fotones", señala el director del detector. ¿Entonces, por qué este complejo laboratorio subterrá-



Detección de neutrinos en agua pesada

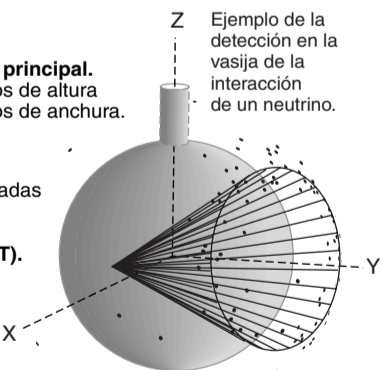
EL COMPLEJO SUBTERRÁNEO



CÓMO SE DETECTA POR LA LUZ

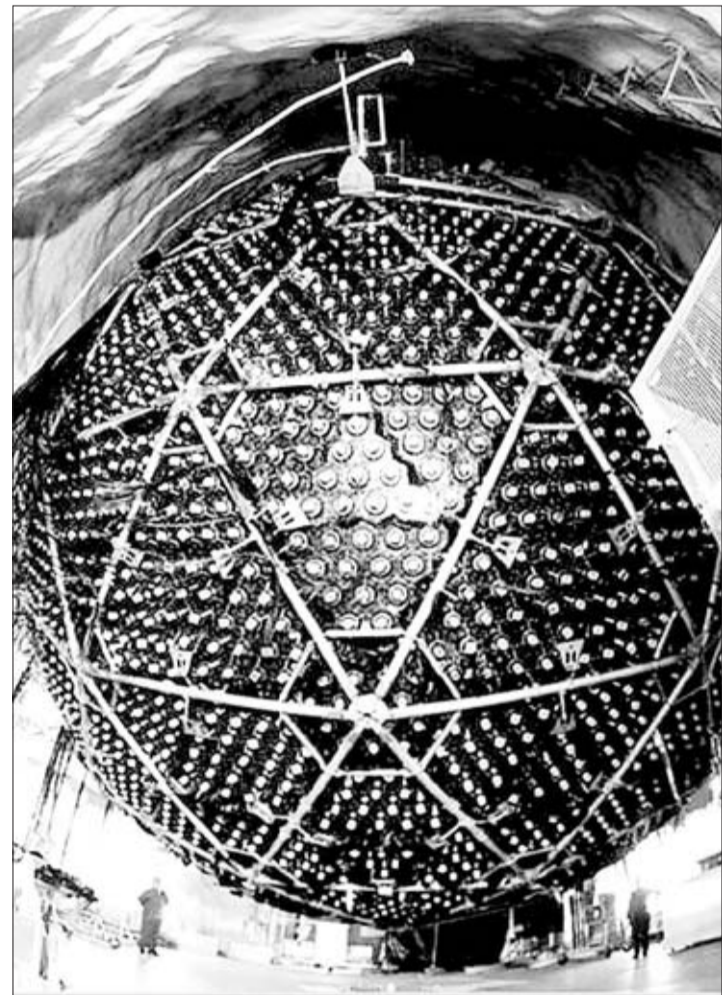
Un neutrino impacta en un átomo de deuterio del agua pesada y desprende un electrón que emite luz. Esta es registrada por algunos de los casi 9.500 detectores de luz del experimento.

1. Neutrino del electrón
2. Colisión con deuterio del agua pesada
3. Se desprende un electrón
4. Radiación de luz Cherenkov
5. Detector de luz



Estructura con los fotodetectores (PMT). Alrededor de la esfera hay instalados 9.456 fotodetectores. Las señales que reciben son analizadas para conocer la dirección de viaje de los neutrinos.

Fuente: Observatorio de Neutrinos de Sudbury.



El detector de neutrinos de Sudbury durante su construcción (arriba, izquierda); Fraser Duncan, director del mismo, muestra equipos electrónicos del laboratorio en la sala de calibración durante una visita reciente (arriba, derecha) y la vasija de agua pesada completamente rodeada de fotodetectores durante el montaje de la misma (abajo). / SNO / A. R. / SNO

neo? ¿De qué protegen los físicos su detector? Sencillamente porque los neutrinos apenas interactúan con la materia, y por eso miles de millones de ellos atraviesan constantemente cualquier cosa, incluido el cuerpo humano, sin dejar rastro. Para cazar alguno hay que estar mirando atentamente con equipos especiales un gran volumen de materia transparente con la que muy de vez en cuando interactúa un neutrino. "Aquí detectamos unos do-

ce al día", comenta Duncan. La ubicación bajo tierra es esencial porque así la roca actúa como protección frente a los rayos cósmicos que constantemente bombardean el planeta y que enmascaran la esporádica y débil firma de los neutrinos. SNO, una colaboración de Canadá, EE UU y el Reino Unido, no es la única trampa de estas partículas elementales, pero sí la mejor aislada, en comparación con otros detectores similares (en Japón, en EE UU y

en Europa), señala Duncan. 60.000 toneladas de roca se excavaron en la mina de Creighton para alojar la trampa de neutrinos. Y ahora se está ampliando el laboratorio con otras dos salas para otros experimentos; la primera de ellas estará lista el próximo otoño. El corazón del detector actual, que empezó a tomar datos en 1999, es una vasija acrílica que contiene mil toneladas de agua pesada prestadas al SNO por Atomic Energy of Canada

Limited. La vasija, de 12 metros de diámetro, está sumergida en 7.000 toneladas de agua ligera contenida en la cavidad de la roca.

Alrededor de la vasija acrílica hay 10.000 fotodetectores de 20 centímetros de diámetro que ven la luz generada en las interacciones de los neutrinos con el agua pesada. "Cada año se estropea el 1% ó el 1,5% de estos fotodetectores, pero no podemos entrar a sustituirlos; tendrían que hacerlo

Pasa a la página siguiente

Futuro

Viene de la **página anterior** buzos y sería extremadamente arriesgado", explica el director del detector.

El control del agua es esencial en el SNO. Richard Ford es responsable del filtrado y control de calidad en una sala excavada en la roca y llena de conductos. No sólo hay que vigilar el agua pesada, sino también el agua ligera tiene que tener un nivel de pureza altísimo. El agua ligera, explica Ford, absorbe los rayos gamma y los neutrones generados en la roca; además, hay que extraer de ella los elementos procedentes de la desintegración radiactiva natural, que también interfieren en el ultrasensible detector de neutrinos.

Pese a todas las medidas de aislamiento, cada día se identifican en la sala de control muchísimas señales que no son neutrinos. Se registran unas 10.000 desintegraciones radiactivas por cada neutrino cazado. Los datos llegan simultáneamente aquí y al centro de operaciones en el exterior.

Diana Dragomir está de guardia en la sala subterránea pendiente de los monitores; siempre hay al menos una persona en el control, y una veintena en total se turnan en Sudbury para operar el complejo. Además, un centenar de cientí-

neutrinos solares y han solucionado definitivamente una grave incongruencia que mostraban antes los experimentos y que era un serio quebradero de cabeza científico desde hace décadas.

El problema era el déficit de neutrinos solares: si el Sol funcionaba como los físicos creían, debería producirse una cantidad precisa de neutrinos, pero los detectores en la Tierra veían muchos menos. ¿Dónde estaban los que faltaban? ¿O es que los físicos no entendían cómo ardía el Sol? La respuesta es una teoría atrevida: existen tres tipos de neutrinos (del electrón, del muón y del tau) y, aunque los que se producen en las reacciones solares son neutrinos del electrón, bien antes de salir de la estrella o al recorrer los 150 millones de kilómetros en su viaje a la Tierra, muchos cambian de identidad y nos llegan convertidos en neutrinos del muón o del tau.

Como los detectores antes sólo eran sensibles a los del electrón cazaban muchos menos de los debidos ya que el resto, camuflados de neutrinos del muon o del tau, pasaban desapercibidos. Esto se llama oscilaciones de los neutrinos e implica, según la teoría, que estas partículas elementales tienen masa, aunque sea minúscula, en contra de lo que se conjeturaba antes. "El SNO es concluyente sobre la solución del problema de los neutrinos solares por la oscilación", afirma Duncan.

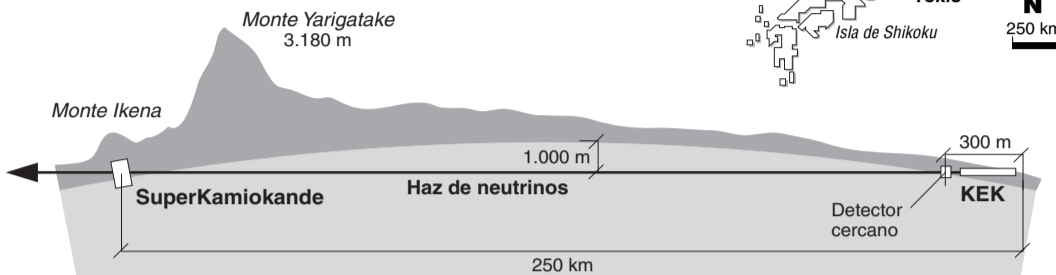
Desde la superficie avisan, a primera hora de la tarde, que va a subir el ascensor, y todavía hay que ponerse la ropa de minero y recorrer la galería de regreso para salir.

El níquel de Sudbury esta asociado a las deformaciones geológicas provocadas por un meteorito que impactó hace millones de años, creando el gran cráter que domina el paisaje. La explotación minera, con una contaminación intensa y extensa de lluvia ácida, redujo la región a un páramo de rocas renegridas y deforestado.

La zona goza hoy de un paisaje arbolado y la mayoría de los lagos han vuelto a albergar vida, explica Jorge Virchez, geógrafo de la Laurentian University. Las medidas anti-contaminación de las empresas mineras y los esfuerzos de las autoridades locales y de la población, con la participación de investigadores de la universidad, han blanqueado las rocas y recuperado la vegetación de Sudbury, que no sólo quiere ser famoso por alojar bajo tierra la más insólita trampa de neutrinos solares, sino también por superar, en la superficie, la devastación provocada por la acción humana.

Experimentos en Japón

El Superkamiokande es un detector de neutrinos que consta de un depósito con 50.000 toneladas de agua situado en una mina de zinc en Japón, a 1.000 metros de profundidad. El detector está rodeado de 11.000 fotodetectores que registran la luz que producen los neutrinos al chocar con el agua. En recientes experimentos se han disparado haces de neutrinos desde el acelerador KEK hasta el Superkamiokande.



Fuente Superkamiokande.

EL PAÍS

Oscilaciones de neutrinos

El fenómeno cuántico tiene implicaciones en física y en cosmología

ENRIQUE FERNÁNDEZ
La energía radiada por el Sol en forma de ondas electromagnéticas, que percibimos en forma de luz y calor, tiene su origen en las reacciones de fusión nuclear que ocurren en su interior. En ellas también se producen neutrinos electrónicos. Hasta la llegada de SNO [Sudbury Neutrino Observatory, en Canadá] los detectores de neutrinos solares eran capaces de registrar solamente este tipo de neutrinos y casi todos encontraban que a la Tierra llegaban menos de los esperados de acuerdo con la teoría generalmente aceptada del funcionamiento del Sol.

Pero como los experimentos con neutrinos tienen la merecida reputación de ser difíciles y la teoría solar no menos, la discrepancia era considerada con escepticismo. Todo cambió en 1998 cuando la colaboración japonesa-estadounidense SuperKamiokande (SK), en Japón, concluyó de manera clara que los neutrinos de una determinada clase podían transformarse, espontáneamente, en otros de otra clase distinta, un fenómeno cuántico de gran interés en sí mismo que solamente puede ocurrir si los neutrinos tienen masa finita, y no cero como se había supuesto hasta entonces.

Pero el problema no resultó ser fácil de elucidar. Los investigadores de SK estudiaron los neutrinos producidos en la atmósfera por los rayos cósmicos (partículas que nos llegan del espacio) que son tanto del tipo electrónico como muónico (en proporción de uno a dos) y tienen

una energía muy superior a los producidos en el Sol. A esta energía SK detecta ambos tipos, a diferencia de lo que ocurre a la de los solares, para los que sólo detecta los de tipo electrónico. Los peculiares neutrinos llegan a SK desde todas las direcciones, tanto los producidos en la atmósfera por encima de Kamioka a unos 20 kilómetros de altura, como los producidos en las antípodas a 12.000 kilómetros, que entran en el detector desde abajo. ¿Qué se encontró en SK? Pues

En el experimento K2K participan dos grupos españoles, de Valencia y de Barcelona

que los neutrinos muónicos que vienen de lejos son menos de los esperados en ausencia de oscilación, es decir parecen oscilar, mientras que ello no ocurre para los neutrinos electrónicos, es decir estos no oscilan. Sin embargo, los neutrinos electrónicos producidos en el Sol sí que oscilan antes de llegar a la Tierra. La explicación del puzzle es que la oscilación depende entre otras cosas de la energía, de la distancia, del tipo de neutrino y, en el caso de los electrónicos, de la densidad de la materia por donde pasan.

Con la llegada de los datos de SNO el rompecabezas de los neutrinos solares está casi totalmente resuelto, y a su solución han contribuido de manera destacada físicos

de la Universidad de Valencia, ahora en EE.UU. Los resultados de SK se han comprobado recientemente de manera controlada con el experimento K2K en el que participan dos grupos españoles, de la Universidad de Valencia/IFIC y de la Universidad Autónoma de Barcelona/IFAE. Para este experimento se envía un haz de neutrinos muónicos desde el laboratorio KEK situado al norte de Tokio, al detector SuperKamiokande, a 250 kilómetros de distancia.

Antes de iniciar su viaje los neutrinos pasan por un detector cercano situado en el propio laboratorio. Con los datos tomados hasta ahora se esperaba que en SK se registrasen 151 interacciones en ausencia de oscilación, mientras que las observadas han sido solamente 108. La disminución corrobora un resultado preliminar anterior (con menos registros) y concuerda con los parámetros de la oscilación que se desprenden de los resultados de neutrinos atmosféricos. Además, por primera vez, se observa claramente que la desaparición de los neutrinos ocurre principalmente en una región de energía determinada, un fenómeno característico de la oscilación. Las oscilaciones tienen muchas implicaciones tanto en física de partículas como en astrofísica y cosmología. Desde 1998 hasta ahora el avance ha sido enorme pero quedan muchos cabos sueltos por atar con los esquivos neutrinos.

Enrique Fernández es catedrático de la Universidad Autónoma de Barcelona y director del Instituto de Física de Altas Energías (IFAE).

El detector es una vasija con mil toneladas de agua pesada prestadas al SNO

ficos de varias universidades están directamente implicados en los experimentos, y unas cuantas decenas más participan en el análisis de sus resultados. El coste de funcionamiento anual del SNO es de tres millones de euros al año.

Sobre el detector está la zona de calibración y la caverna que aloja parte de los equipos electrónicos. "Estos son los 10.000 cables de cada uno de los fotodetectores", muestra Dundan. "Y de estos sensores cuelga la estructura de la vasija de agua pesada".

En SNO mide el flujo de neutrinos de tres maneras independientes, lo que da una gran solidez a sus resultados: las reacciones de corrientes cargadas, las reacciones de corrientes neutras y la llamada de colisión con electrones.

Pese a que un laboratorio subterráneo parece el sitio más raro que se pueda elegir para ver el Sol, aquí precisamente los físicos han medido el flujo invisible de

Descubre Almuñécar
Costa Tropical - Granada

RESERVANDO 2 MESES ANTES DE LA FECHA DE SALIDA * -7%

PENSIÓN COMPLETA A PRECIO DE MEDIA PENSIÓN	7 NOCHES A PRECIO DE 6	Hotel Bahía Tropical **** desde 43,75 € AD
Hotel Almuñécar Playa **** desde 88 € MP	Hotel Victoria Playa *** desde 47,25 € MP	Hotel Sol Los Fenicios **** desde 54 € AD
Hotel Playacálida **** desde 88,50 € MP	Hotel Helios Costa Tropical *** desde 54,50 € MP	Hotel Almijara *** desde 37,25 € AD
2 NIÑOS GRATIS	15% DE DESCUENTO Para 7 o más noches de estancia.	Apartamentos Chinasol 3LL desde 49,50 € MP
Hotel Suite Albayzín del Mar **** desde 46,64 € AD		

Precios por persona y noche en habitación doble (excepto Apartamentos Chinasol en estudio doble y Hotel Suite Albayzín del Mar en suite ocupado por 6 personas), en el régimen indicado. Ofertas y precios válidos para determinadas fechas de julio. Consulta condiciones de aplicación en el folleto "Costas Verano 2004".

Información y reservas 902 400 454

VIAJES El Corte Inglés

www.viajeselcorteingles.es