

EL LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES

Xavier Bertou

CNEA/CONICET, Centro Atómico Bariloche
Av. Bustillo km 9.5, 8400-San Carlos de Bariloche, Argentina
E-mail: bertou@cab.cnea.gov.ar

Resumen

Un laboratorio subterráneo profundo provee un entorno único blindado de la radiación cósmica. Se pueden desarrollar en su seno experimentos imposibles de operar en un laboratorio común, como estudios de neutrinos o búsqueda de materia oscura. Puede a la vez albergar estudios de baja radiactividad, impacto de la radiación cósmica en biología o climatología, y una gran variedad de estudios geofísicos. Este trabajo presenta el laboratorio ANDES, la propuesta de construcción del único laboratorio subterráneo del hemisferio Sur. Detalla las características esenciales de la configuración del laboratorio y del entorno esperado (flujo de muones, radiactividad natural).

Palabras clave: laboratorio subterráneo, neutrino, materia oscura, ruido de fondo

Abstract

The Andes underground laboratory. A deep underground laboratory is a unique environment protected from cosmic rays. It can host experiments that would be impossible to run in other laboratories such as neutrino studies or Dark Matter search. It can also host low radioactivity measurements, studies on the impact of cosmic rays on biology and climate, and a great variety of geophysics studies. This work presents the ANDES laboratory, a proposal for the construction of the only deep underground laboratory in the southern hemisphere. It details the main characteristics of the laboratory layout and the expected background (muon flux and natural radioactivity).

Key words: deep underground laboratory, neutrino, dark matter, background noise

Introducción

En física de partículas, desde el descubrimiento del neutrino, la presencia de partículas interactuando solo a través de la fuerza débil impuso el desarrollo de experimentos subterráneos. Al proteger el detector de un espesor importante de roca, uno se blindó del importante flujo de partículas secundarias de los rayos cósmicos (del orden de 100 muones por m² por segundo en la superficie terrestre, dependiendo de la latitud magnética del sitio y de su altitud), reduciéndolo a algunos por m² por día, según la cobertura rocosa. Resulta por lo tanto posible planificar experimentos con baja tasa de evento, del orden del evento horario o diario, mientras extraer esos eventos del fondo de eventos cósmicos en un experimento no blindado sería imposible.

En los últimos 50 años se construyeron varios laboratorios subterráneos protegidos por centenas o miles de metros de rocas. Al día de la fecha, 12 laboratorios subterráneos se encuentran en Canadá, EE.UU, Inglaterra, España, Francia, Italia, Rusia, China, Corea y Japón. Los más profundos, en China y Canadá, cuentan con más de 2000 m de roca de cobertura. Todos están ubicados en el hemisferio norte.

El laboratorio subterráneo ANDES

Para incrementar la integración regional entre Argentina y Chile, se están mejorando los pasos entre ambos países. En particular, se aprobó la construcción de un doble túnel de 14 km de largo (el túnel internacional Agua Negra) entre la provincia de San Juan y la región de Coquimbo. El punto más profundo del trazado del túnel se encuentra cerca de la frontera entre ambos países, y cuenta con más de 1750 m de cobertura rocosa, representando un lugar ideal para ubicar un laboratorio subterráneo.

Se propuso por lo tanto a finales del 2010 incluir al proyecto de túnel el proyecto de construcción de un laboratorio profundo, el laboratorio ANDES. Para poder albergar experimentos de gran tamaño de física de neutrinos, se propone construir un pozo circular de 30 m de diámetro y 30 m de alto y una caverna principal de 21 m de ancho, 23 m de alto y 50 m de largo. Una caverna secundaria de 16 m de ancho, 14 m de alto y 40 m de largo recibiría los servicios del laboratorio (potencia, acondicionamiento del aire, ventilación, tratamiento del agua, computación...), y 3 cavernas de menor tamaño (9 m de ancho, 6 m de alto, 15 m de largo) recibirían experimentos de biología, materiales, y el laboratorio de geofísica. Finalmente, un pozo de 9 m de diámetro por 9 m de alto albergaría un laboratorio de muy baja radiación. El acceso al laboratorio se haría por un túnel de acceso reservado dentro del túnel Chile-Argentina. Un dibujo conceptual del laboratorio se puede ver en la Figura 1.

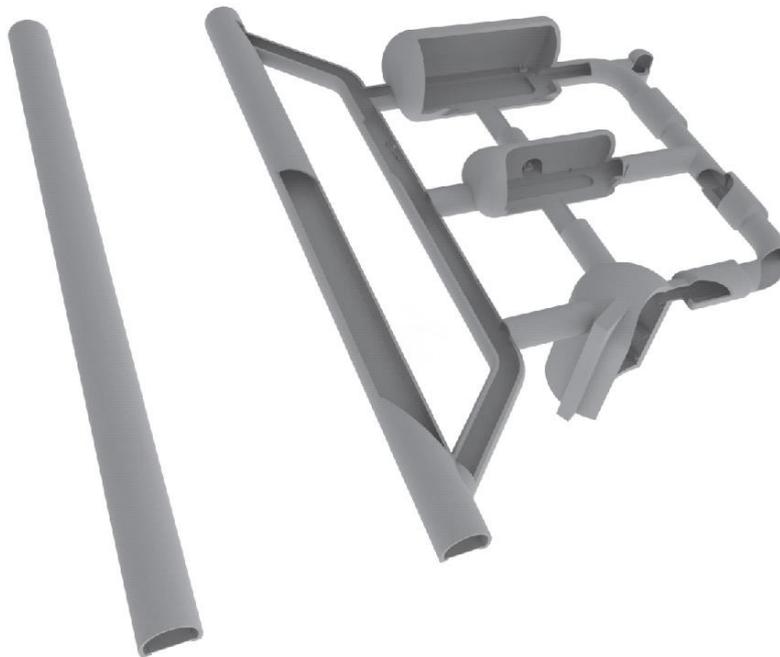


Fig. 1. Dibujo conceptual del laboratorio ANDES, ubicado en el km 4 de los 14 km del túnel Agua Negra (dirección Chile-Argentina).

Estudio de la radiación esperada en ANDES

Flujo de muones

La principal característica de un laboratorio subterráneo es el espesor de su cobertura rocosa. Para determinar este espesor en el caso de ANDES se usó el trazado estimado del túnel [1] y un mapa de elevación del Shuttle Radar Topography Mission [2]. Se calculó así el espesor de roca vertical y el espesor mínimo omnidireccional, a lo largo del trazado del túnel, ubicando el laboratorio 100 m al sur del eje del túnel. Los resultados se pueden ver en la Figura 2.

El lugar de mayor profundidad, debajo de la frontera entre ambos países, provee un espesor de 1775 m vertical y 1675 m omnidireccional. Con esos valores, ANDES sería el tercer laboratorio más profundo en el mundo, después de Jin Ping en China y SNO en Canadá.

Usando esos valores, el flujo de muones en ANDES fue estimado en base en una simulación de un mes del flujo de rayos cósmicos primarios en una superficie de 1 m². Las cascadas de partículas correspondientes fueron simuladas usando el código CORSIKA [3] hasta el piso. Los secundarios resultantes fueron propagados en la roca usando el código GEANT4 [4]. 28 muones simulados llegaron a la profundidad del laboratorio, resultando en un

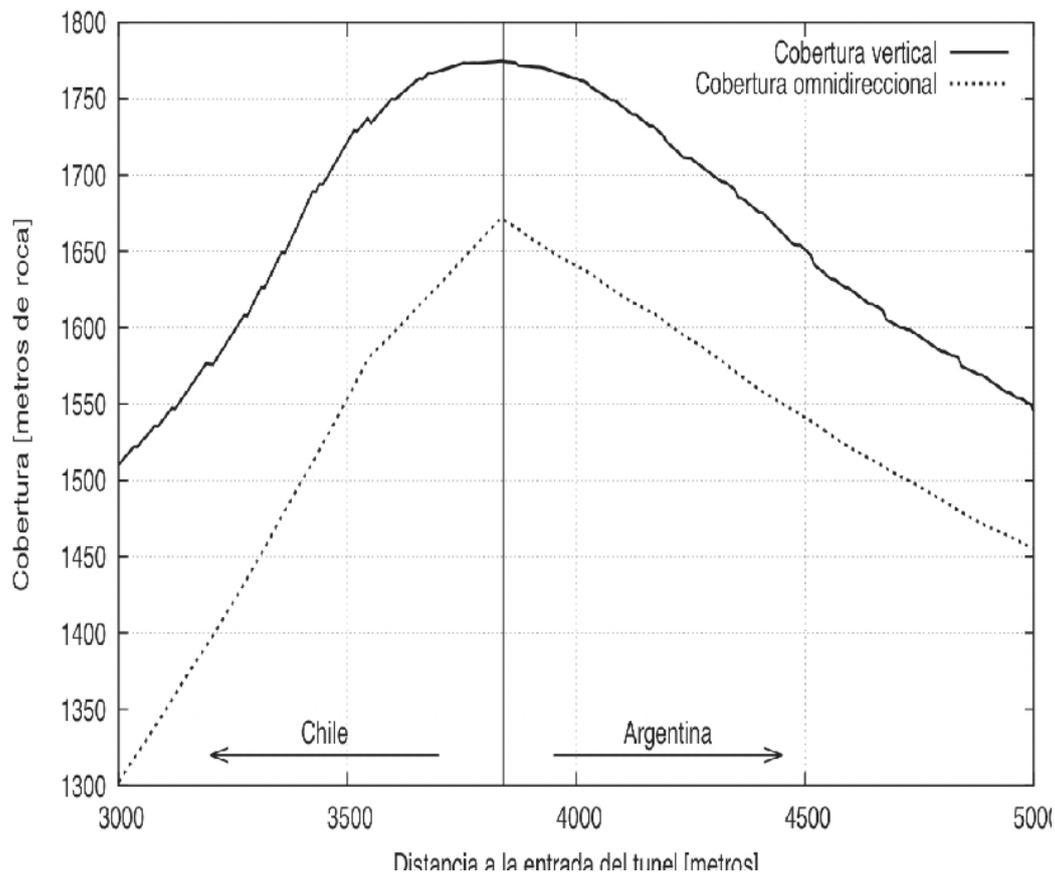


Fig. 2. Profundidad vertical y omnidireccional como función de la posición del laboratorio respecto a la entrada del túnel del lado chileno.

flujo de ~ 1 muon/día/m², resultado similar a mediciones efectuadas en otros laboratorios de profundidad similar [5].

Radiactividad natural

Una vez determinado el flujo de muones en el laboratorio, el segundo parámetro importante de determinar es la radiactividad natural de la roca.

Hasta que se haya perforado el túnel de ventilación del lado chileno, no se puede determinar con certeza la roca en la zona de interés de ANDES. Se puede inferir de los estudios efectuados para la planificación del túnel y de sondeos hasta 600 m de profundidad que la mayoría de la roca en la zona de interés será andesita, basalto y riolita. Se analizaron cuatro muestras, extraídas de los sondeos más profundos efectuados en la zona, en el Laboratorio de Activación Neutrónica del Centro Atómico Bariloche (dos de riolita, una de andesita y una de basalto), midiendo la radiactividad correspondiente a la proporción de uranio (U), torio (Th) y potasio (K). Los resultados de la medición, resumidos en la Tabla I, son muy comparables o mejores que otros laboratorios en el mundo, y no limitan el programa de física planteado para ANDES.

Activación neutrónica

El último parámetro relevante para un laboratorio subterráneo es el fenómeno de activación neutrónica. Como los experimentos ubicados en laboratorios subterráneos deben protegerse de toda forma de radiación, es muy importante que el detector mismo sea lo menos radiactivo posible. Se usa por lo tanto cobre, plomo arqueológico, y materiales sin isotopos de larga vida media. Uno de los posibles problemas es la activación del material del experimento, convirtiendo por ejemplo cobre en zinc (^{65}Zn , vida media de 243.8 días). La activación es principalmente proporcional al flujo de neutrones, el cual depende de la altitud y del corte geomagnético del lugar.

Este flujo se puede modelar de manera simple como el producto de un factor de la altitud por otro del corte geomagnético [6]. Se calcularon los cortes geomagnéticos en el globo terrestre con el código Magnetocosmics [7], y usando los datos de altitud de ETOPO2 [8], se estableció un mapa del flujo de neutrones relativos al flujo a nivel del mar promediado al ecuador. El resultado se puede apreciar en la Figura 3.

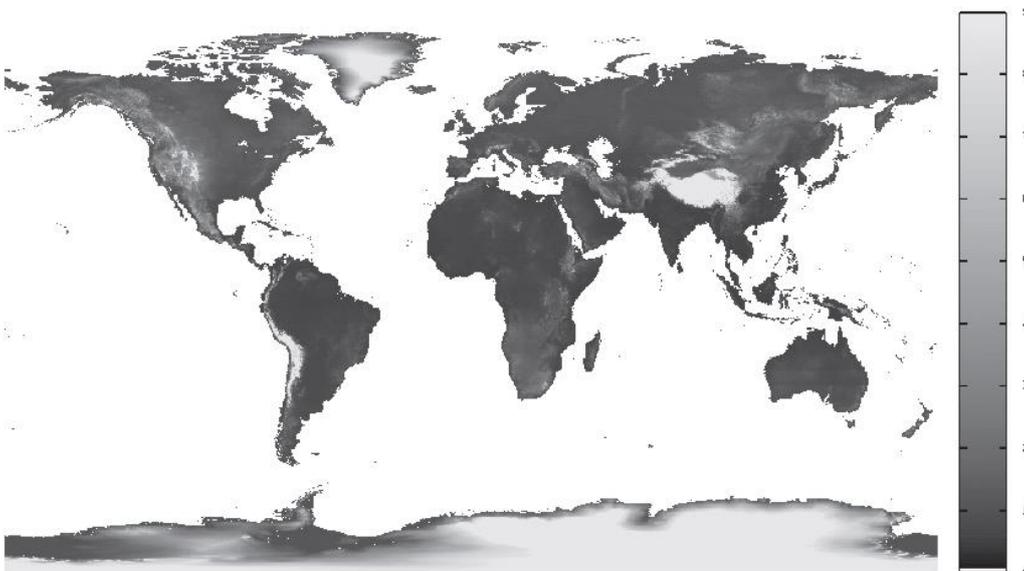


Fig. 3. Flujo de neutrones relativo al flujo a nivel del mar promediado al ecuador. El flujo está directamente relacionado a la altitud en el lugar con un efecto secundario relacionado a la latitud geomagnética.

El flujo relativo de neutrones esperado en los laboratorios de apoyo a ANDES, que se ubicarían en Vicuña en Chile y Rodeo en Argentina son respectivamente de 1.1 y 2.2, comparable a los valores en Modane (2.3) o SNO (1.4).

Características especiales de ANDES

La comunidad internacional está muy interesada en la construcción de un laboratorio subterráneo en el hemisferio Sur por varias razones. Una de las principales está relacionada a la modulación esperada de una eventual señal de materia oscura. El movimiento del sistema solar en el halo de materia oscura de nuestra galaxia debería producir una señal modulada según el movimiento de la Tierra alrededor del Sol. Esa modulación anual podría haber sido observada por el experimento DAMA/LIBRA en su búsqueda de materia oscura [9]. Si bien la modulación es extremadamente clara (más de 9 sigmas), su interpretación no es unánime en la comunidad. Últimamente la situación se ha vuelto aún más confusa con los resultados de CoGeNT [10] y CRESST [11], observando también una modulación en su señal, mientras Xenon100 la descarta por completo [12]. Para poder descartar que la modulación sea de origen atmosférica (se propusieron varios mecanismos que van desde cambios en los flujos de muones debidos a la temperatura en alta atmósfera a contaminación por agua derretida en alta montaña), una medición en el hemisferio Sur es primordial. La observación de una modulación corrida de 6 meses confirmaría un efecto atmosférico, mientras una compatible sería un fuerte indicio de un efecto genuino de materia oscura.

Tabla I. medición de radiactividad de rocas en ANDES. Por comparación, los rangos de valores observados en el laboratorio subterráneo de Canfranc están indicados. Todos los valores son en Bq/kg.

Muestra	Andesita	Basalto	Riolita 1	Riolita 2	Canfranc
238U	9.2±0.9	2.6±0.5	14.7±2.0	11.5±1.3	4.5-30
232Th	5.2±0.5	0.94±0.09	4.5±0.4	4.8±0.5	8.5-76
40K	47±3	50±3	57±3	52±3	37-880

Otro interés fuerte en la comunidad por tener un laboratorio en el hemisferio Sur tiene que ver con la detección de neutrinos de supernova. Medir el efecto MSW en neutrinos de supernova es de gran importancia [13] y para lograr tal medición es importante tener una variedad de detectores distribuidos sobre el globo terrestre.

Otra ventaja del sitio de ANDES sobre los otros laboratorios subterráneos existentes es la ausencia de reactores nucleares cercanos. Los reactores nucleares son fuentes de anti-neutrinos, y representan un fondo suplementario para medir, por ejemplo, los geoneutrinos, neutrinos producidos en la Tierra por decaimiento de uranio, torio y potasio. Se estima que la mitad del balance térmico de la Tierra viene de esos decaimientos. Para mejorar las mediciones actuales de KamLAND [14] y Borexino [15], el sitio de ANDES es ideal.

Finalmente, la zona geográfica de ANDES es una zona de subducción particular por la presencia de una parte plana en la placa de Nazca que se traduce por una ausencia de volcanismo [16]. El laboratorio ANDES podrá albergar un laboratorio de geofísica con

sismógrafos de bajo ruido, complementado por medidores de campo magnético y gravimétrico, permitiendo una visión única de la actividad sísmica de la región.

Conclusiones

La construcción del túnel Agua Negra es una oportunidad única para construir un laboratorio subterráneo de primer nivel mundial, el primero en el hemisferio Sur. El laboratorio ANDES contaría con más de 1750 m de cobertura rocosa, convirtiéndolo en el tercer laboratorio más profundo a nivel mundial. La geología del lugar parece indicar que la radiactividad natural será baja. La localización en un lugar de fuerte corte geomagnético compensa en parte la altura del sitio en cuanto a la activación producida por el flujo de neutrones cósmicos. El sitio hace de ANDES un lugar ideal para estudiar la modulación de la señal de materia oscura, medir neutrinos de supernova y geoneutrinos, y llevar a cabo experimentos de geofísica.

Agradecimientos

El autor quiere agradecer a la ANCEF N por su reconocimiento y por la oportunidad de publicar este trabajo, a Osvaldo Civitarese, Claudio Dib, Ronald Shellard y Juan Carlos d'Olivo por el apoyo en la iniciativa ANDES, a Hernán Asorey y Federico Sánchez por las simulaciones de cascadas y propagación de secundarios en la Tierra, a María Arribere y Mariano Gomez Berisso por las mediciones de radiactividad natural, a Jimmy Masías por los datos de corte geomagnético, a Joaquín Venturino por el dibujo conceptual del laboratorio y a la empresa Geoconsult SA por facilitar la información relevante al trazado del túnel y las muestras de los sondeos de roca.

Referencias

- [1] Proyecto de ingeniería básica y ejecución de galería de exploración del túnel de Agua Negra y sus accesos, IB-TAN-A-T00-TU-P001, BUREAU de Projetos e Consultoria LTDA.
- [2] T.G. Farr et al., *Rev. Geophys.* **45**, 183 (2007).
- [3] D. Heck et al., *Forschungszentrum Karlsruhe Report FZKA 6019* (1998).
- [4] S. Agostinelli et al., *Nucl. Inst. Meth. A* **506**, 250 (2003).
- [5] D.M. Mei & A. Hime, *Phys. Rev. D* **73**, 053004 (2006).
- [6] M.S. Gordon et al., *IEEE Trans Nucl Sci.* **51**, 3427 (2004).
- [7] L. Desorgher et al., <http://cosray.unibe.ch/~laurent/magnetocosmics/>
- [8] National Geophysical Data Center, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Dept. of Commerce, <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo2.html>
- [9] R. Bernabei et al., *Eur. Phys. J. C* **67**, 39 (2010).
- [10] C. E. Aalseth et al., *Phys. Rev. Lett.* **106**, 131301 (2011).
- [11] G. Angloher et al., *arXiv:1109.0702*.
- [12] E. Aprile et al., *Phys. Rev. D* **84**, 052003 (2011).
- [13] A. Smirnov, *Phys. Scripta* **T121**, 57 (2005).
- [14] S. Abe et al., *Phys. Rev. Lett.* **100**, 221803 (2008).
- [15] G. Bellini et al., *Phys. Lett. B* **687**, 299 (2010).
- [16] M. Gutscher, *J. South Am Earth Sci.* **15**,3 (2002).

*Manuscrito recibido el 28 de marzo de 2012.
Aceptado el 20 de abril de 2012.*