



# ANDES

AGUA NEGRA DEEP EXPERIMENT SITE  
UN LABORATORIO SUBTERRÁNEO EN EL TÚNEL  
AGUA NEGRA



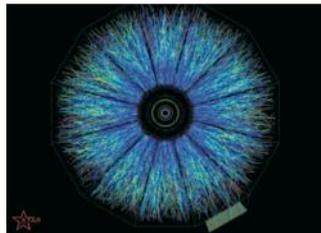


# ANDES

AGUA NEGRA DEEP EXPERIMENT SITE

LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES  
Y EL CONSORCIO LATINOAMERICANO  
DE EXPERIMENTOS SUBTERRÁNEOS

(CLES)



## LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES

Provenientes del sol, de explosiones de supernovæ, o de agujeros negros de millones de masas solares en el centro de galaxias lejanas, los rayos cósmicos bombardean la Tierra en forma permanente. A nivel del suelo, unas quince millones de partículas subatómicas impactan cada metro cuadrado en un día. Para protegerse de esa radiación cósmica y poder estudiar los fenómenos más evasivos del Universo, la comunidad científica está construyendo laboratorios subterráneos miles de metros bajo tierra.

Muy profundo bajo la superficie terrestre, sólo unas pocas partículas subatómicas son capaces de penetrar las capas rocosas, permitiendo a los científicos estudiar sin interferencias las propiedades de partículas con interacciones tan débiles que podrían atravesar millones de kilómetros de roca sin verse afectados, como los neutrinos, o estudiar la materia oscura, ya que al parecer todo lo que podemos ver en el Universo representa sólo el 4% de la masa total. Varios de esos laboratorios se encuentran en EE.UU., Canadá, Europa y Japón.

Esa ciencia en pleno desarrollo necesita nuevas instalaciones, y mientras India y China están desarrollando sus primeros laboratorios, EE.UU. y Europa planean cada uno un próximo laboratorio de gran tamaño.

En ese contexto, la construcción del túnel Agua Negra, parte del corredor bioceánico central, presenta una oportunidad única para planificar la construcción del laboratorio ANDES, el cual sería el único laboratorio subterráneo del hemisferio sur.

La profunda integración regional del MERCOSUR que logrará el túnel Agua Negra al conectar Argentina, Brasil y Chile se puede también traducir en una integración de esos tres países y otros de Latinoamérica, como México, reconocidos a nivel científico por concretar proyectos internacionales de gran envergadura como el Observatorio de rayos cósmicos Pierre Auger en Argentina, el Observatorio Europeo Austral (ESO) en Chile, el Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón (LNLS) en Brasil, y el Observatorio de rayos gamma HAWC en México, con la creación del Consorcio Latinoamericano de Experimentos Subterráneos (CLES).





Uno de los 1600 detectores del Observatorio Pierre Auger en Argentina, el Observatorio de rayos cósmicos más grande del mundo.



El Very Large Telescope (VLT) del Observatorio Europeo Austral (ESO) en Cerro Paranal en Chile (© ESO/Y. Beletsky).



HAWC (High Altitude Water Cherenkov), un observatorio único capaz de monitorear fuentes celestes emisoras de rayos gamma, en las faldas del volcán Sierra Negra, México.

El acelerador del Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón (LNLS) en Brasil, único en Latinoamérica, utilizado por más de 1000 científicos por año (© LNLS).



## DESCRIPCIÓN DE ANDES

Se propone construir un laboratorio subterráneo dentro del túnel Agua Negra, entre los km 3.5 y 5 de los 14 km del trazado, ubicándolo cerca del límite entre Argentina y Chile. Esa ubicación asegura un espesor máximo de roca de más de 1700 m para obtener mayor protección frente a la radiación cósmica, reduciendo su intensidad más de un millón de veces.

Ubicado en el corazón de la cordillera, el laboratorio ANDES albergará varios experimentos en una caverna principal, una secundaria sobre 4 pisos, y una tercera cilíndrica, por un total de 2500m<sup>2</sup> de superficie subterránea. Su planificación será integrada a la del túnel para minimizar costos de construcción y de operación. El costo de las excavaciones y terminaciones se ubicará debajo de los diez millones de dólares, aprovechando toda la infraestructura que ofrece la obra propia del túnel (la cual tiene un costo total aproximado de 850 millones de dólares). Acompañarán al laboratorio subterráneo dos instalaciones externas de apoyo, una en Argentina y una en Chile. Estos laboratorios exteriores contarán con personal permanente (científico, técnico y administrativo) para asegurar la operación adecuada de los experimentos instalados dentro del laboratorio subterráneo, con un total de 10 a 15 personas entre los dos sitios.

Los experimentos científicos que albergará el túnel permitirán explorar fenómenos hasta ahora desconocidos - relacionados con los neutrinos y la materia oscura - con consecuencias fundamentales para el conocimiento del Universo, su evolución y sus orígenes. Se aprovechará la protección brindada por la roca para operar medidores de radiación de bajo fondo, con varias áreas de aplicación.

En esa ubicación única se podrán instalar experimentos interdisciplinarios originales, como estudios geofísicos y geomecánicos, estudiando propagación de ondas sísmicas en profundidad y sobre escalas de tiempo largos, o biológicos, estudiando la biosfera del subsuelo y la influencia de las mutaciones y daños estructurales provocados por la radiación cósmica en la evolución de las células.

La realización de estos experimentos no solo se traducirá en la consolidación de la comunidad científica involucrada, sino también en los consiguientes desarrollos tecnológicos de punta y formación de recursos humanos, científicos, técnicos y de ingeniería del más alto nivel. La creación de este laboratorio tiene el potencial de fomentar la creación de empresas de alta tecnología (como sucedió en la cercanía de laboratorios similares en Europa), ciclos de formación, escuelas de posgrado y tesis doctorales. Más allá de las escalas de tiempo naturales de los experimentos que albergará el laboratorio (5-10 años), la característica y la evolución de un laboratorio sobre 50 años abren perspectivas a la altura del desafío que representa semejante Centro de investigación.



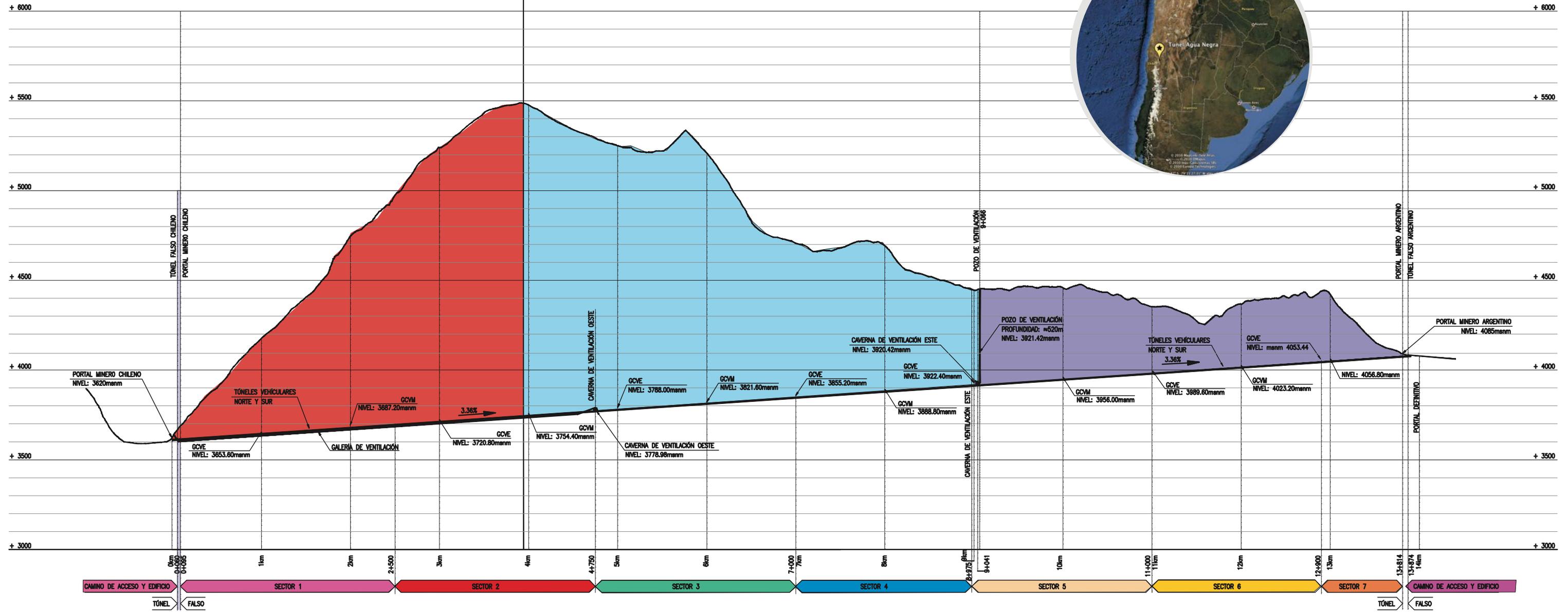
Paso de Agua Negra. Límite Internacional Argentino-Chileno



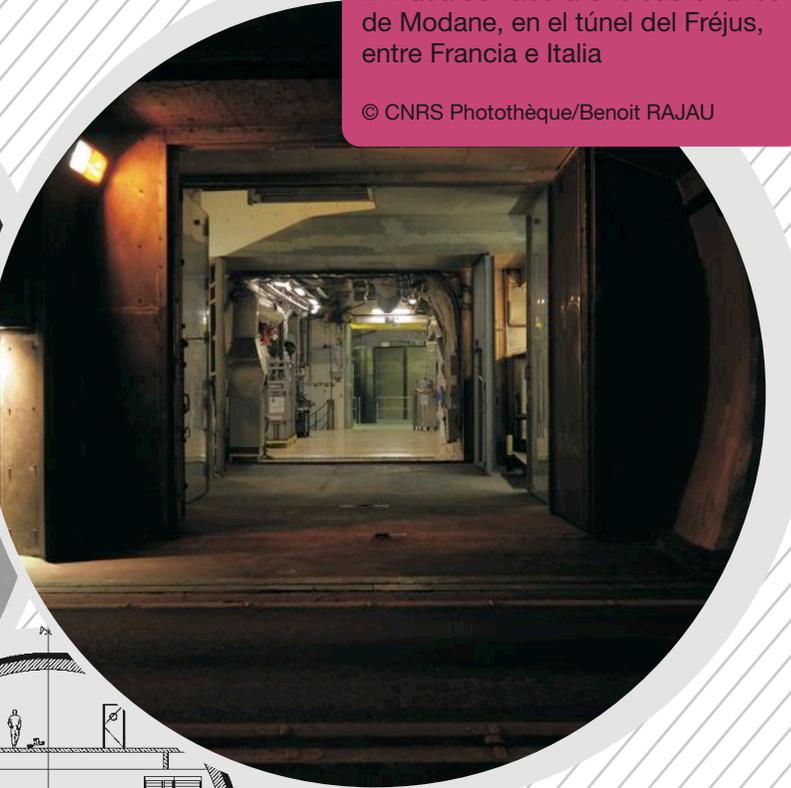
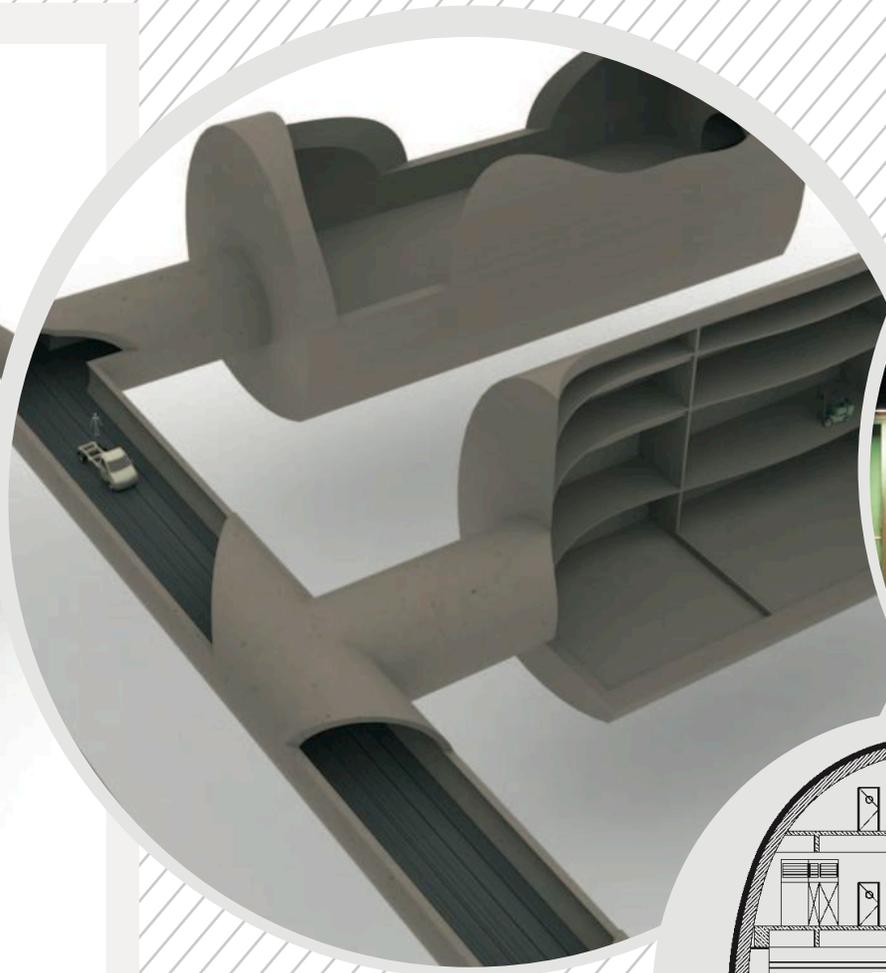
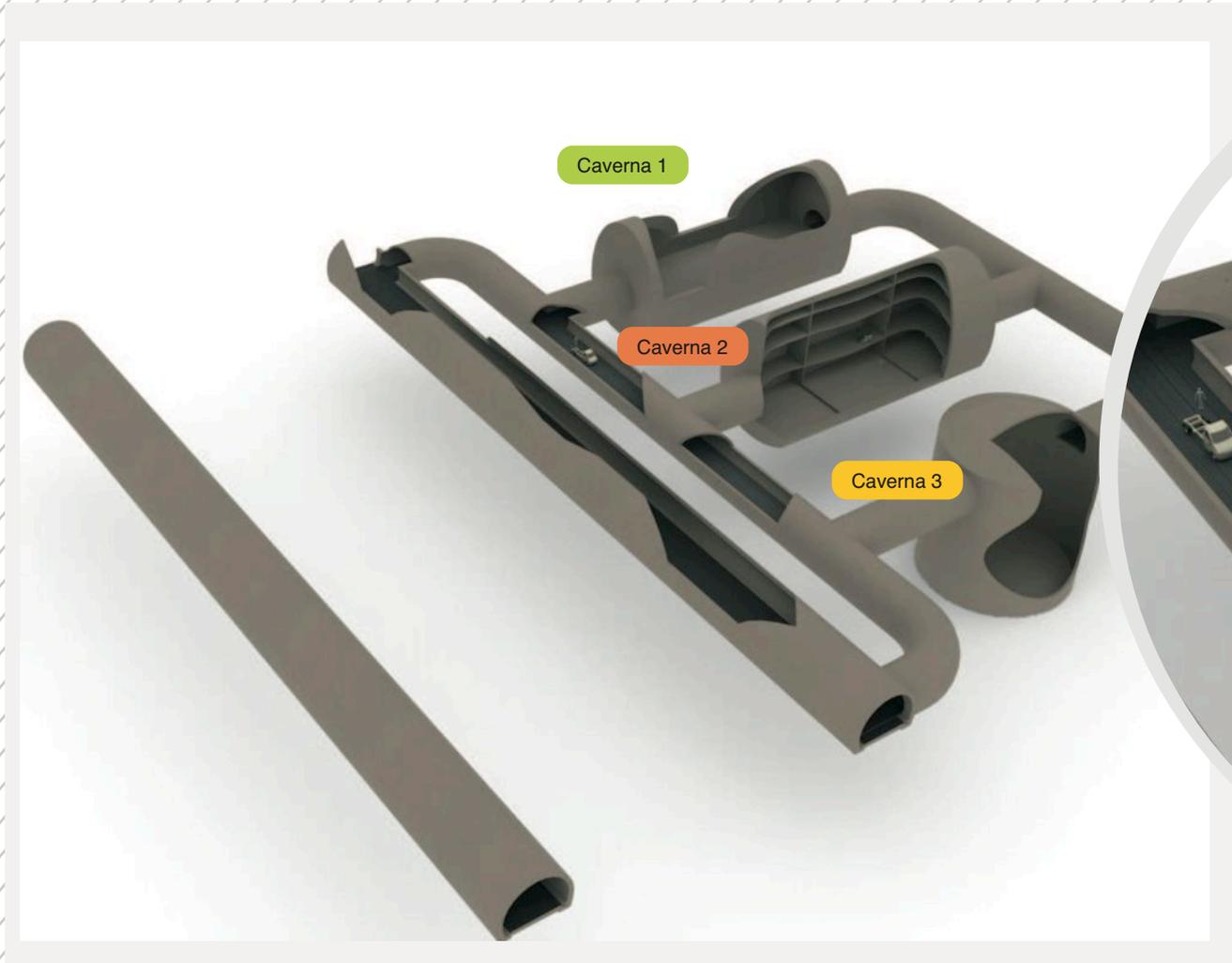
# CORTE LONGITUDINAL

ESCALA VERTICAL: 1:10000  
ESCALA HORIZONTAL: 1:20000

← CHILE | ARGENTINA →  
PROGRESIVA: 3950msnm

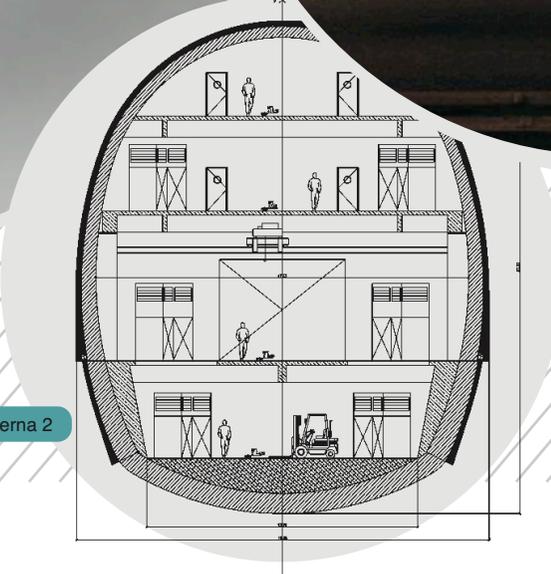


DIBUJO CONCEPTUAL DEL LABORATORIO ANDES



Entrada del laboratorio subterráneo de Modane, en el túnel del Fréjus, entre Francia e Italia

© CNRS Photothèque/Benoit RAJAU



# POTENCIALES EXPERIMENTOS EN EL LABORATORIO

## MATERIA OSCURA



La expansión del universo fue propuesta y observada por Lemaître y Hubble a principios del siglo pasado. La observación de la radiación de fondo de microondas, remanente del big-bang, terminó de establecer a ese como el modelo cosmológico de referencia. La reciente y sorprendente evidencia sobre la aceleración en la expansión del Universo indica que su contenido de materia y energía es mayor al que se estimaba: en forma observacional sólo puede justificarse un 4.4% de esa cantidad de materia y energía, siendo el resto (95.6%) consideradas como materia (21%) y energía (74%) oscuras.

La composición de la materia oscura es totalmente desconocida: su gran mayoría consiste en un nuevo tipo de materia, nunca encontrado hasta el día de hoy. Los candidatos más firmes propuestos por la física teórica son los axiones, los neutrinos estériles masivos, y los WIMPs (weakly interacting massive particles), que incluyen las LSPs (lightest supersymmetric particles), cuyo candidato natural son los neutralinos.

*Determinar la naturaleza de la materia oscura es uno de los problemas más importantes en la cosmología moderna y la física de altas energías, con consecuencias enormes sobre nuestro entendimiento del Universo.*

Los experimentos de detección de materia oscura son complejos: involucran grandes masas de detección, umbrales muy bajos, un excelente y preciso control del ruido de fondo del detector, y un ruido de fondo cósmico muy por debajo de un evento diario, sólo posible en laboratorios muy profundos.

Las técnicas de detección se basan en la utilización de gases nobles en estado líquido (logrando una excelente tasa de rechazo para el ruido de fondo) con detectores operados a ultra baja temperatura (en los cuales la interacción produce un calor detectable), donde se busca identificar interacciones sólo explicables por una partícula de materia oscura. La instalación de estos detectores en ANDES tendrá además un enorme valor agregado producto de la transferencia tecnológica en técnicas criogénicas de punta.

Además, existen métodos de detección indirecta que consisten en aprovechar el movimiento de la Tierra a través del halo de materia oscura galáctico. Estas mediciones tienen aparejada una modulación estacional, lo cual ha generado fuertes controversias en el medio académico. Al estar todos los experimentos actuales en el hemisferio Norte, la ubicación de ANDES en el hemisferio Sur permitirá zanjar esta controversia en la detección indirecta.



Armado del detector de materia oscura Edelweiss (© LSM)



# NEUTRINOS

El principio de conservación de la energía constituye uno de los pilares sobre los que descansa toda la física moderna. Experimentos nucleares realizados en la década del '30 sugerían que la energía no se conservaba. La evidencia era tan fuerte que científicos de la talla de Niels Bohr estaban dispuestos a aceptar que la energía no se conservaba bajo ciertas condiciones.

Para salvar este escollo, Wolfgang Pauli postuló la existencia de una nueva y elusiva partícula para explicar este faltante de energía. En 1956 un revolucionario experimento realizado por Cowan y Reines demostró la existencia de esta nueva partícula: el neutrino.

La observación de los neutrinos no es sencilla en virtud de la escasa interacción que presentan con la materia. Sin embargo, fue posible comprobar la existencia de oscilaciones de neutrinos, es decir, transiciones entre los distintos sabores de neutrinos. Esto sólo puede ser explicado si los neutrinos tienen masa, indicación de la existencia de nueva física puesto que el modelo estándar no contempla mecanismos para asignar masas a los neutrinos. El estudio detallado de la naturaleza de los neutrinos y de sus oscilaciones ocupa gran parte de la comunidad de física de altas energías, debido a sus enormes implicaciones en nuestra comprensión de la Naturaleza. ANDES albergará un experimento o más participando en esa campaña de mediciones.

*Además de participar del esfuerzo de la comunidad en la búsqueda de la naturaleza intrínseca de los neutrinos, la ubicación de ANDES como único laboratorio en el hemisferio Sur le genera enormes posibilidades para estudios novedosos.*

Hoy en día, varios experimentos aprovechan un acelerador para producir un haz de neutrinos que intenta ser detectado a varios cientos de kilómetros en un laboratorio subterráneo alejado.

La distancia de ANDES a los principales aceleradores del mundo se traduce en una importante ventaja comparativa. Por ejemplo, los efectos que produce la propagación a través de la materia en la oscilación de neutrinos, el efecto MSW, provocan que a una cierta distancia "mágica" de aproximadamente 7500 km, el efecto de

muchos parámetros se atenúen y sólo subsistan efectos imposibles de medir con precisión en otro contexto.

ANDES se encuentra a 7650 km de Fermilab, en Chicago, uno de los tres mayores aceleradores del mundo, permitiendo realizar mediciones en esa única perspectiva. También, al estar ubicado a 12500 km de KEK, en Japón, sería el único laboratorio al cual se le podría apuntar un haz de neutrinos que atraviese el núcleo de la Tierra, y de esta manera medir efectos de materia con un flujo de neutrinos de alta energía en medios muy densos, abriendo una nueva ventana para la observación del efecto MSW.

Finalmente, ANDES podrá participar de un nuevo grupo de experimentos apuntando a la medición de los geoneutrinos, neutrinos producidos en la Tierra por decaimientos de elementos radioactivos que componen el planeta mismo. Esos geoneutrinos parecen ser esenciales para entender el equilibrio térmico de la Tierra. Siendo extremadamente difíciles de detectar en Europa, Japón o Estados Unidos por el alto nivel de producción de neutrinos en las centrales nucleares, la ubicación de ANDES respecto a las únicas centrales de la región hacen del túnel Agua Negra un lugar privilegiado para medir geoneutrinos.



Detector Nemo 3 en el laboratorio subterráneo Modane (© LSM).



## TECTÓNICA DE PLACAS

El laboratorio ANDES se encuentra en una región dominada tectónicamente por la subducción de la placa de Nazca por debajo de la Sudamericana. Este segmento no presenta actividad volcánica debido a la horizontalización de la placa de Nazca durante por lo menos los últimos 10 millones de años, cuyas razones aún no están esclarecidas. El último gran sismo en la región fue el de Ovalle, el 3 de Abril de 1943, de magnitud 8.2.

La actividad de sismos menores es grande.

El bajo ruido ambiental y la uniformidad de temperatura en el laboratorio proveen condiciones ideales para el funcionamiento de sismógrafos de alta sensibilidad, produciendo registros fidedignos desde frecuencias cercanas a 1Hz para la localización de la actividad sísmica local, hasta períodos ultra-largos de más de 100 segundos, útiles para estudiar los modos normales de vibración del planeta excitados por un gran sismo.

La instalación de un sismógrafo de banda ancha próxima al límite entre Argentina y Chile permitirá realizar un nexo entre las redes sismológicas de ambas naciones. La región de ANDES resulta así un laboratorio natural y privilegiado para estudiar condiciones particulares de la subducción, el consecuente levantamiento de las montañas y el riesgo sísmico.

## BIOLOGÍA

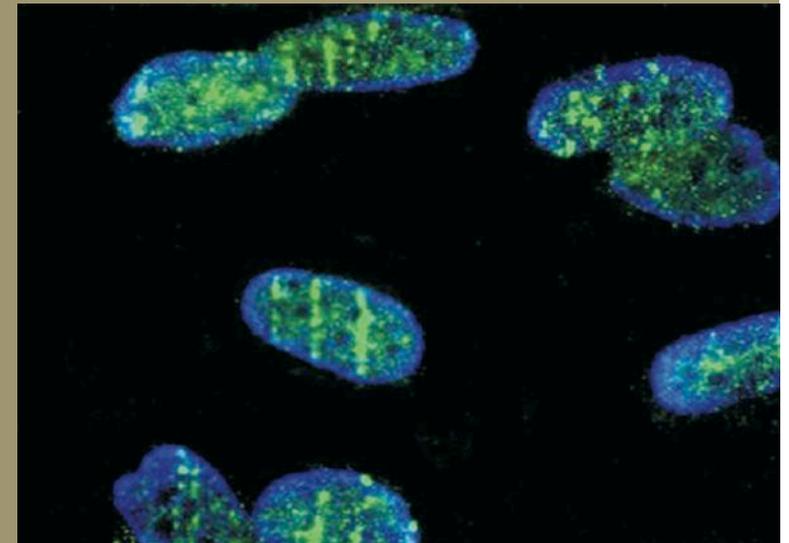


Las lesiones en el ADN pueden ser producto del metabolismo celular así como también ser generadas por agentes externos, como la radiación ionizante. Las principales lesiones son las rupturas de la doble cadena de ADN, las cuales revisten importancia no solo en los procesos fisiológicos sino como generadoras de mutaciones que pueden llevar a múltiples patologías.

Se estudian usualmente los procesos de daño y reparación del ADN aplicando algún agente generador del daño. Sin embargo, las células no expuestas a estos agentes también muestran daño al ADN, atribuido al metabolismo celular. Un laboratorio de radiación cero permitiría estudiar fundamentalmente la participación de las radiaciones cósmicas a nivel del daño y reparación del ADN y que relevancia tendrían en la generación de patologías como el cáncer.

Por otro lado, dado que las radiaciones ionizantes son generadoras de radicales libres, se podría además estudiar la influencia de los rayos cósmicos en la modulación de los sistemas antioxidantes celulares, y en el envejecimiento celular, dado que este tiene directa relación con la generación de radicales libres. Se podría así evaluar si las radiaciones cósmicas tienen alguna relevancia en los procesos de envejecimiento celular.

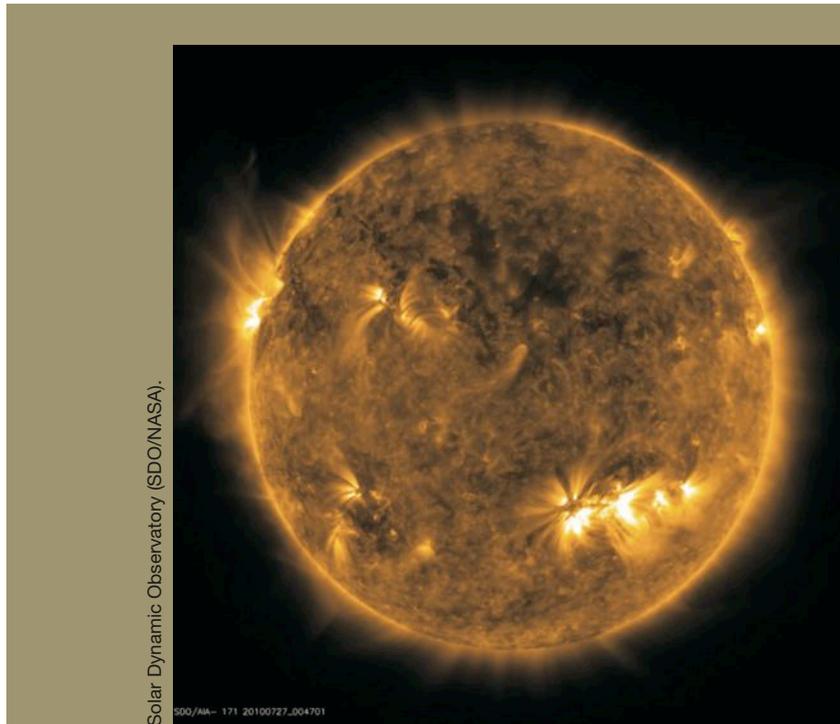
La posibilidad de tener un ambiente no expuesto a rayos cósmicos permitiría evaluar la importancia de esos en numerosos procesos biológicos.



Daño en neuronas expuestas a un haz de partículas ionizantes

## FUSIÓN Y ASTROFÍSICA NUCLEAR

Las reacciones nucleares que ocurren en las estrellas en las distintas fases de su desarrollo permiten explicar la producción de energía y la formación y abundancia de los elementos químicos y sus isótopos. Lograr mediciones controladas de estos procesos estelares representa un gran desafío desde el punto de vista experimental, pero se puede realizar operando un acelerador de partículas en un laboratorio subterráneo. El bajo nivel de radiación de ANDES permitirá realizar esas mediciones de manera directa. El conocimiento adquirido tendrá además una crucial relevancia en el marco del desarrollo de la próxima generación de reactores nucleares: los reactores de fusión nuclear. Estos reactores se basan en la fusión de elementos livianos emulando los procesos estelares, y podrían ser la base de la producción de energía limpia en el futuro.



Nuestro Sol visto en luz ultravioleta, mostrando un gran incremento en la actividad solar a medida que nos acercamos al máximo solar en 2013.

## MEDIDAS DE BAJA RADIOACTIVIDAD: CLIMA, MEDIO AMBIENTE Y APLICACIONES INDUSTRIALES

La necesidad de contar con materiales de muy baja radioactividad para la construcción de experimentos de materia oscura o física de neutrinos dio origen al desarrollo de detectores capaces de medir niveles de radiación extremadamente bajos. Estos instrumentos muy sensibles deben estar situados en laboratorios subterráneos para reducir al mínimo las radiaciones parásitas generadas por los rayos cósmicos: los detectores de Germanio son capaces de medir niveles de radioactividad un millón de veces más bajos que la radioactividad natural del cuerpo humano. Las industrias se muestran muy interesadas en métodos que permiten medir niveles de radioactividad extremadamente bajo, lo que permite la selección de materiales más puros desde el punto de vista radioactivo.

El laboratorio ANDES también puede aportar en temas relacionados al medio ambiente.

En glaciología, el estudio de las capas de hielo en la Antártida, el Ártico, los Andes o en los Alpes permite cartografiar la variación espacio-temporal de parámetros climáticos y ambientales (contaminación) en los últimos siglos.

La medida de la actividad de los radioelementos  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{241}\text{Am}$  es el único método que permite una datación absoluta de las capas presentes en las muestras de hielo. Estas medidas deben realizarse con espectrómetros gamma situados en sitios subterráneos.

ANDES podrá orientarse también hacia la microelectrónica. La creciente miniaturización de los circuitos electrónicos permite aumentar en forma drástica la capacidad de cálculo, pero a la vez los hace vulnerables a las radiaciones ionizantes, que producen errores lógicos debido a la interacción en el interior del chip. Al suprimir la componente de rayos cósmicos, ANDES permitirá realizar estudios sobre el efecto que la radioactividad natural tiene sobre distintos elementos tecnológicos de la humanidad.





Medición de bajos niveles de radioactividad en muestras  
(© CNRS Photothèque/Benoit RAJAU).

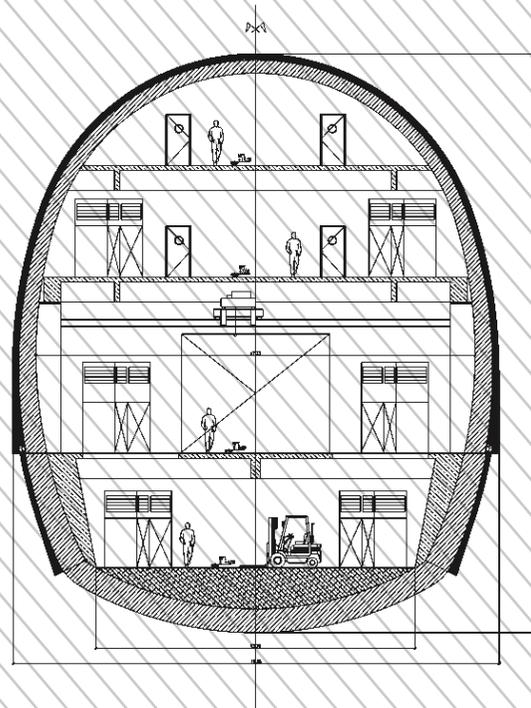


Glaciar Perito Moreno, Argentina. El estudio de capas de hielo en laboratorios como ANDES permite vigilar grados de contaminación sobre periodos de años a siglos.



Arreglo de procesadores probados en el laboratorio subterráneo Modane (© LSM).





# ANDES

AGUA NEGRA DEEP EXPERIMENT SITE

LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES  
Y EL CONSORCIO LATINOAMERICANO  
DE EXPERIMENTOS SUBTERRÁNEOS

(CLES)



UN LABORATORIO SUBTERRÁNEO EN EL TÚNEL  
AGUA NEGRA

