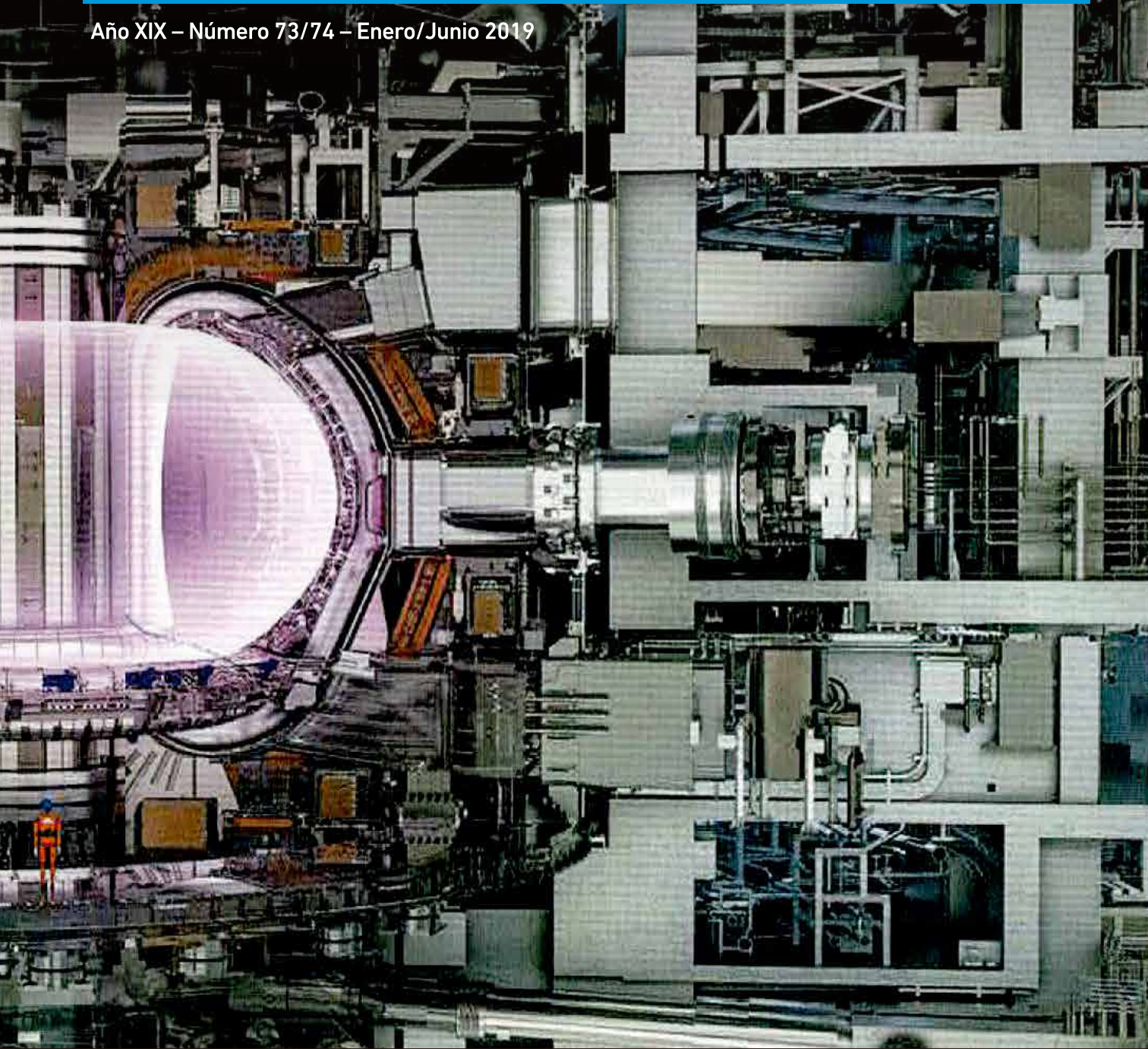


REVISTA DE LA CNEA

UNA PUBLICACIÓN DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

Año XIX – Número 73/74 – Enero/Junio 2019



**ITER: INTERNATIONAL THERMONUCLEAR
EXPERIMENTAL REACTOR**



Guía para autores de artículos

Línea Editorial: Los artículos podrán ser originales o haber sido presentados en eventos científicos o en revistas ajenas al área nuclear que permitan su publicación con la sola mención de esa circunstancia, y estar dirigidos a la comprensión de un lector con formación científica o tecnológica, pero no necesariamente en el área temática del mismo.

Envío: Deberán enviarse por correo electrónico a la dirección revista@cnea.gov.ar.

Formato: Serán preparados en Word for Window © y la página será tamaño especial 196 mm. X 275 mm. Los márgenes serán: izquierdo y derecho 1,5 cm., superior 1,9 cm. e inferior 2 cm. El tipo de letra será Arial de 10 pt. No deberán sobrepasar las doce páginas.

Título: Constará de no más de diez palabras, debiendo dar indicación concisa del contenido y ser fácilmente identificable para su cita en bibliografías y publicaciones editadas por servicios de información. Podrá ser seguido por un subtítulo separado por dos puntos que contenga información complementaria. Se evitarán las abreviaturas, acrónimos, códigos, símbolos y fórmulas que no sean de uso común.

Datos del (los) autores:

Deben constar los apellidos y nombre(s) propio(s), usándose iniciales sólo en el caso de más de un nombre. Se indicará(n) además la(s) función(es) y/o puesto(s) de trabajo y el(los) organismo(s) a que pertenece(n).

Resúmenes de los artículos:

Cada artículo será precedido por un resumen del contenido, redactado en castellano e inglés, que sea autosuficiente, contenga la información básica y no supere las trescientas palabras, estructurado en no más de dos o tres párrafos. Se utilizarán verbos en voz activa y palabras significativas tomadas del texto que ayuden a la recuperación automática por ordenador. Conviene evitar términos infrecuentes, acrónimos, siglas, abreviaturas o símbolos, y en caso de que se utilicen deben definirse la primera vez que aparezcan en el resumen.

Texto Principal: Los artículos deben seguir un orden lógico y claro, debiéndose indicar la finalidad del trabajo, así como su relación con otros anteriores. Las divisiones y subdivisiones se podrán destacar con títulos apropiados que podrán numerarse. Se utilizarán notaciones normalizadas para cada disciplina, como las establecidas por las normas IRAM u otros organismos de normalización. Las notas a pie de página sólo se incluirán para complementar la información o remitir a las referencias bibliográficas, pero no deben contenerlas.

Las figuras (fotografías, gráficos, diagramas, ilustraciones y mapas) deben numerarse secuencialmente en números arábigos y estar acompañadas por una leyenda explicativa. Las tablas también deben numerarse y tener títulos apropiados. Tanto las figuras como las tablas deben referenciarse en el texto. Su envío se hará en lo posible en formato jpg o bmp.

Los aportes suministrados por otros deben ser claramente reconocidos. Los documentos citados en el texto principal se incluirán en una lista de referencias al final del artículo.

Referato: Serán considerados para su publicación por miembros del Comité Científico y/o se consultará con especialistas del área temática correspondiente sobre su relevancia y originalidad.

Derechos de autor: Los trabajos publicados sólo podrán copiarse con el consentimiento del autor e indicación de su procedencia.

Erratas: Las correcciones y/o comentarios a que dieran lugar se publicarán en la edición posterior en la sección "Aclaraciones y comentarios".

LA REVISTA DE LA
**COMISIÓN NACIONAL
DE ENERGÍA ATÓMICA**



AÑO XIX – NÚMERO 73/74 – ENERO/JUNIO 2019

editorial

El Comité Editorial se complace en presentar el número 73/74 de la Revista de la CNEA con el que inicia su décimo noveno año de existencia. Este número presenta trabajos enmarcados en muy variadas áreas de interés tanto desde el punto de vista de la actividad nuclear como del general.

El cambio climático es evidente, irreparable, irreversible y en gran parte de origen indiscutiblemente antropogénico. Es por ello que constituye la amenaza más importante que somete al Planeta Tierra, por lo tanto, es imprescindible que la producción eléctrica, tan necesaria para la vida cotidiana, sea producida por sistemas o procedimientos que no emitan gases de efecto invernadero. Dentro de las energías de que dispone el hombre, la energía nuclear por fisión tiene y juega un rol preponderante en la matriz energética global. La fusión, en cambio, era un sueño dorado que prometía resolver “in eternum” las necesidades energéticas de la humanidad. Sin embargo, hoy en día, a través del Proyecto ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), se vislumbra la posibilidad real de concretar ese sueño. El primer artículo brinda información sobre el prometedor estado actual del Proyecto ITER que asegurará una fuente ilimitada de energía segura, limpia y no contaminante.

La exploración de uranio en la Argentina comenzó a principios de la década de 1950 y el método radimétrico fue el más utilizado en ese entonces. De hecho, al combinar los estudios de radimetría aérea con la evaluación en el terreno de las anomalías radimétricas, se descubrieron la gran mayoría de los depósitos de uranio conocidos del país. Aunque el uranio se puede detectar directamente a través de su radiación gamma, muchos depósitos están en profundidad y cubiertos, quedando enmascarada cualquier respuesta radimétrica y haciendo necesaria la aplicación de técnicas geofísicas y geoquímicas diferentes e innovadoras. El segundo artículo da cuenta de los métodos de prospección aplicados en la exploración de uranio en el caso de la Argentina.

El uso de los teléfonos celulares ha tenido un desarrollo verdaderamente explosivo en los últimos años y sigue creciendo aceleradamente. De continuar la progresión actual, en un par de décadas el número de celulares podría superar el número de habitantes del planeta. En solo 20 años la densidad de potencia de los campos electromagnéticos medidos en algunas ciudades ha aumentado 100 veces, lo que implica que los efectos biológicos en los seres vivos expuestos podrían también haber aumentado otro tanto. La posibilidad de mantener una comunicación continua, sin tener que restringir la libertad de movimiento, es una cualidad muy apreciada por todos. No obstante, ha surgido una creciente preocupación sobre los efectos adversos que podría causar la exposición a la radiación que deriva del uso de esta tecnología y el impacto en la salud que tales efectos tendrían. En el tercer artículo se describe brevemente el estado actual del conocimiento sobre el tema, cuales son los eventuales riesgos a los que está expuesta la población y cuáles son las medidas preventivas más efectivas para aprovechar los beneficios de las nuevas tecnologías y limitar en lo posible los riesgos a que se está expuesto.

Como es habitual se incluye la sección “CNEA al Día” con las noticias institucionales más destacadas del semestre.

El Comité Editorial invita una vez más a los integrantes del sector nuclear, con prescindencia del organismo al que pertenezcan o hayan pertenecido, y a quienes estén o hayan estado vinculados a la actividad nuclear bajo cualquier circunstancia, que tengan trabajos que deseen difundir, a que los hagan llegar al Comité. (roberto.ornstein927@gmail.com).



Foto de tapa
"Render" en corte
del ITER

autoridades nacionales

Presidente de la Nación
Ingeniero Mauricio Macri

Secretario de Energía
Contador Gustavo Sebastián Lopetegui

Subsecretario de Energía Nuclear
Licenciado Julián Gadano

autoridades institucionales

Presidente
Licenciado Osvaldo Calzetta Larrieu

Vice-Presidente
Licenciado Alberto Lamagna

Gerente General
Ingeniero Enrique Cinat

comité asesor

Doctor Carlos Aráoz

comité editorial

Ingeniero Pascual Francisco Aguirre
Investigador Consulto Roberto Mario Ornstein

Diseño de tapa División Diseños de Contenidos
Departamento de Prensa
Gerencia de Comunicación Social
Traductora Malena Marino
Impresión VCRE Gráfica S.A.
SIN: 1666-10

sumario

Editorial	3
Autoridades y sumario	4
El ITER: una posibilidad real	5
Métodos de prospección aplicados en la exploración de uranio. Estudios de caso de la Argentina	15
Los campos electromagnéticos y la salud de las personas. Los riesgos de los teléfonos celulares y antenas.	32
CNEA al Día, noticias institucionales	44

Nota: En la página web de la CNEA (www.cnea.gob.ar), en la sección "Mediateca", se puede acceder a este número y al índice general temático de los artículos publicados en la totalidad de los números de la Revista de la CNEA.

El ITER: una posibilidad real

HERSCOVICH de PAHISSA, Marta – Investigadora Consulta – CNEA

El cambio climático es evidente, irreparable, irreversible y de origen total e indiscutiblemente antropogénico. Es por ello que constituye la amenaza más importante que somete al Planeta Tierra. Por lo tanto, es imprescindible que la generación eléctrica, tan necesaria para la vida cotidiana, sea producida por sistemas o procedimientos que no emitan gases de efecto invernadero. Dentro de las energías de que dispone el hombre, la energía nuclear por fisión tiene y juega un rol preponderante en la matriz energética global. La fusión, en cambio, era un sueño dorado que prometía resolver “*in eternum*” las necesidades energéticas de la humanidad. Sin embargo, desde que se la tuvo en la tierra a mediados del siglo pasado, siempre se vio lejano el poder controlarla voluntariamente. Hoy en día, a través del proyecto ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), la frase de que “faltan 50 años” va tocando su fin. En un artículo anterior citado en el texto, se explicaron las bases de la energía por fusión. En esta publicación, se brinda al lector el fabuloso estado actual del proyecto ITER, llevado a cabo por un importante grupo de países. El ITER asegurará para la humanidad una fuente ilimitada de energía segura, limpia y no contaminante, una vez terminada la experiencia necesaria para manejar el plasma hasta llegar a cubrir el conocimiento suficiente para encarar el proyecto DEMO, que será el encargado de llevar al terreno comercial la energía de fusión.

ITER: a real possibility

“Climate change -evident, irreparable and irreversible; unquestionably of anthropogenic origin- constitutes perhaps the most important threat to which the Planet is subjected. Therefore, it is essential that the electrical production so necessary for everyday life be produced by systems or procedures that do not emit greenhouse gases. Within the energies currently available to humanity, nuclear energy by fission has and plays a dominant role in the global energy matrix. Instead, nuclear fusion was a Golden dream what promised to solve “in eternum” the energetic needs of humanity. However, since it was achieved on earth in the middle of the last century, it has always been far away to control it voluntarily. Today, through the ITER Project (International Thermonuclear Experimental Reactor), the repeated phrase that “it will take 50 years” is coming to an end. In a previous article cited in the text, the basis of fusion power was explained. This publication provides the reader with the fabulous current status of the ITER Project, carried out by an important group of countries. The ITER will provide, once finished, the experience necessary to handle Plasma reaching the knowledge needed to face the Demo Project that will be responsible for bringing fusion power to the commercial field.”

GENERALIDADES

El Cambio Climático tiene hoy, lamentablemente, manifestaciones indiscutibles todos los días, cobrando vidas y bienes materiales en forma alarmante, tales como lluvias intensas, inundaciones, variaciones extremas de temperatura, fusión de glaciares y hielos árticos y antárticos, aumento del nivel y temperatura de los océanos, tsunamis, tornados y huracanes, incendios forestales, desertificaciones y otros males relacionados con la desestabilización climática. Estos son pálidos antecipos de lo que puede ocurrir en el Planeta, si continuamos emitiendo, irresponsablemente, gases de efecto invernadero provenientes principalmente de la quema de combustibles fósiles y fenómenos asociados, y llegamos a sobrepasar en 2°C la temperatura media global previa a la era industrial.

Aunque muchos gobiernos, consciente o inconscientemente, desconocen o quitan importancia a esta tremenda amenaza al Planeta, la ONU reclama urgentes medidas y afortunadamente la población, en especial la juventud que ve en peligro su futuro, ha tomado conciencia de la gravedad del cambio climático,

aunque todavía no tiene claro cuáles son las soluciones para evitarlo.

Dado que el fenómeno de Efecto Invernadero es absolutamente irreversible e irreparable, la única manera de mitigarlo, entre otras cosas, es utilizar energías limpias tales como las renovables, la hidráulica y la energía nuclear, la que debe jugar un papel preponderante dentro de la matriz energética global y todo lo que se haga para su desarrollo y para lograr la aceptación del público, es fundamental.

En este sentido, los progresos alcanzados en la energía nuclear por fisión son completamente reconocidos, pero el objetivo de máxima debe ser el logro de controlar la energía por fusión, puesta de manifiesto en los años 50 del siglo pasado, con el advenimiento de su uso bélico con las bombas de hidrógeno, llamadas “Bomba H”.

Ya en esa época se hablaba de que lograr el control de la reacción de fusión llevaría no menos de 50 años. Este plazo, tiempo a tiempo, se fue repitiendo y llegó a convertirse en una expresión de imposibilidad.

Sin embargo, este deseo, con el desarrollo del

TOKAMAK fue cobrando visos de realidad y con la unión de 7 grandes países (la Unión Europea, China, Japón, India, Corea, Rusia y los Estados Unidos) empezó a concretarse en el Proyecto ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), ya ampliamente descrito en el No 45/46-Enero/Junio 2012 de “La revista de la CNEA”.

Hoy, en este trabajo, la intención es informar al lector el grado de avance que tiene en la actualidad este

colosal Proyecto.

Un grupo importante de la población mundial comparte la responsabilidad de construir la máquina y las instalaciones del ITER.

Cada País Miembro tiene la misión de construir una fracción del mismo. Hombres y mujeres de estos países trabajan con tesón para alcanzar la meta propuesta.

El estado actual de la obra es el siguientes:

En la figura 1, se ve un “render” en corte de lo que será el ITER una vez terminado. Diseñado a través de la experiencia acumulada en cientos de máquinas de fusión en todo el mundo, demostrará que la reacción de fusión controlada es científica y tecnológicamente viable. Una vez terminado el Tokamak tendrá un peso de 23.000 toneladas; un diámetro de 30 m; una altura aproximada de 30 m; y un volumen del plasma de 840 m^3 con una temperatura en el corazón del mismo de 150.000.000 millones de $^{\circ}\text{C}$. La energía estimada de fusión será de 500 MW.

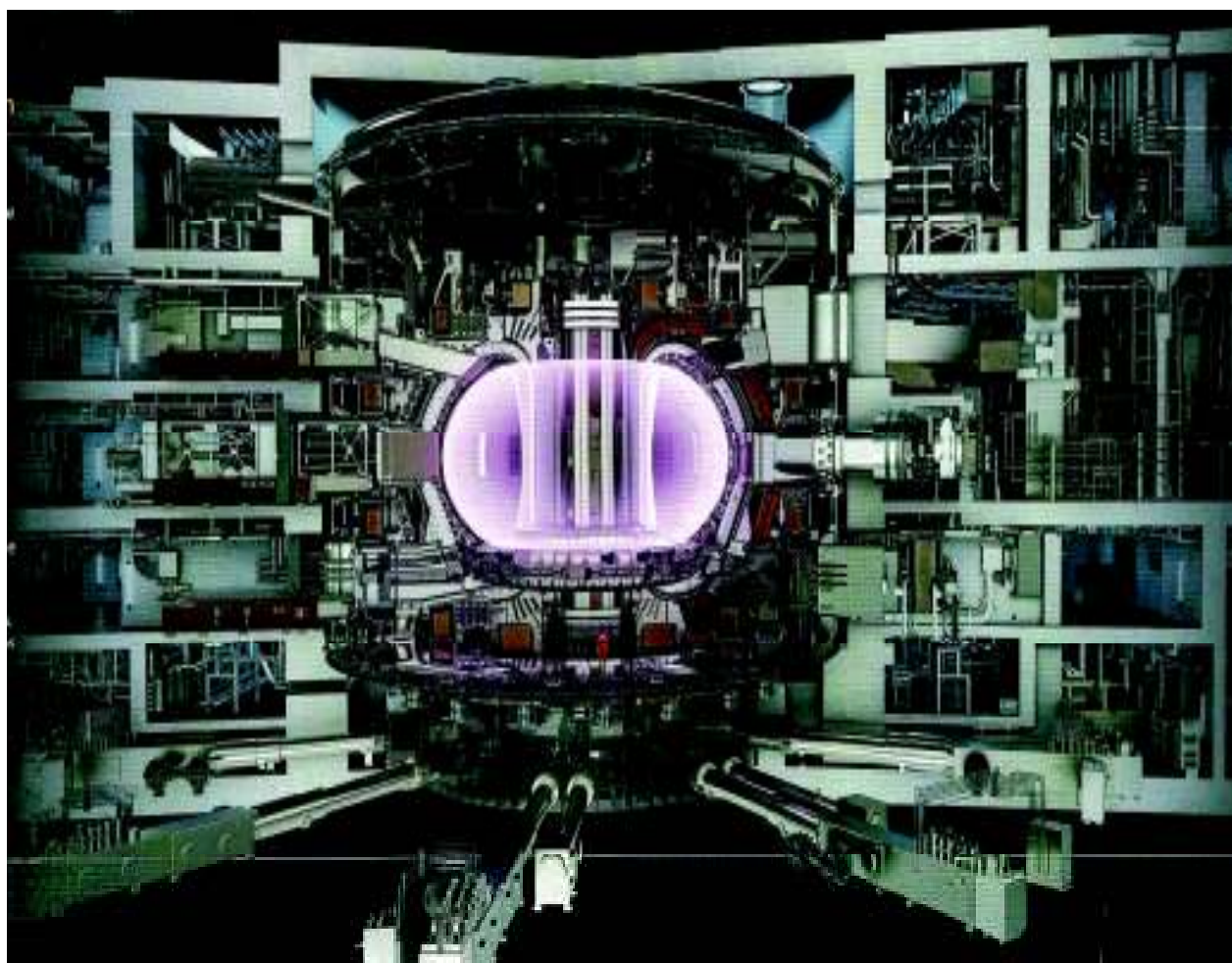


Fig. 1

En la figura 2, se puede ver una presentación del ITER con todos los edificios auxiliares. Su ubicación está en el Sur de Francia, a unos 75 Km de Marsella, ocupando una superficie aproximada de 180 hectáreas. La preparación de los terrenos y el principio de las obras datan del año 2010.



Fig 2.

En la figura 3, se ve el estado actual de la construcción de todos los edificios y la infraestructura del sitio. Como parte de los compromisos adquiridos como anfitrión del proyecto, la Unión Europea está llevando a cabo dichas construcciones. El proyecto más complejo es el Tokamak, que se puede ver a la izquierda en primer plano y su “pozo” perfectamente circular para alojar la máquina del ITER. El resto de esa plataforma principal de 42 hectáreas está reservado para los diferentes edificios auxiliares.

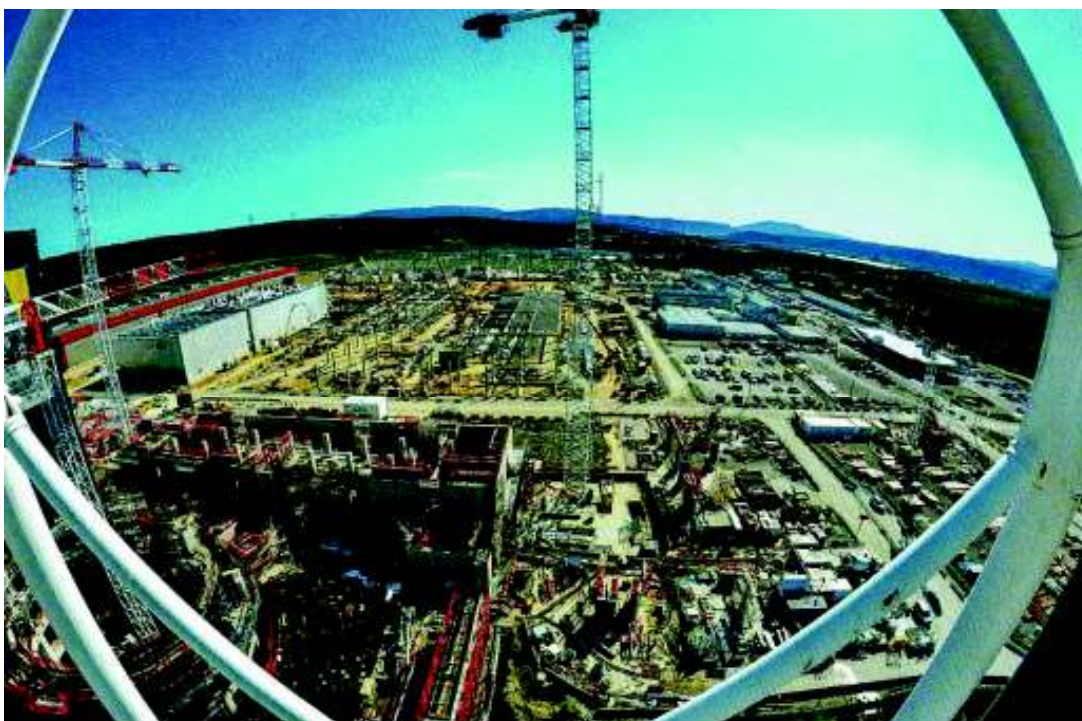


Fig. 3

En la figura 4, se puede ver el sitio donde se está vertiendo el hormigón para completar el blindaje biológico del ITER, antes que se instalen los primeros componentes. Es el montaje del Tokamak más grande del mundo, que se realizará desde abajo hacia arriba, comenzando por la base del criostato y terminando en la tapa del mismo.

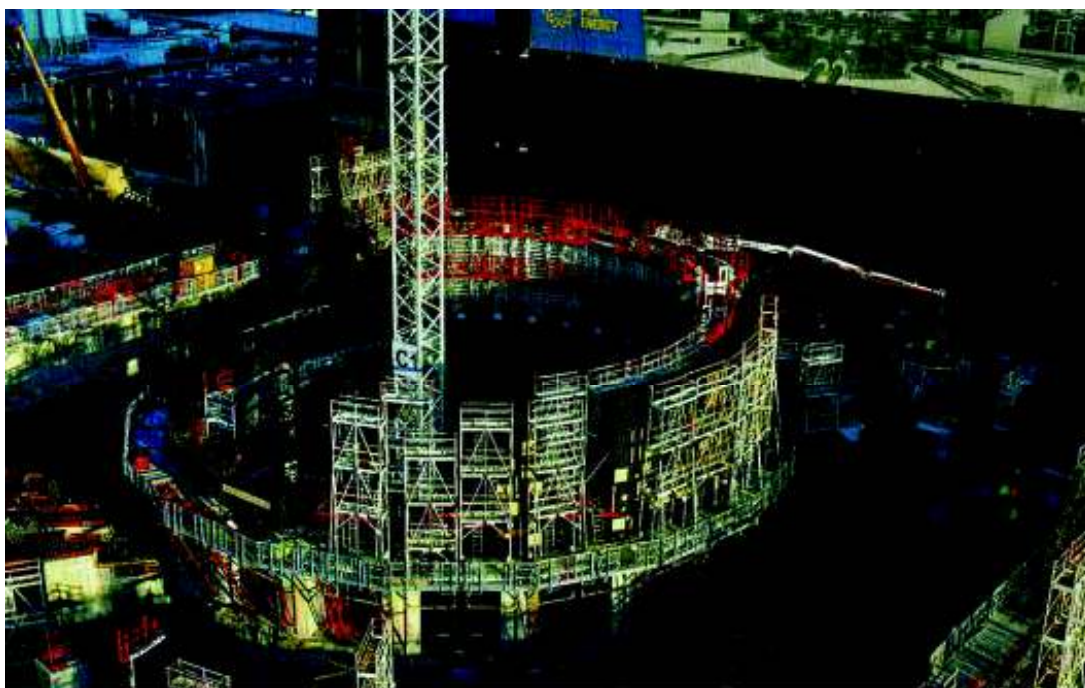


Fig. 4

En la figura 5, se ve dentro de los componentes de la de planta criogénica casi terminada, como se ha iniciado la instalación de los componentes y las pruebas respectivas. La tecnología criogénica se utilizará especialmente para mantener las condiciones de baja temperatura para el imán, junto con el bombeo al vacío y los sistemas de protección térmica.



Fig. 5

En la figura 6, se puede ver la fabricación de los anillos. Cuatro de las bobinas de campo toroidal en forma de anillos están siendo fabricadas “in situ” por la Unión Europea en esa instalación. En el 2017 se comenzó la fabricación de la primera bobina.



Fig. 6

En la figura 7, se muestra la construcción de acero y hormigón que constituirá el blindaje biológico que, durante el montaje de la máquina, servirá además para soportar las vigas de las herramientas de montaje en el pozo, cuando se alíen y suelden los nueve sectores del recipiente de vacío de 400 toneladas.



Fig. 7

En la figura 8, se puede ver el “Coliseo” del ITER. Solamente los dos últimos niveles permanecerán sin ser realizados hasta que se complete el blindaje biológico. Las aberturas en la pared circular servirán para el acceso de sistemas y equipos.



Fig. 8

En la figura 9, se puede ver uno de esos agujeros reservado para uno de los dos inyectores de haces neutros (no ionizados).



Fig. 9

En la figura 10, se ve la antecámara del Tokamak y el puente grúa que puede mover cargas de hasta 1.500 toneladas. Se hizo un testeo de funcionamiento con cargas superiores en un 25% del valor nominal, no presentando ningún inconveniente.



Fig. 10

En la figura 11, se ven dos grandes herramientas de montaje dentro de la vasija de vacío, como de color amarillo, que serán erigidas en el lado opuesto del lugar. Los rieles están emplazados y ya el primer elemento vertical de la herramienta fue posicionado.



Fig. 11

En la figura 12, se ve el contenedor al vacío que actuará como termo de los magnetos superconductores ultra fríos, aislándolos del medio ambiente. Está siendo montado en una facilidad por contratistas de la Indian Domestic Agency. El segmento más bajo del cilindro da una buena idea del tamaño de la máquina ITER.



Fig. 12

En la figura 13, se ve parte de la base del criostato. Los segmentos de soporte han sido posicionados para su posterior soldadura.



Fig. 13

En la figura 14, está representado en corte el ITER y los diferentes países y el porcentaje del total de la obra asumido por cada uno. La Unión Europea está llevando a cabo el 45% del total. La contribución de cada uno de los países intervinientes no es en dinero en efectivo, sino en desarrollo técnico, equipos, insumos, mano de obra, etc. Últimamente se han establecido conversaciones para incorporar al grupo primitivo, a la Argentina, Brasil y Canadá, posibilidad muy importante para nuestro país.

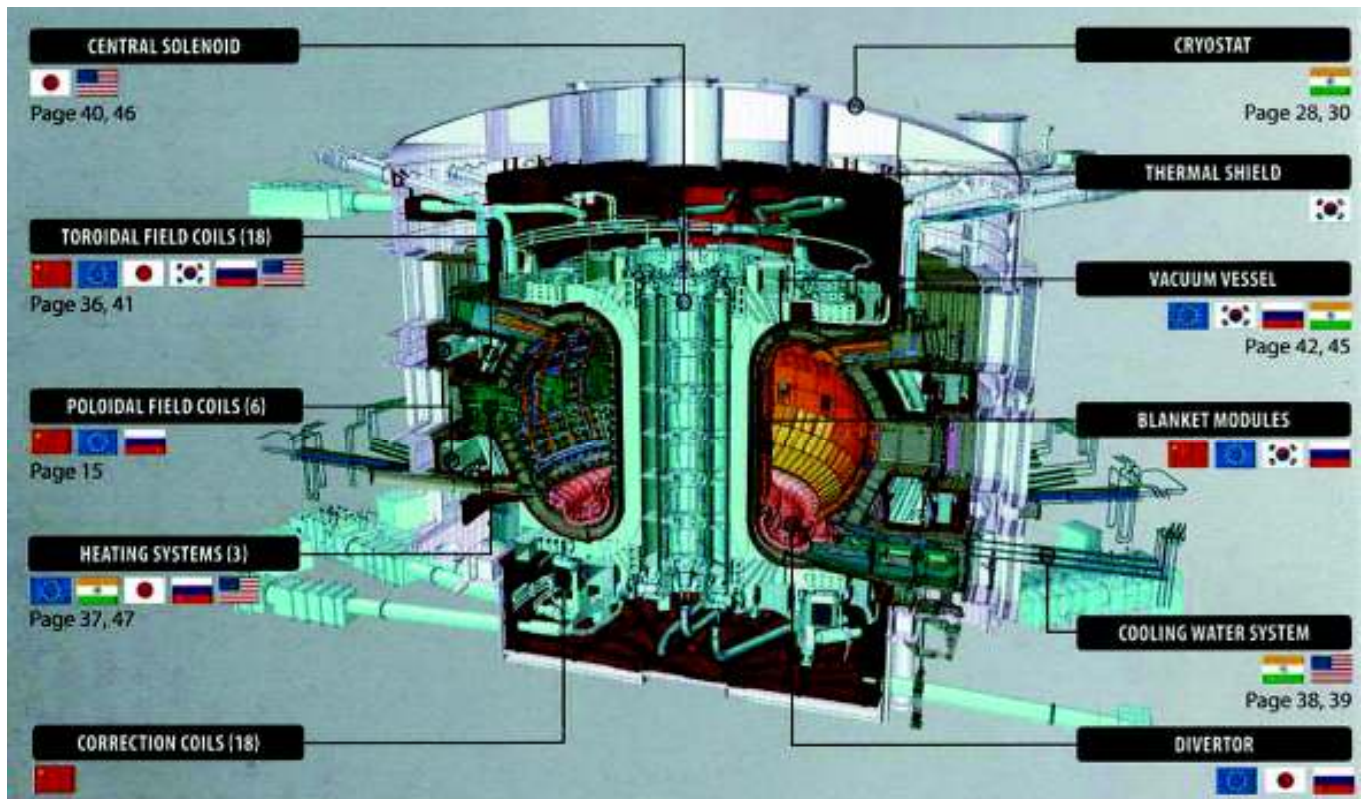


Fig. 14

Toda esa información consignada da una idea cabal de que el funcionamiento del ITER está en vías de concretarse y de esa manera tener controlada la energía por fusión.

La construcción del ITER se ha desarrollado, se desarrolla y se desarrollará según el siguiente cronograma tentativo:

2005: Decisión de la ubicación del proyecto en territorio francés.

2006: Firma del Acuerdo ITER de construcción entre los países participantes.

2007: Creación de la organización para el desarrollo y construcción del ITER.

2007-2009: Preparación de una plataforma nivelada.

2010-2014: Estructura de apoyo y fundación del Tokamak.

2012: Licenciamiento del proyecto como instalación nuclear bajo las leyes de Francia.

2014-2021: Construcción del edificio Tokamak.

2008-2021: Construcción de la planta ITER y edificios auxiliares para el Primer Plasma.

2015-2023: Fabricación de los componentes para el Primer Plasma.

2020-2025: Los más grandes componentes son transportados a las diferentes instalaciones.

2024-2025: Fase de montaje.

2025: Fase de licenciamiento integral (el licenciamiento por sistemas comienza años antes).

2035: Primer Plasma

La idea es que el ITER opere durante unos 20 años para suministrar todos los secretos e información relativos al manejo del plasma.

El ITER, como se ha dicho, está destinado al estudio del plasma. Paralelamente se está estudiando y diseñando el

Proyecto DEMO destinado a convertir la energía de fusión en energía eléctrica. El diseño del DEMO será proyectado para una salida térmica de 2 a 4 Gigavatios y estará en la escala de una moderna central de energía eléctrica. Para lograr estos objetivos, el DEMO debe tener dimensiones aproximadamente un 15% mayores que el ITER y una densidad de plasma 30% mayor. Como prototipo de reactor de fusión comercial, el DEMO podría hacer que la energía de fusión se lograra para el 2033. El siguiente cronograma fue presentado en el Organismo Internacional de Energía Atómica, en la "Fusion Energy Conference" en el 2004 por Christopher Llewellyn Smith:

El diseño conceptual completo para el 2017.

El diseño de ingeniería a completarse en el 2024, después de los ensayos del ITER.

Fase de construcción 2024-2033.

Primera fase de operación 2033-2038. La estación será entonces expandida.

Segunda fase de operación comenzando en el 2040.

De lograr concretar el Proyecto DEMO, la humanidad tendrá resuelto casi indefinidamente su problema energético.

Ventajas de la reacción de fusión

- La fusión de los átomos de forma controlada libera casi cuatro millones de veces más energía que una reacción química como la combustión de carbono, petróleo o gas y cuatro veces más que las reacciones de fisión nuclear en igualdad de masa.
- Los combustibles para la fusión están ampliamente disponibles y son casi inagotables. El deuterio se puede

obtener del agua, mientras que el tritio se producirá durante la reacción de fusión, ya que los neutrones de fusión reaccionan con el litio. Las reservas terrestres de litio permitirían la operación de centrales nucleares de fusión durante mas de mil años, mientras que las reservas de litio marinas cubrirían las necesidades durante millones de años.

- La fusión no emite dióxido de carbono u otros gases de efecto invernadero a la atmosfera. Su principal subproducto es el helio, un gas inerte.
- Los reactores de fusión no producen residuos radiactivos de largo período de semidesintegración ni actividad elevada. La activación de los componentes en un reactor de fusión es lo suficientemente baja como para que los materiales se puedan reciclar o reutilizar dentro de los 100 años.
- No hay riesgo de proliferación, dado que la fusión no emplea materiales fisionables como el uranio y el plutonio (el tritio radioactivo no es un material fisionable). No hay materiales fisiles que puedan utilizarse para fabricar armas nucleares. Además, no es posible un accidente nuclear tipo Fukushima en un dispositivo de fusión Tokamak. Es lo suficientemente difícil para alcanzar y mantener las condiciones precisas necesarias para la fusión, si ocurre alguna perturbación, el plasma se enfría en segundos y la reacción se detiene.

En la pasada Conferencia General de OIEA de septiembre de 2018, hubo una reunión para un pequeño grupo (del cual yo formaba parte) encabezada por el Dr. Bernard Bigot (desde hace unos años Director General del Proyecto ITER) y un grupo de colaboradores de distintos países involucrados en el proyecto. Durante dicha Reunión se nos informó sobre los avances del ITER, presentando una película y diversas fotografías que dieron una idea cabal de los grandes progresos alcanzados. Toda esa información ha dado la base para confeccionar el presente artículo.

Métodos de prospección aplicados en la exploración de uranio. Estudios de caso de la Argentina

LÓPEZ, Luis - Gerencia de Exploración de Suministros Nucleares - CNEA

La exploración de uranio en la Argentina comenzó a principios de la década de 1950 y el método radimétrico fue el más utilizado en ese entonces. De hecho, al combinar los estudios de radimetría aérea con la evaluación en el terreno de las anomalías radimétricas, se descubrieron la gran mayoría de los depósitos de uranio conocidos del país. Aunque el uranio se puede detectar directamente a través de su radiación gamma, muchos depósitos están en profundidad y cubiertos, por lo que , cualquier respuesta radimétrica queda enmascarada y se hace necesaria la aplicación de técnicas geofísicas y geoquímicas diferentes e innovadoras. Sobre este tema, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) ha estado aplicando métodos aeromagnéticos, eléctricos y electromagnéticos, particularmente para delinear las estructuras subterráneas y la geología relacionadas con la localización de minerales nucleares. A manera de ejemplo, se han interpretado datos aeromagnéticos para delinear firmas geofísicas para la exploración de depósitos hidrotermales polimetálico-U en el área de la Precordillera. Asimismo, los tendidos de perfiles de resistividad y polarización inducida, mediante el uso de la configuración electródica dipolo-dipolo, permitieron identificar zonas de paleocanales que albergan mineralización de uranio en la cuenca sedimentaria del distrito de Cerro Solo. La técnica de sondeo audiomagnetotélurico permitió identificar la profundidad de la formación de arenisca hospedante de uranio y fue utilizada para diseñar el plan de perforación subsiguiente para la exploración en el distrito Tonco-Amblayo.

Se lograron resultados positivos mediante la aplicación de análisis geoquímicos de aguas subterráneas, aguas superficiales y sedimentos de corrientes en el depósito tipo perigranítico Alipán para definir blancos de exploración. En los prospectos de la Cuenca Neuquina, se aplicó con resultados promisorios el análisis geoquímico de lixiviación selectiva para el contenido de fracciones móviles en muestras de suelo y la medición de emanación de radón a través del análisis de trazas sobre materiales sólidos (*etchedtracks*) sensibles a la radiación alfa para detectar depósitos enterrados de uranio.

Prospecting methods applied to uranium exploration. Case studies in Argentina

*The exploration of uranium in Argentina started in the early 1950s and the radiometric method was the most frequently used by then. In fact, the majority of the country's known uranium deposits have been discovered by combining airborne radiometric surveys with ground evaluation of radiometric anomalies. Even though uranium can be directly detected through its gamma radiation, many deposits are completely buried, leaving masked any radiometric response and making it necessary the application of different and innovative geophysical and geochemical techniques. Therefore, the National Atomic Energy Commission of Argentina (CNEA) has been implementing aeromagnetic, electrical and electromagnetic methods particularly to delineate underground structures and geology related to ore localization. Airborne magnetic data interpretation has been applied to delineate geophysical signatures for the exploration of hydrothermal polymetallic-U deposits at the Andean Foothills area. Resistivity profiling and induced polarization surveys using a dipole–dipole array configuration led to the identification of palaeochannels zones hosting uranium mineralization in the sedimentary basin of the Cerro Solo district. The audiomagnetotelluric technique was used to identify the depth of the uranium host sandstone and later to design the subsequent drilling plan at the Tonco-Amblayo district. Positive results were achieved through the application of geochemical analysis of groundwater, surface water and stream sediments in the Alipán uranium granite-related deposit to define new exploration targets. In Neuquén Basin prospects, geochemical analysis of mobile fraction extracted by selective leaching of soil samples and measurement of radon emanation in soils using solid state nuclear track detectors (*etchedtracks*) were applied obtaining encouraging results.*

SOBRE LOS MÉTODOS DE PROSPECCIÓN

Se denomina prospección geofísica al conjunto de técnicas aplicadas a la exploración del subsuelo para la búsqueda y posterior estudio de recursos (minerales, hidrocarburos, aguas subterráneas, etc.) por medio de observaciones en la superficie de la Tierra de las propiedades físicas de los materiales en el interior de la misma. Solo pueden lograrse buenos resultados cuando existen contrastes espaciales y/o temporales marcados de la propiedad investigada; por ejemplo, en la conductividad eléctrica, en la velocidad con que se propagan las ondas sísmicas, o en distorsiones del campo magnético, etc. Esos contrastes, denominados "anomalías", son los que evidencian estructuras o formaciones geológicas que podrían indicar la presencia de acumulaciones de sustancias útiles que podrían revestir valor económico.

A diferencia de otras ciencias, la geofísica suele usar métodos indirectos para obtener sus datos, esto quiere decir que, en la búsqueda de depósitos minerales, estos métodos no detectarán una mineralización directamente, sino que, a través de la interpretación de varios datos, se podrán ubicar estructuras y/o litologías relacionadas con la mineralización. Los contrastes o anomalías de las propiedades físicas del terreno bajo estudio serán la clave para lograr recabar la información

requerida. En cuanto a su aplicación específica para la exploración uranífera, se enfoca en la definición indirecta de algunas condiciones geológico-estructurales y la delimitación de ciertas zonas anómalas que podrían indicar la posible existencia de un depósito de uranio.

Entre los métodos geofísicos más empleados para la exploración de minerales (Figura 1), se encuentran los métodos eléctricos o geoelectrónicos en sus variantes de Sondeos Eléctricos Verticales y Perfilaje o Tomografía Eléctrica. Ambas técnicas se basan en la medición de la resistividad, que se efectúa generalmente con un dispositivo tetraelectrónico mediante el cual se inyecta corriente eléctrica al terreno a través de dos electrodos (A-B) y se mide la diferencia de potencial entre otros dos electrodos (M-N) en la cercanía. La resistividad medida corresponde a una "resistividad aparente", que resulta del promedio de las "resistividades reales" de las distintas capas o unidades geológicas atravesadas por la corriente eléctrica. Los sondeos eléctricos verticales investigan como varía la resistividad con la profundidad asumiendo la existencia de capas lateralmente homogéneas (investigación en una dimensión o 1D), mientras que el perfilaje o tomografía eléctrica permite determinar las variaciones en resistividad tanto en la dirección vertical (profundidad) como en una de las direcciones horizontales del terreno (investigación en dos dimensiones o 2D).

MÉTODO GEOFÍSICO	TÉCNICAS	PARÁMETRO MEDIBLE
ELÉCTRICO	1D: Sondeo Eléctrico Vertical 2D: Perfilaje Eléctrico – Tomografía Eléctrica Polarización Inducida Potencial Espontáneo	Resistividad/Conductividad Cargabilidad Potencial natural
ELECTROMAGNÉTICO	Frecuencial (FEM) ○ Fuente Natural: Magnetotelúrico (AMT y MT) ○ Fuente Provocada: CSAMT, RADAR, VLF (Very Low Frequency), RMP (Resonancia Magnética Protónica) Transitorio (TEM o TDEM)	Resistividad/Conductividad
SÍSMICA	Sísmica de Reflexión Sísmica de Refracción	Velocidad de propagación de las ondas sísmicas
GRAVIMETRÍA	Gravimetría aérea y terrestre	Densidad
MAGNETOMETRÍA	Magnetometría aérea y terrestre	Susceptibilidad magnética
RADIMETRÍA	Radimetría - Gamma Total Espectrometría Gamma- K, U y Th	Radioactividad natural y

Figura 1. Métodos geofísicos principales de prospección, técnicas y propiedades físicas mensurables. En azul se indican los mencionados para este trabajo

El método de Polarización Inducida es similar al geoelectrico solo que la corriente inyectada se interrumpe bruscamente y la diferencia de potencial medida no cae a cero instantáneamente, sino más bien de una forma suave después de un primer descenso grande desde el valor inicial. Este tiempo de decaimiento es del orden de milisegundos a segundos y su medida se conoce como cargabilidad. En este contexto, las respuestas altas de polarización inducida corresponden por lo general a la presencia de sulfuros metálicos diseminados en el subsuelo, lo cual constituye una excelente guía exploratoria para el hallazgo de depósitos de uranio.

Los métodos electromagnéticos se basan en mediciones de los campos eléctrico y magnético generados por corrientes que circulan naturalmente por el subsuelo y al igual que los geoelectricos, permiten medir las variaciones de la resistividad. Conceptualmente, existen dos grandes categorías de métodos electromagnéticos, los que trabajan en el dominio de la frecuencia (FEM o FDEM) y los que trabajan en el dominio del tiempo (TEM o TDEM). Dentro del primer grupo, los sondeos magnetotelúricos (MT) o audiomagnetotelúricos (AMT) son ampliamente conocidos por obtener excelentes resultados a la hora de caracterizar la secuencia electro-estratigráfica a distintas profundidades, que pueden variar desde unos pocos metros hasta decenas de kilómetros.

Por su parte, la prospección magnetométrica consiste en evaluar la desigual distribución de fuerzas magnéticas que provocan desviaciones o anomalías del valor normal del Campo Magnético Terrestre, debido a propiedades físicas como la susceptibilidad magnética y la magnetización remanente de las rocas en el sitio estudiado. Estas propiedades físicas sólo existen a temperaturas debajo de la Temperatura de Curie, por lo cual la profundidad máxima de investigación con este método es de 30 a 40 km, dependiendo del gradiente geotérmico. El método magnético de prospección es útil para brindar información acerca de la profundidad de las rocas pertenecientes al basamento, localizar y definir la extensión de las cuencas sedimentarias, reconocer estructuras regionales, delinear cuerpos intrusivos subaflorantes y también, en la exploración minera para la búsqueda directa de minerales magnéticos o indirectamente, en la búsqueda de minerales no magnéticos asociados con aquellos que ejercen un efecto magnético mensurable.

La prospección geoquímica consiste en el muestreo y la caracterización de distintos materiales naturales como agua superficial y subterránea, sedimentos de corriente y de cuerpos de agua, y suelos. La técnica involucra mediciones "in situ" de parámetros físico-químicos (por ejemplo, pH, Eh, conductividad, etc.), análisis químicos de laboratorio de los componentes mayoritarios, minoritarios y trazas, utilizando distintos métodos analíticos, procesamiento de datos e interpretación de resultados.

La geoquímica de agua es una de las técnicas más

aplicadas y cuando se trata de aguas subterráneas y de vertientes es de interés la determinación del contenido de radón (Rn) disuelto que puede evidenciar la presencia cercana de mineralización de uranio.

Asimismo, se utilizan técnicas emanométricas "in situ" para determinar los contenidos de Rn en suelos a través del análisis de trazas (etched tracks) sobre materiales sólidos sensibles a la radiación alfa (SSNT, por sus siglas en inglés).

Tomando en cuenta lo apuntado en los párrafos precedentes, la Gerencia Exploración de Materias Primas de la CNEA ha trabajado en estos últimos años impulsando las actividades de prospección a través de la compra de equipos, el desarrollo de programas de prospección geofísica y geoquímica en áreas de cateos propiedad de la CNEA y la capacitación profesional, principalmente a través de la cooperación técnica con el Organismo Internacional de Energía Atómica, con el fin de realizar la transferencia de conocimiento y la tecnología requerida para hacer de la prospección una pieza fundamental en la exploración integral de uranio.

ESTUDIOS DE CASO (Ver ubicación general en la Figura 2)

Distrito Uranífero Guandacol (Provincia de La Rioja)

El Distrito Uranífero Guandacol, ubicado en la Precordillera de La Rioja, fue objeto de numerosos estudios realizados por la CNEA desde la década de 1960 debido a la existencia de manifestaciones uraníferas tales como los yacimientos Urcal y Urcuschún. Con el propósito de contribuir al mapeo geológico regional de esta zona y de conocer el comportamiento en profundidad de rocas intrusivas posiblemente vinculadas a la mineralización, se realizó la interpretación geológica de anomalías aeromagnéticas.

Las rocas más antiguas en la región están representadas por las metamorfitas precámbricas de la Formación Espinal, las que constituyen parte del basamento de Sierras Pampeanas. Sobre éstas se depositan sedimentos continentales del Cámbrico Inferior y depósitos carbonáticos (Formación San Juan) y clásticos ordovícicos, que posteriormente son cubiertos en discordancia por una secuencia sedimentaria del Paleozoico Superior. Completan la secuencia estratigráfica sedimentitas continentales mesozoicas y coladas ácidas y mesosilíceas del Cenozoico. Las evidencias de actividad magmática del Carbonífero Superior hasta el Pérmico-Triásico inclusive, están representadas por los intrusivos de los cerros Veladero, Imán y Madril ubicados al sur del río Guandacol. Hacia el sudeste de la mina Urcuschún, en la ladera oriental del cerro homónimo, aflora un "stock" monzodiorítico y diorítico que produce efectos metamórficos y metasomáticos sobre la Formación San Juan, con formación de zonas de "skarn" que revisten especial interés por su posible vinculación metalogenética con los depósitos de uranio.

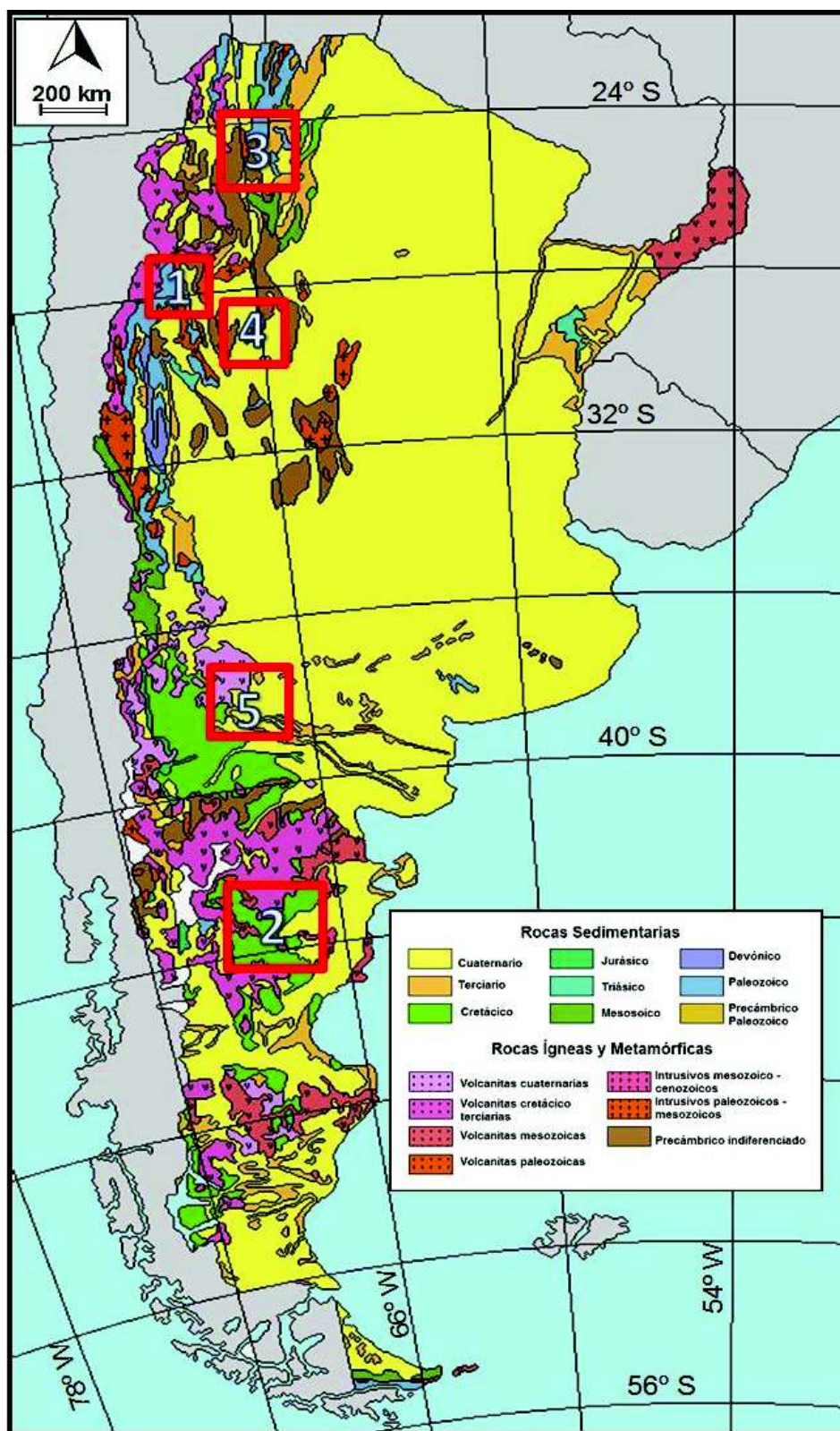


Figura 2. Mapa de ubicación de los casos de estudio. (1) Distrito U Guandacol (2) Yacimiento U Cerro Solo (3) Distrito U Tonco-Amblayo (4) Proyecto U Alipán (5) Proyecto U Catriel

Los datos aeromagnéticos utilizados corresponden a un recorte del levantamiento aerogeofísico proporcionado por el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). Dicho levantamiento fue realizado con líneas de vuelo de orientación meridional espaciadas 1.000 metros entre sí y con una altura nominal de vuelo de 140 metros sobre el terreno.

Para el procesamiento de esta información se utilizó el "software" Oasis-Montaj Geosoft. Esto incluyó la edición de datos en bruto, la eliminación del Campo Geomagnético de Referencia Internacional (IGRF), la nivelación de todos los datos a una base común y, finalmente, la aplicación de filtros 1D y 2D para eliminar el ruido y las tendencias regionales y mejorar ciertas

características geológicas, y la generación de grillas con un tamaño de celda de 250 metros. Los filtros incluyeron reducción al polo, primera derivada vertical, señal analítica y continuaciones ascendentes de las anomalías del campo magnético terrestre (Figura 3). Además, se usaron varias imágenes compuestas (Figura 4) para optimizar la interpretación geológica. Asimismo, debido a la ubicación geográfica y el contexto geológico asociado, se analizaron en detalle cuatro anomalías circulares. Al respecto, se utilizaron la deconvolución de Euler y la señal analítica para delinear los contactos de dichas anomalías y obtener estimaciones rápidas de la profundidad de la fuente causante las señales correspondientes.

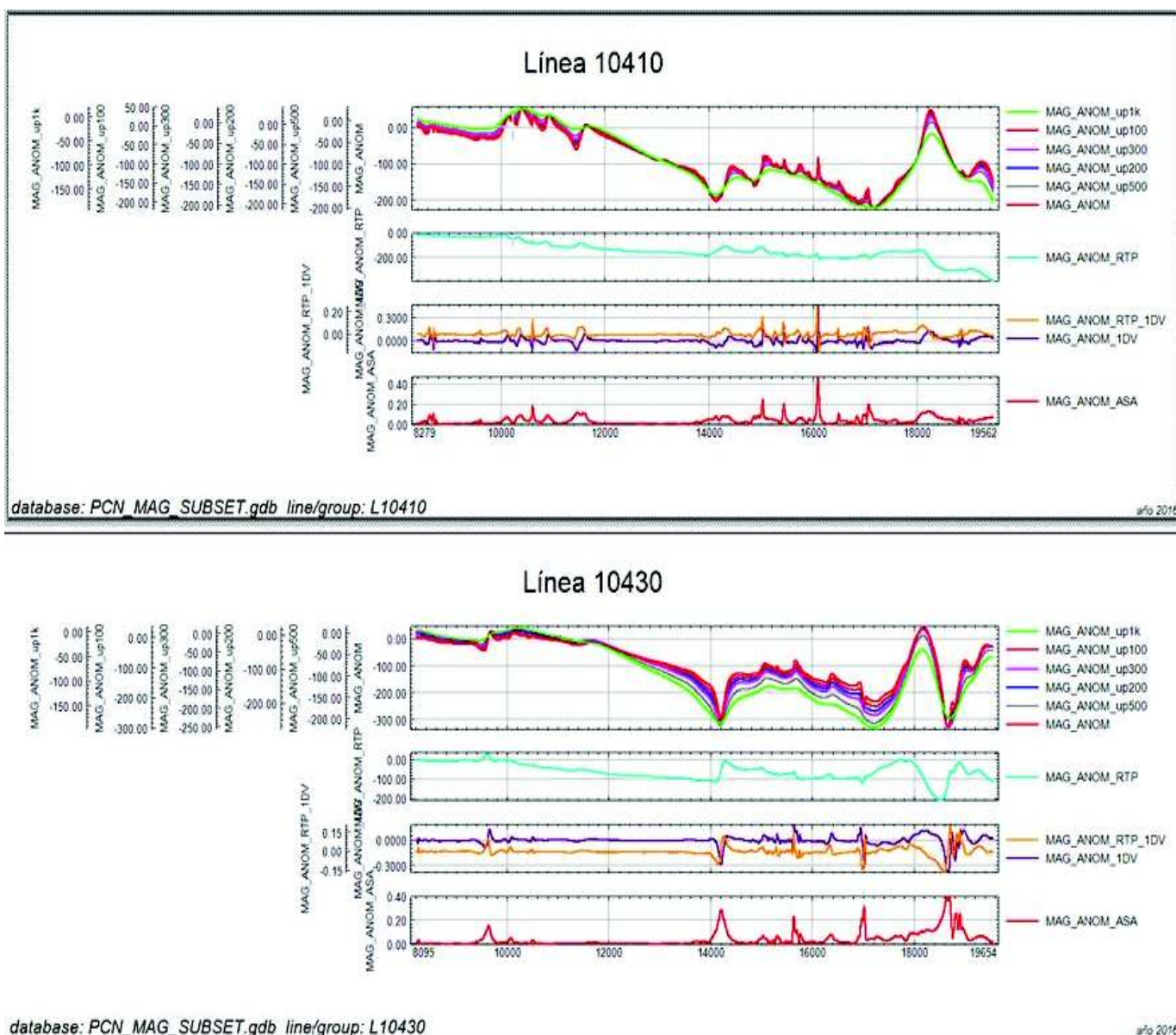


Figura 3. Perfiles correspondientes a dos tramos de líneas de vuelo aeromagnético, donde se muestran los filtros 1D utilizados para la interpretación

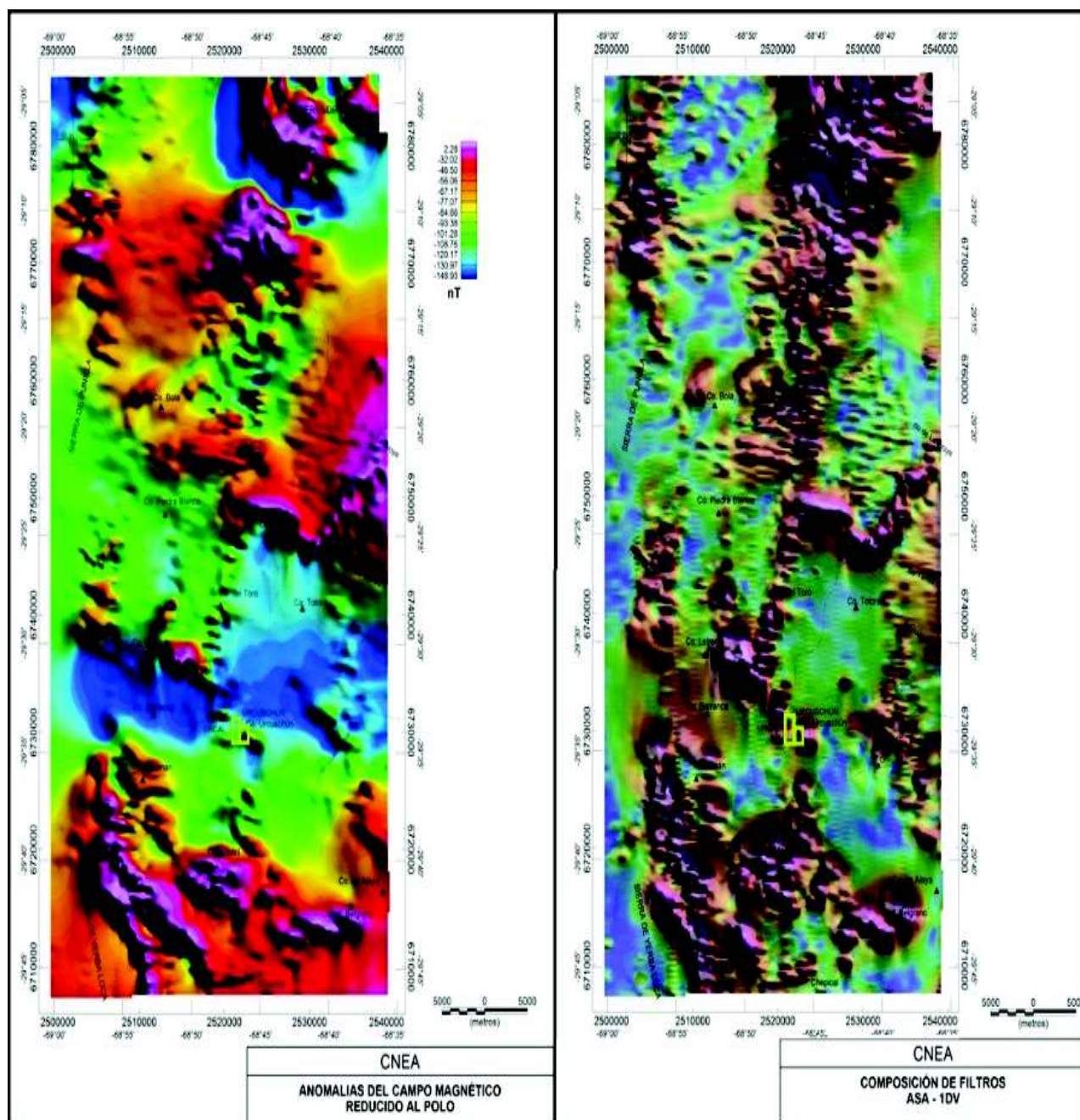


Figura 4. Mapa de anomalías del campo magnético reducido al polo (izquierda) y de composición de filtros: señal analítica + primera derivada vertical del campo magnético reducido al polo (derecha). En recuadro verde se ubican las manifestaciones uraníferas Urcal y Urcuschún

Los datos aeromagnéticos utilizados tienen carácter regional, se han podido ubicar las principales estructuras a esa escala, reconocer dominios litomagnéticos e identificar anomalías magnéticas dipolares que se correlacionan en superficie con afloramientos de rocas intrusivas como el “stock” del cerro Urcuschún (Figura 5). Una de estas anomalías pertenece a afloramientos de

rocas intrusivas y está asociada con la mineralización de “skarn” con contenidos interesantes en Fe, Mo, U y Au. Estas observaciones refuerzan la hipótesis de que las anomalías detectadas hacia el noroeste respondan a la existencia de otros cuerpos magmáticos como fuente de calor vinculados a la génesis de las manifestaciones de uranio en la zona.

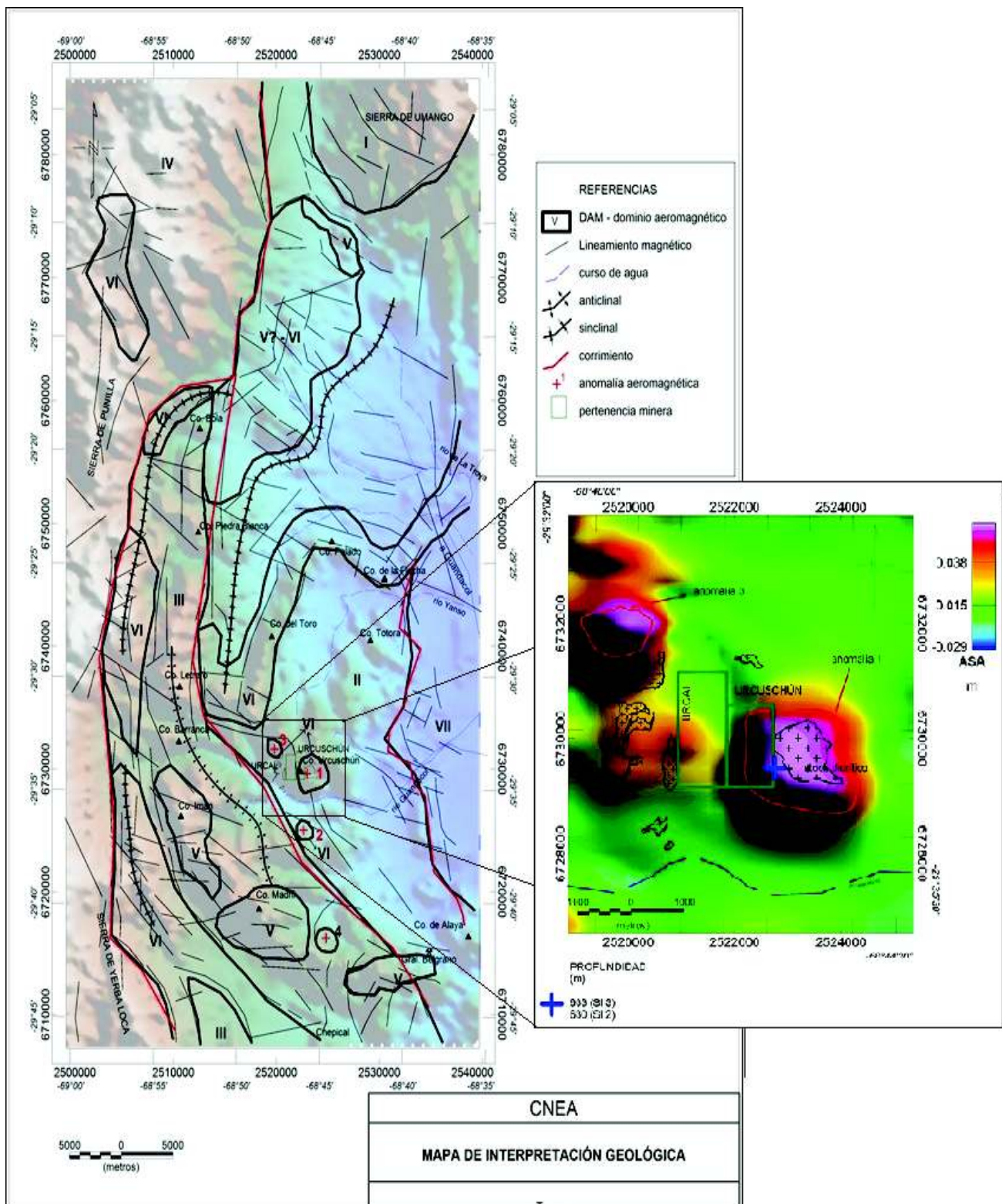


Figura 5. Mapa de interpretación geológica de la información aeromagnética donde se delimitan dominios litomagnéticos y lineamientos interpretados. En el recuadro se muestra un detalle del mapa de la señal analítica donde se observa la anomalía magnética sobre el stock del cerro Urcuchún. La estimación de profundidad al techo de la fuente causante de la anomalía (800 a 1000 metros) fue calculada por el método estándar de Euler en el “software” Oasis Montaj de Geosoft.

Yacimiento Uranífero Cerro Solo (Provincia del Chubut)

El yacimiento Cerro Solo pertenece a la Unidad de Investigación de la Cuenca del Grupo Chubut y se encuentra ubicado aproximadamente en el centro de la provincia homónima. En este sitio se realizó un estudio de prospección geofísica, siguiendo como principal objetivo encontrar un modelo de resistividad eléctrica que permitiera determinar la profundidad del basamento

y conocer la variación y configuración de la cobertura sedimentaria que apoya sobre el mismo y alberga las mineralizaciones de uranio.

En el área de estudio el basamento económico está representado por las volcanitas de la Formación Lonco Trapial (Jurásico Medio) y la sucesión sedimentaria corresponde a sedimentos fluviales de alta y baja energía de la Formación Los Adobes (Cretácico) y a rocas piroclásticas de la Formación Cerro Barcino.



Figura 6. Ubicación de los sondeos SEV/AMT del perfil N-S y del perfil dipolo-dipolo E-O en el sector de estudio, Yacimiento Cerro Solo (Imagen de Google Earth)

Durante el levantamiento de campo se efectuaron 11 sondeos eléctricos verticales (SEV) y 9 sondeos audiomagnetotelúricos (AMT), ubicados a lo largo de un perfil N-S. Perpendicular a éste, se realizaron mediciones

de resistividad y cargabilidad con el arreglo electródico dipolo-dipolo, a lo largo de un perfil de aproximadamente 1 km de longitud (Figura 6).

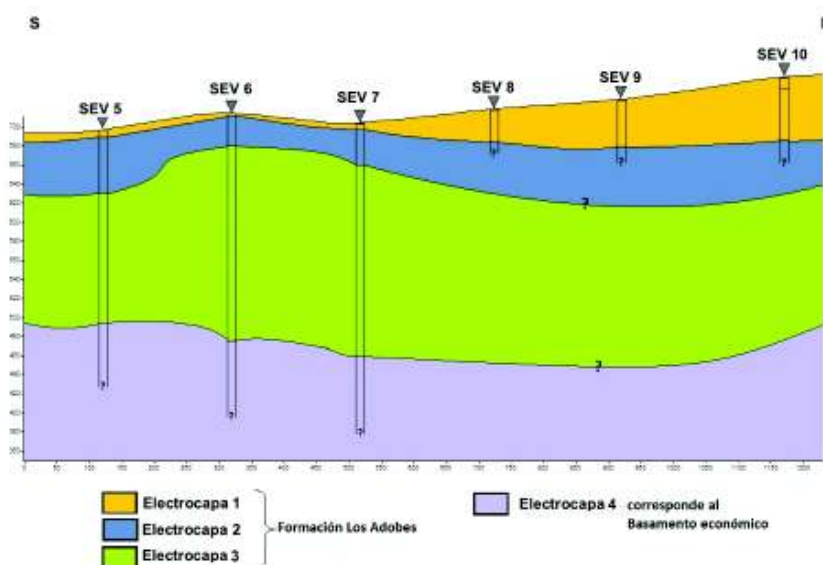


Figura 7. Perfil geoelectrico de orientación N-S elaborado a partir de la correlación de Sondeos Eléctricos Verticales. Se observa que el método presenta mayor resolución en profundidades someras

Los SEVs obtuvieron una buena resolución en profundidades someras, lo cual permitió identificar con claridad el pase entre los miembros de la Formación Los Adobes; no obstante, resultaron poco eficientes para determinar la profundidad del basamento económico.

Contrariamente, los Sondeos AMT alcanzaron mejor resolución con la profundidad y permitieron obtener buenos contrastes entre el basamento y la cobertura sedimentaria (Figuras 7 y 8).

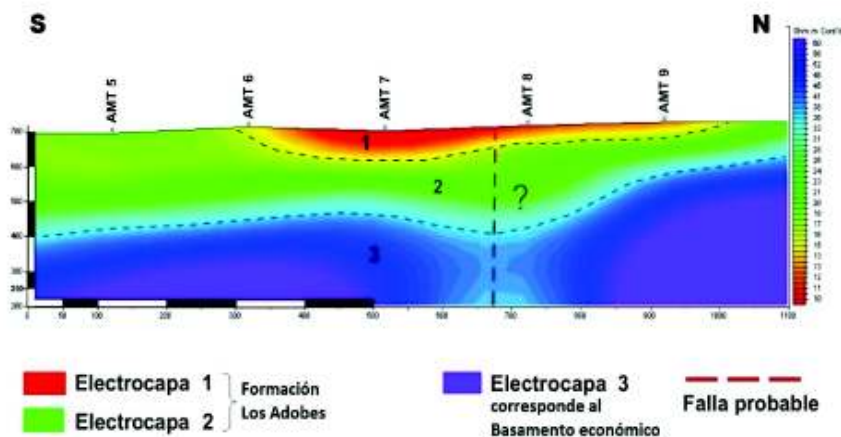


Figura 8. Sección de resistividad real versus profundidad elaborada a partir de los sondeos AMT. La resolución aumenta con la profundidad

Asimismo, el método de perfilaje o tomografía eléctrica resultó adecuado para diferenciar las secuencias sedimentarias de la Formación Los Adobes, definiendo bien la disposición de las mismas, tanto lateralmente como en profundidad. De igual modo, permitió delinear la configuración de paleocanales y distinguir variaciones

de facies dentro del paquete sedimentario. Los sectores de alta cargabilidad, presumiblemente debido a la presencia de sulfuros metálicos, se correlacionaron exclusivamente con los sedimentos ligados a la mineralización de uranio (Figura 9).

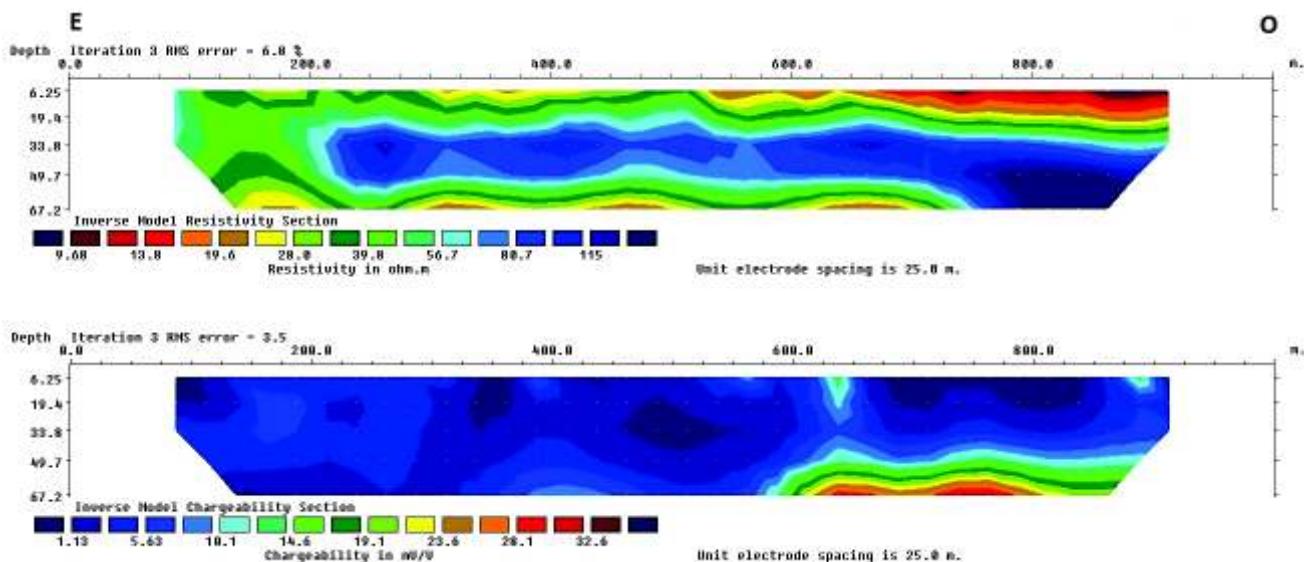


Figura 9. Secciones de resistividad y cargabilidad obtenidas como resultado del perfilaje eléctrico con arreglo dipolo-dipolo. Se observa una buena resolución tanto para los contrastes laterales como para los verticales. La zona más resistiva (entre 80 y 115 ohm.m) corresponde a la Formación Los Adobes. La zona con alta cargabilidad (entre 28 y 32 mv.v) corresponde a la presencia de sulfuros metálicos asociados a la mineralización de uranio.

Distrito Uranífero Tonco - Amblayo (Provincia de Salta)

El Distrito uranífero Tonco - Amblayo pertenece a la Unidad de Investigación de la Cuenca del Grupo Salta y se encuentra ubicado al sudoeste de la provincia homónima. En la zona se realizó un estudio geofísico para ajustar la interpretación estructural y definir la profundidad a la que se encuentra la formación portadora de los niveles mineralizados de uranio.

El basamento de la región está compuesto por metamorfitas de la Formación Puncoviscana (Precámbrico Superior-Eocámbrico), que están cubiertas en neta discordancia angular por sedimentitas del Grupo Salta (Cretácico Inferior - Eoceno Medio). Éste se inicia en sedimentos continentales rojizos del Subgrupo Pírgua.

Continúan sedimentos fluviales, lagunares y marinos del Subgrupo Balbuena, integrado en la base por areniscas calcáreas y conglomerados de la Formación Lecho y en el techo por la Formación Yacoraite, que es la unidad portadora de la principal mineralización de uranio del distrito. El Grupo Salta culmina con los depósitos continentales rojizos del Subgrupo Santa Bárbara (Paleoceno - Eoceno Medio).

El estudio geofísico consistió en la medición magnetotelúrica en 12 sitios, distribuidos en dos perfiles aproximadamente paralelos, dentro de la región de interés, para describir el subsuelo con modelos bidimensionales (2D) (Figura 10). Se utilizaron los sensores de alta y de baja frecuencia en todos los sitios.

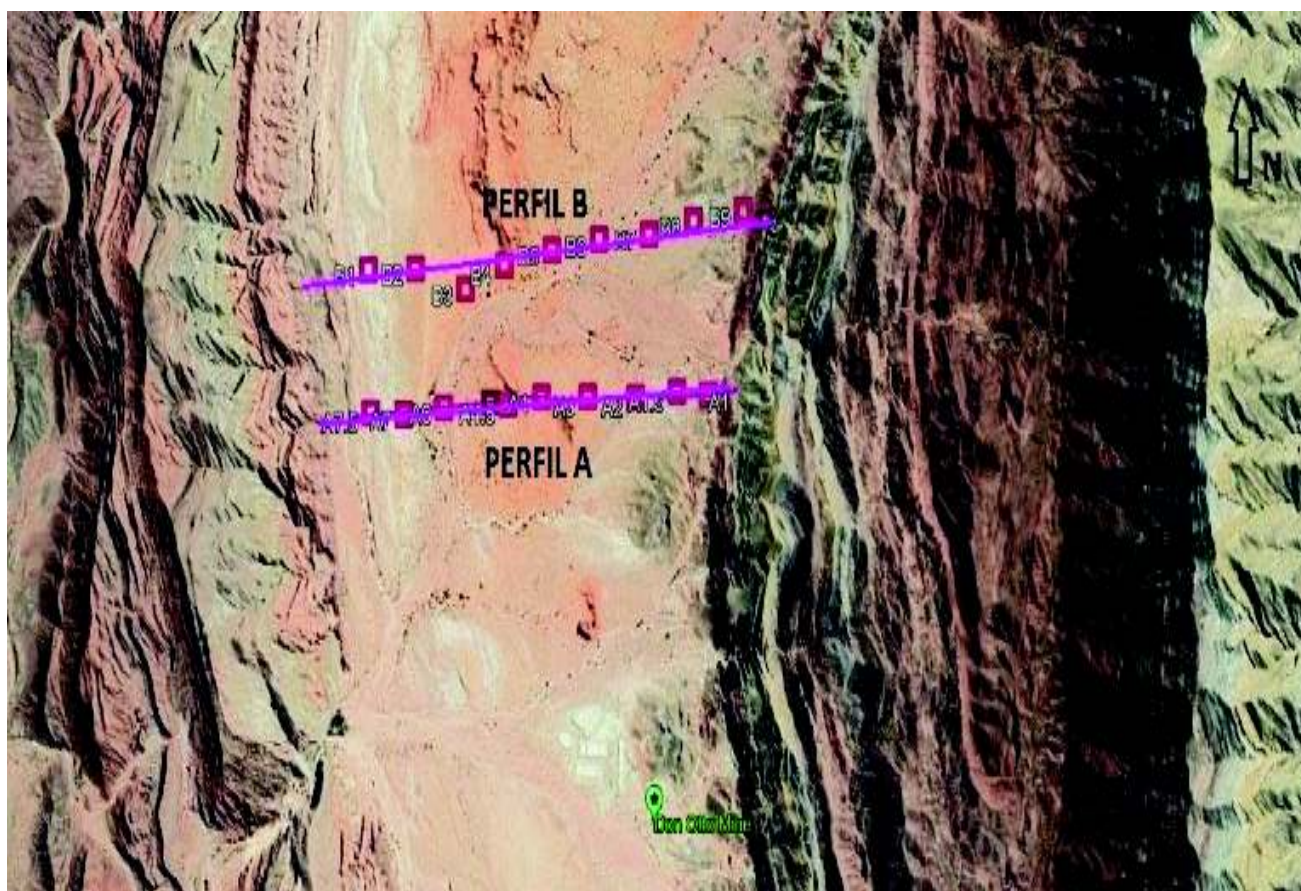


Figura 10. Ubicación de los sondeos magnetotelúricos, conformando dos perfiles de orientación O-E, realizados en el Distrito Uranífero Tonco-Amblayo (Imagen de Google Earth)

Se obtuvieron dos modelos 2D Oeste-Este correspondientes a los perfiles A y B. Se ha interpretado que la Formación Yacoraite tendría su techo alrededor de

los 300 m con un espesor de 100 m para el perfil A y entre 350-400 m con un espesor posible de ~200 m para el perfil B (Figura 11).

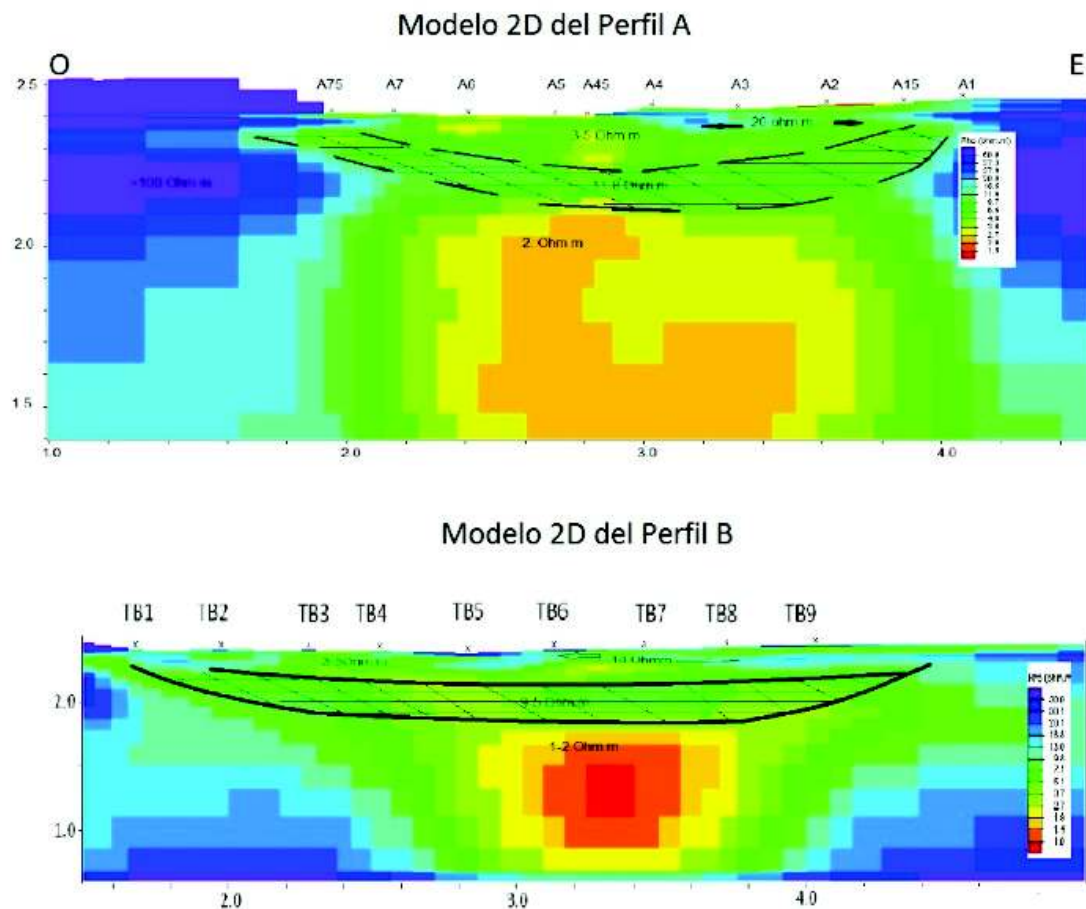


Figura 11. Interpretación 2D de los perfiles realizados con sondeos magnetotéluricos.

El techo de la Formación Yacoraite (portadora de la mineralización de uranio) se infiere a una profundidad de 300 m, con un espesor de 100 m para el perfil A y entre 350-400 m, con un espesor posible de 200 m para el B

Proyecto de Uranio Alipán (Provincia de La Rioja)

El Proyecto Alipán se encuentra en la unidad morfotectónica de las Sierras Pampeanas, la cual se compone de numerosos cuerpos graníticos de edades eopaleozoicas a neopaleozoicas que intruyen a metamorfitas de diverso grado. Por encima de este basamento cristalino se apoyan sedimentitas continentales cenozoicas que acompañan el ascenso orogénico. Estructuralmente se encuentra afectada por fallas inversas que configuran un sistema de bloques basculados con una disposición general N-S como resultado de la tectónica neógena.

Los modelos prospectados son los depósitos de uranio perigranítico e intragranítico y depósitos de tipo sedimentario en el valle intermontano. Fueron muestreados un total de 237 sitios de sedimentos de corriente, 54 sitios por sedimentos y aguas de manantiales y 14 sitios de aguas subterráneas para cubrir el área de interés inicial de 500 km². Para la determinación de los valores anómalos y de fondo en uranio y otros elementos guía fueron utilizados estimadores estadísticos robustos a partir de lo cual se detectaron algunos sectores de potencial interés (Figura 12).

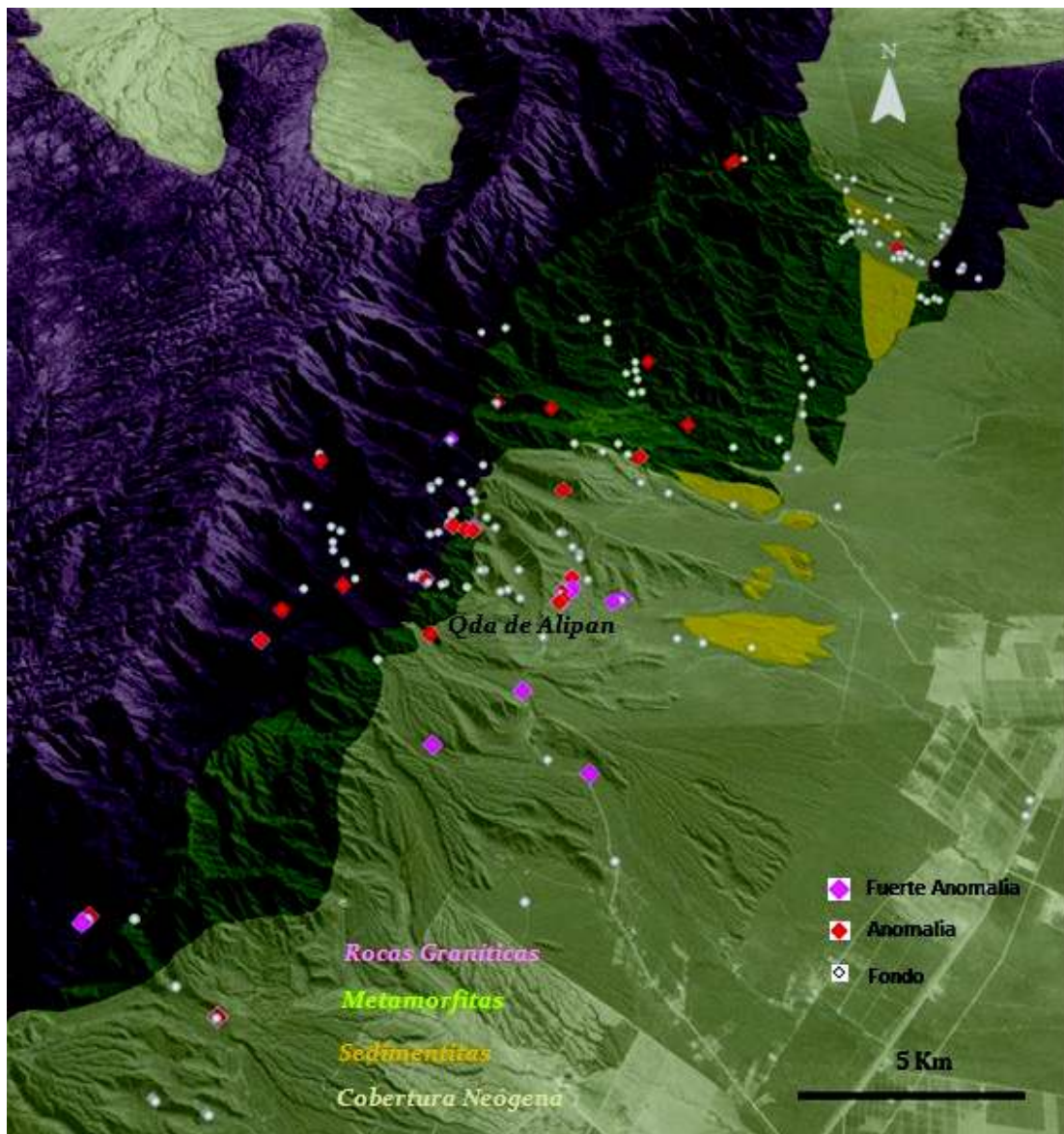


Figura 12. Distribución de anomalías y valores de fondo de uranio en manantiales y arroyos, proyecto Alipán

Además, fue realizado un agrupamiento de K medias de sitios de las variables analizadas en los sedimentos a partir del cual se definieron 6 grupos que a su vez se encuentran espacialmente bien definidos dentro del área de estudio. Los grupos más relevantes son aquellos que se asocian a los sitios anómalos Grupos 2, 5 y 6 (Figura 13). A su vez en estos tres grupos se aplicó un agrupamiento jerárquico de las variables y se verificaron las correlaciones de las variables medidas en cada uno de estos tres sectores.

El área de estudio ofrece una gran potencialidad uranífera en todos los dominios litológicos analizados, considerando la existencia de sectores con fuertes anomalías de uranio y las correlaciones positivas con uranio en aguas y sedimentos de varios elementos guía. A partir de los datos geoquímicos, entre otras guías prospectivas, se realizaron trincheras y perforaciones que detectaron la presencia de mineralizaciones uraníferas en el contacto granito-metamorfita, las que se encuentran obliteradas por la tectónica reciente.

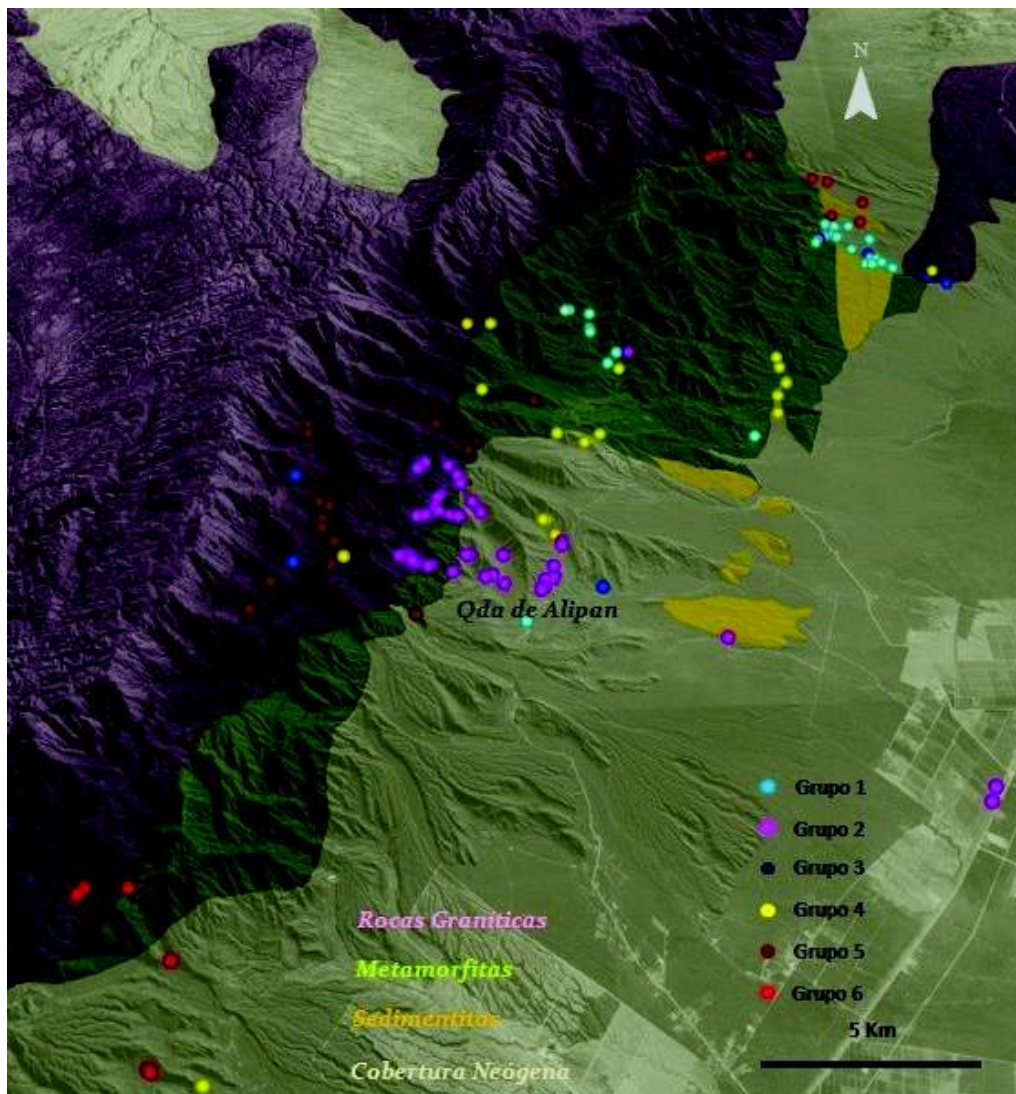


Figura 13: Distribución los sitios de muestreo en los distintos grupos de análisis de “clusters”, proyecto Alipán

Proyecto de Uranio Catriel (Provincia de Río Negro)

El proyecto Catriel se encuentra en la provincia morfoestructural de la Cuenca Neuquina donde se hallan además las mayores reservas hidrocarburíferas de la Argentina. Este proyecto ha surgido como resultado del análisis de la información geológica y el reconocimiento de anomalías radimétricas identificadas en varios registros de pozos de petróleo y gas preexistentes. En estas áreas de exploración se espera el desarrollo de nuevos recursos de uranio en areniscas que podrían eventualmente extraerse mediante la minería por lixiviación “in situ” (ISL).

Si bien en el área no hay afloramientos de las formaciones portadoras de mineralización de uranio (Cretácico Superior), la geología es conocida a través de la información de los pozos de exploración petrolera, la

que confirma que las mismas se encuentran por debajo de los 100 m de profundidad.

En el sitio se han aplicado técnicas de prospección de geoquímica de aguas subterráneas y suelos y de emanometría de radón en suelos. Para cubrir un área de exploración inicial de más de 500 km² de extensión fueron muestreados 349 sitios para geoquímica de suelos y 18 para geoquímica de aguas subterráneas. En una primera etapa el análisis de las anomalías en suelos permitió definir cinco sectores con anomalías de superficie, con tenores entre 5 y 25 ppm de uranio por sobre un fondo regional inferior a 3 ppm (Figura 14), en tanto que las aguas subterráneas presentan una gran contaminación por vertidos de aguas de purga de la actividad petrolera tornándolas sin valor prospectivo.

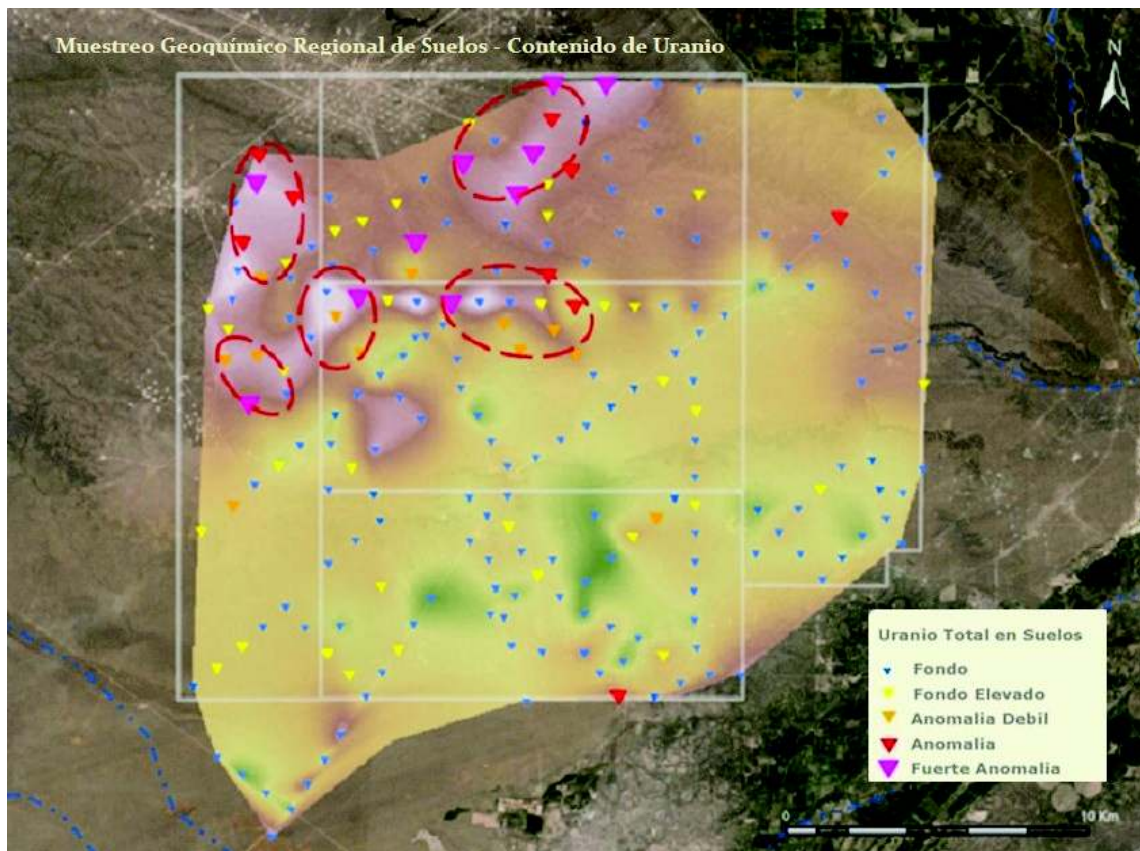


Figura 14: Distribución de anomalías regionales de uranio en suelos agrupados en 5 sectores, proyecto Catriel

Seguidamente los trabajos se concentraron en los sectores con las mayores anomalías, las cuales cubren una superficie de unos 50 km², y donde fueron

sembrados además 61 dispositivos con material sensible a la radiación alfa para la medición del radón telúrico (Figuras 15 y 16).

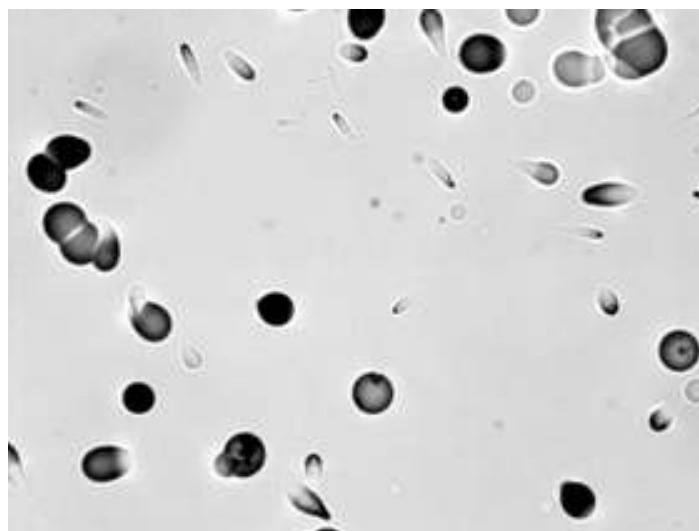


Figura 15: Microfotografía de baja densidad relativa de impactos de partículas sobre el material sensible, proyecto Catriel

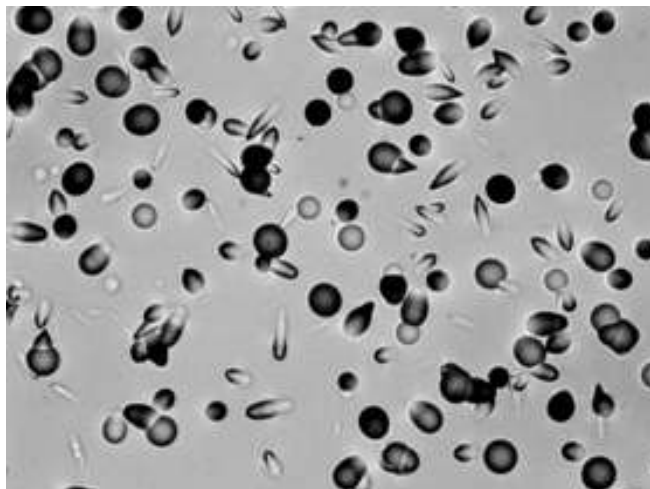


Figura 16: Microfotografía de alta densidad relativa de impactos de partículas sobre el material sensible, Proyecto Catriel

Se ha reconocido que las anomalías en uranio y algunos otros elementos (Ca, Sr, As, V, Cu, Ni y Se), en contenidos lixiviables de los suelos, están alineadas según algunas direcciones definidas, en cuyas intersecciones se disponen los sectores anómalos más amplios. La emanometría de gas radón permitió definir algunos sectores con un alto índice de emanación que siempre coinciden con las áreas más extensas de

anomalías de uranio (Figuras 17 y 18). A manera de una interpretación preliminar puede decirse que la configuración de los sectores anómalos representa la probable expresión en superficie de un sistema de fracturas o de fajas de debilidad o mayor porosidad y, por tanto, de mayor movilidad de fluidos y escape de gases, que habrían funcionado como vías de dispersión preferencial de la mineralización en profundidad.

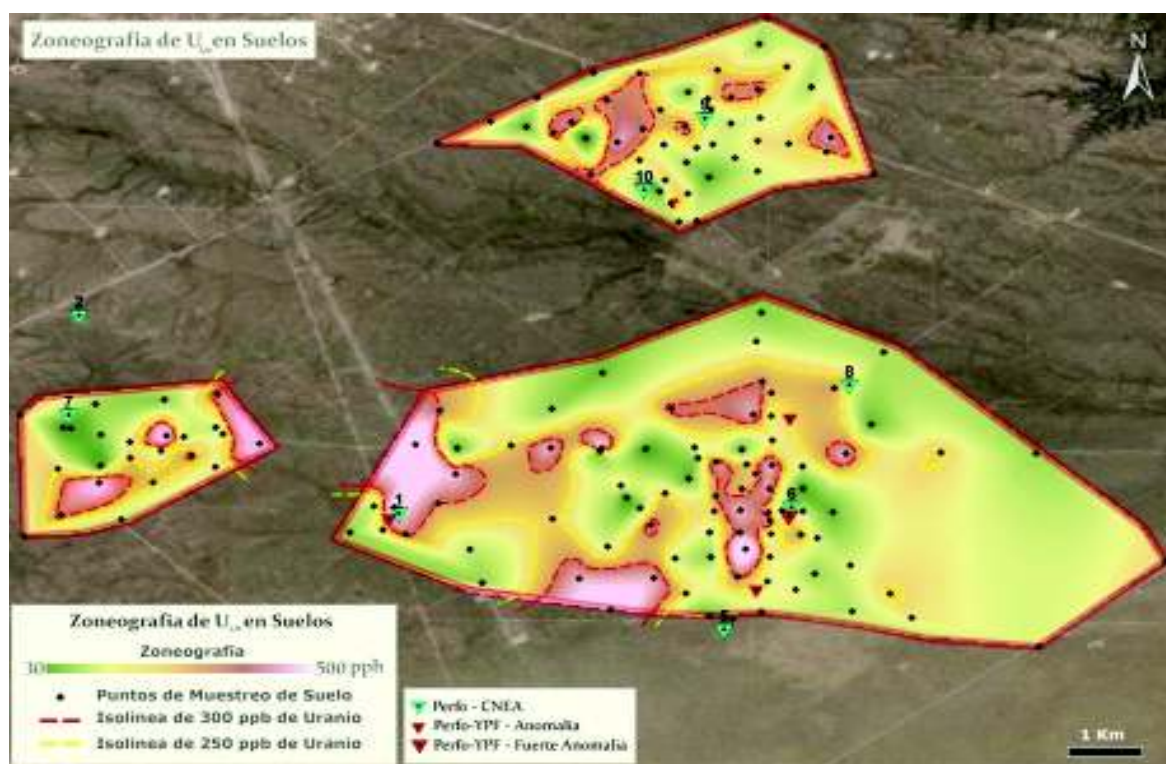


Figura 17: Zoneografía de uranio lixiviable en suelos del área Tres Nidos, proyecto Catriel

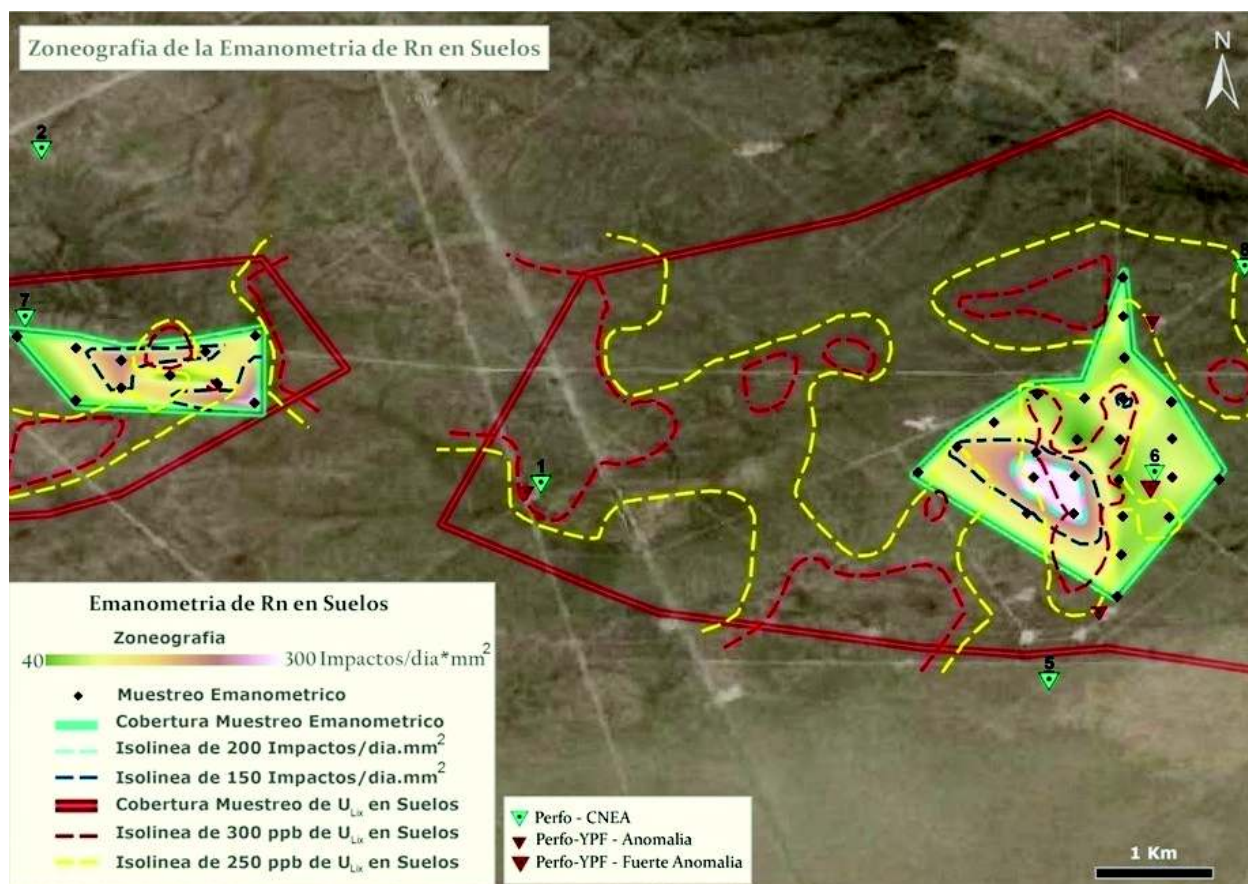


Figura 18: Zoneografía de la emanometría de Rn en suelos del área Tres Nidos, proyecto Catriel

CONSIDERACIONES FINALES

Se destaca la importancia del uso de estas técnicas de prospección en los comienzos de un programa de exploración integral por uranio debido a la calidad de información directa o indirecta que proveen, y a su bajo costo relativo en comparación con técnicas de exploración física, tales como perforaciones o laboreos, a ser aplicadas en una etapa posterior. Los datos obtenidos son integrados e interpretados en un Sistema de Información Geográfica junto con mapas e información geológica preexistentes y aquella obtenida a través de la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales.

En otro orden, puede señalarse que la existencia de cuencas favorables y diferentes modelos de mineralización de uranio configuran condiciones prometedoras para desarrollar nuevos recursos de uranio en la Argentina.

Como la exploración sistemática a nivel de cuenca no ha sido llevada a cabo en el país, se debe fortalecer la aplicación de técnicas geofísicas y geoquímicas en los proyectos de exploración uranio, de manera que se delimiten blancos de mayor potencialidad minera donde concentrar el esfuerzo de inversión.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Anzulovich, J., Muset, J., 1978. Prospección Radimétrica Terrestre. Curso Latinoamericano de Capacitación para la Prospección y Exploración de Yacimientos Uraníferos. Tomo II, CIEN/CNEA. Buenos Aires.
- Coco, A.L., Solís, R., 1978. Prospección Aérea. Curso Latinoamericano de Capacitación para la Prospección y Exploración de Yacimientos Uraníferos. Tomo II, CIEN/CNEA. Buenos Aires.
- IAEA, 2013. *Nuclear Energy Series No. NF-T-1.5. Advances in airborne and ground geophysical methods for uranium exploration.*
- Favetto, A., Pomposiello, C., 2013. Estudio magnetotelúrico en la zona del Yacimiento Don Otto, provincia de Salta. Informes especiales. Instituto de Geocronología y Geología Isotópica. Universidad de Buenos Aires.
- Franzoni, M. E., Vázquez, S., 2018. Estudio Geofísico en el Yacimiento Cerro Solo, sector La Volanta. Informe interno. CNEA.
- Franzoni, M. E., 2012. Uranio: Técnicas de Prospección Geofísica y Geoquímica. Informe de beca A1-P. CNEA
- Karkanis C., 2018. Prospección Geoquímica de Uranio en los Cateos Donato I, II, III y IV, Faldeo Oriental de la Sierra de Velasco, La Rioja. Informe Interno CNEA.

Karkanis C., 2018. Prospección Geoquímica y Emanometría del área Tres Nidos, Colonia Catriel, Río Negro. Informe Interno CNEA.

Karkanis C., Peñalva G.A., 2016. Primer informe gamma espectrométrico y de análisis con XRF portátil en dos sectores del área del cateo Valdi, Provincia de La Rioja. Informe interno CNEA.

Kearey P., Brooks M., Hill I., 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*. Blackwell Publishing, Oxford. 3rd edition.

Loke M. H., 2013. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. 2013. Geotomo Software. Malasia.

López Hidalgo A., Loke M. H., Fantón G. O., Rubí E. C. 2009. Técnicas prácticas para investigación de resistividad en dos y tres dimensiones (Tomografía Eléctrica 2D y 3D). www.geotomosoft.com/Articulo.pdf

López L., 2018. Redesign the uranium resource pathway. Case study: Argentina. UNECE Resource Management Week 2018: United Nations Expert Group on Resource Classification 9th Session. UNECE, Geneva, 25- 27 April 2018. Meeting paper: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/unfc_egrc/egrc9_apr2018/26.04/p.5a_López_NR.Argentina.pdf

López L., 2018. Uranium in Argentina: Deposits, Resources

and Nuclear Supply. 15th Quadrennial IAGOD International Association on the Genesis of Ore Deposits Symposium, Salta, Argentina, 28-31 August 2018. Proceedings A156: 323.

López L., 2018. Uranium Resources and Perspectives for Nuclear Supply in Argentina. International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM2018). Vienna, Austria, 25-29 June 2018. Book of abstracts and extended abstracts: 242-246.

Orellana E., 1972. Prospección geoelectrica en corriente continua. Paraninfo, Madrid.

Parra F., Álvarez J., Zarco J., Anzil P., Salvatore M., Bello C., Aldana V. Scarlatta L., 2013. 5º Informe de avance del indicio uranífero Alipán. Cateo Donato III (Sierra de Velasco, La Rioja). 184 pp. Informe interno CNEA.

Peñalva G.A., 2017. Procesamiento e interpretación de datos aeromagnéticos del Distrito Uranífero Guandacol y alrededores, Precordillera Norte. Informe interno CNEA.

Pous J., Marcuello A., 2003. El método magnetotelúrico: descripción y aportaciones en investigaciones de ámbito regional. Boletín Geológico y Minero, 114 (1): 5-16. España. http://www.igme.es/internet/Boletin/2003/114_1_2003/ARTICULO%201.pdf

Los campos electromagnéticos y la salud de las personas. Los riesgos de los teléfonos celulares y las antenas.

TOUZET, Rodolfo - Investigador Consulto - CNEA

El celular se ha convertido en un elemento irremplazable en nuestras vidas y debemos evaluar cómo mantener todos los beneficios disminuyendo los riesgos innecesarios en la medida de lo posible.

El uso de los teléfonos celulares ha tenido un desarrollo verdaderamente explosivo en los últimos años y el mercado sigue creciendo aceleradamente. De continuar la progresión actual, en un par de décadas, el número de celulares superaría largamente el número de habitantes del planeta. En solo 20 veinte años, la densidad de potencia de los campos electromagnéticos medidos en algunas ciudades ha aumentado 100 cien veces, lo que implica que los efectos biológicos en los seres vivos expuestos también deberían haber aumentado 100 veces. En la Argentina, la cantidad de celulares excede holgadamente los veinte millones de aparatos, y las antenas de transmisión ubicadas en las azoteas de los edificios altos ya forman parte del paisaje urbano.

La posibilidad de mantener una comunicación continua, sin tener que restringir la libertad de movimiento, es una cualidad muy apreciada por todos. No obstante, ha surgido en el público una creciente preocupación sobre los efectos adversos que podría causar la exposición a la radiación que deriva del uso de esta tecnología y el impacto en la salud que tales efectos tendrían.

El objetivo de este trabajo es describir brevemente el estado actual del conocimiento sobre el tema y cuáles son los eventuales riesgos a los que está expuesta la población, como así también mencionar cuáles son las medidas preventivas más efectivas para aprovechar los beneficios de las nuevas tecnologías y limitando en lo posible, los riesgos a los que estamos expuestos.

Electromagnetic fields and people's health. The risks of cell phones and antennas.

The cell phone has become an irreplaceable element in our life, but we must evaluate how to keep all its benefits although reducing unnecessary risks as much as possible. The use of cell phones has had a truly explosive development in recent years and the market continues to grow rapidly. If current progression continues, in a couple of decades the number of cell phones would far exceed the number of inhabitants of the whole planet. In only 20 years the power density of electromagnetic fields measured in some cities has increased by 100 times, which means that the biological effects on exposed living beings should also have increased 100 times. In Argentina, the number of cell phones far exceeds twenty million units, and cell antennas located on the roof of tall buildings are already part of the urban landscape.

The possibility of continuous communication, without having to restrict freedom of movement, is a quality highly appreciated by everyone.” However, there has been growing public concern about side effects of radiation exposure caused from the use of this technology and the health impact such effects would have on humans.

The aim of this work is to briefly describe the current state of knowledge on the subject, what are the potential risks population is exposed to, and to mention what are the most effective preventive measures to take advantage of the benefits of cell phones limiting as much as possible the risks we are exposed to.

Introducción:

Las radiaciones no ionizantes incluyen las radiaciones ópticas (ultravioleta, visible, infrarrojo y láser) y las radiaciones electromagnéticas (microondas, radares, ondas de radio y TV, radiofrecuencia y las frecuencias extremadamente bajas como los que producen las redes eléctricas y los campos estáticos eléctricos y magnéticos.

Las fuentes de información

Las fuentes de información que se toman como referencia son los resultados de los estudios epidemiológicos realizados sobre poblaciones de diferentes países, los experimentales sobre animales de laboratorio y los estudios sobre células y tejidos “in-vitro”,

realizados con el auspicio de organismos de reconocida autoridad y prestigio así como las publicaciones de revistas científicas con revisión de pares y los trabajos auspiciados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Asimismo, se considera la opinión de los expertos internacionales y en particular la de aquellos que han formado parte del panel de expertos convocados por la Asociación Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC).

Es muy importante la coherencia y la complementariedad existente entre los estudios epidemiológicos realizados en seres humanos y los estudios realizados en animales de laboratorio, así como su comparación con los estudios de laboratorio “in vitro” sobre células y tejidos para poder verificar si los mecanismos biológicos que se ponen en juego permiten explicar y entender el desarrollo de las enfermedades observadas en personas y animales.

En síntesis, no son las experiencias individuales las que permiten sacar conclusiones sino el conjunto coherente de toda la información obtenida a nivel mundial. Existen algunas fuentes de información como por ejemplo el sitio de Bioinitiative (<https://bioinitiative.org>) donde el lector puede encontrar información, separada por temas, de miles de trabajos publicados en revistas internacionales e informes compilativos donde dicha información es analizada (por ejemplo el Bioinitiative 2012). Existen además trabajos donde se aplican los conocidos 9 criterios de Sir Bradford Hills para discriminar si la información existente permite asegurar la causalidad o se trata solo de asociaciones casuales.

En nuestro país existen organismos de control y personas expertas a nivel internacional pero no se cuenta con un proyecto nacional integrado y una estructura organizativa que agrupe a los especialistas y las autoridades competentes ni se destinan recursos importantes a la investigación sobre el tema por lo que las fuentes de información que podemos utilizar son fundamentalmente extranjeras y procedentes de países donde sí se destinan recursos a la investigación.

La clasificación de posible carcinógeno humano

El efecto cancerígeno de los campos electromagnéticos en seres humanos (ver **Anexo:** Conceptos básicos de los Campos Electromagnéticos (CEM), origen de las radiaciones electromagnéticas, y magnitudes y unidades) se evaluó en una reunión de mayo del 2011 en la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) en Lyon, Francia. El Grupo de Trabajo emitió la Monografía 102 y clasificó los CEM de los teléfonos móviles y de otros dispositivos que emiten campos electromagnéticos no ionizantes similares, en el rango de frecuencias de 30 kHz a 300 GHz, como Grupo 2B, es decir, un “posible carcinógeno humano”.

Desde entonces y en particular en los últimos 5 años se han publicado numerosos estudios epidemiológicos y

sobre animales que muestran un aumento de la frecuencia de tumores cerebrales y schwannomas y que fortalecen la asociación causal entre el uso de teléfonos móviles e inalámbricos y los riesgos sobre la salud. Lo que determina la urgencia de una nueva reunión del IARC para analizar toda esta nueva información y determinar si las medidas de protección actuales son las más adecuadas o se requiere reforzarlas.

En el ínterin y hasta tanto se produzca una reunión del IARC parece razonable para proteger debidamente a la población que se aplique el “Principio de Precaución” tal como fuera requerido específicamente por el parlamento europeo (Resolución 1815) y como está establecido en nuestro país en la Ley del medio ambiente.

Es importante que los responsables públicos de la Salud y el medio ambiente posean, lo antes posible, toda la información actualizada sobre el riesgo de cáncer en la población para que puedan tomar precauciones y aplicar los criterios adecuados para la protección de los seres humanos.

De lo contrario, y considerando que los estándares internacionales del ICNIRP que se aplican en nuestro país consideran solamente los “efectos térmicos” de las radiaciones no ionizantes, existe el riesgo de *un creciente deterioro de la salud humana y un número creciente de cáncer en la población a nivel mundial*.

Es importante destacar que varios expertos del IARC que participaron de la reunión en que se determinó la categoría 2B de “posible carcinógeno humano”, incluyendo los Dres. Anthony Miller de Canadá, Ronald Melnick de EE.UU. y Lennart Hardell de Suecia, han manifestado que es urgente revisar y aumentar esta clasificación establecida hace 8 años y llevarla al nivel de probable o seguro carcinógeno humano.

El experto Dr. Anthony Miller ha manifestado además que “la exposición a los campos electromagnéticos es un riesgo omnipresente al que prácticamente toda la población está expuesta en forma continua, sean usuarios o no de celulares, e incluso si el riesgo es bajo por individuo, se distribuye ampliamente y puede convertirse en un problema muy importante para la Salud Pública y la Salud Ambiental, afectando la calidad de vida de los seres humanos, por lo que urge entonces que el IARC se reúna cuanto antes para revisar la información científica y evitar un largo período de incertidumbre regulatoria”.

El Dr. Prof. Alexander Lerch de Alemania manifiesta también esta conveniencia luego de confirmar, en la Universidad de Bremen, la validez de los trabajos de Tillmann sobre los efectos de co-carcinógenesis en ratas.

La Sociedad Americana del Cáncer expresa que, durante años, la comprensión de los posibles riesgos de la radiación de los teléfonos celulares se ha visto obstaculizada por la falta de una buena ciencia y afirma que el reciente informe del Programa Nacional de Toxicología americano (NTP) es buena ciencia por lo que espera ansiosamente la orientación de los organismos gubernamentales, como la Administración de Alimentos y

Medicamentos de EE.UU. (FDA) y la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) sobre la seguridad del uso del teléfono celular.

Sería muy extenso mencionar la totalidad de los descubrimientos, estudios y hechos ocurridos después del informe producido por expertos del IARC en el 2011, pero a modo de referencia se señalan los más significativos.

Estudios, proyectos y publicaciones recientes de mayor significado

1 – El proyecto INTERPHONE y el nuevo estudio genérico

Se debe recordar que el proyecto INTERPHONE, sobre el riesgo de tumores cerebrales, fue realizado en 13 países usando un protocolo común y se evaluaron 2.613 casos de glioma 2.343 meningiomas y 7.557 controles entre el 2000 y el 2005, siendo el mayor estudio epidemiológico realizado hasta la fecha.

Se ha hecho ahora un nuevo estudio genérico en Suecia terminado en octubre 2014, sobre el riesgo de tumores cerebrales en los usuarios de celulares, que incluye ahora los teléfonos inalámbricos, y confirma todas las conclusiones del anterior proyecto INTERPHONE con mayor firmeza. Este trabajo se realizó con usuarios que han utilizado mayor tiempo los teléfonos y/o han realizado mayor cantidad de llamadas por unidad de tiempo que en el estudio anterior (INTERPHONE). Además, se han cuidado aquellos aspectos que en el INTERPHONE fueron objetados por ser una “fuente potencial de sesgo estadístico” para evitar justamente dicho sesgo.

Son importantes las evidencias de “ipsilateralidad” que indican que los tumores se manifiestan preferentemente en el costado en que se apoya el teléfono: 80% mayor en el caso de los celulares y 70% mayor en el caso de los inalámbricos (Relación de Riesgo - OR = 1.8 y 1.7 respectivamente).

En este nuevo estudio genérico realizado en Suecia se ha observado que el uso del teléfono móvil ha aumentado el riesgo de glioma, Relación de Riesgo OR = 1,3 o sea que ha aumentado un 30%; intervalo de confianza (IC) del 95% = 1.1 a 1.6 en general, aumentando la relación de riesgo OR = 3,0 o sea 300%; IC del 95% = 1.7 a 5.2 para el grupo de latencia > 25 años.

El uso de teléfonos inalámbricos ha aumentado el riesgo con OR = 1,4; IC del 95% = 1.1 a 1.7, con un riesgo más alto en el grupo de latencia > 15-20 años, relación OR = 1,7; IC del 95% = 1.1 a 2.5. El aumento es estadísticamente significativo para cada 100 horas de uso acumulativo y por año de latencia para el uso del teléfono móvil y el inalámbrico.

El riesgo más alto se encontró para el glioma en el lóbulo temporal correspondiente al lado utilizado. Los riesgos fueron mayores en los casos de un primer uso del

teléfono móvil o inalámbrico antes de cumplir los 20 años.

En las conclusiones de este nuevo trabajo los autores recomiendan al IARC que las radiaciones electromagnéticas sean consideradas dentro del Grupo 1, como carcinogénico comprobado. Se debe destacar que los autores de este trabajo son el Dr. Lennard Hardell, experto del IARC y responsable del proyecto INTERPHONE patrocinado por la Organización Mundial de la Salud y el Dr. Michael Carlberg, renombrado estadístico.

Nota aclaratoria sobre algunos términos utilizados en el texto

OR = Odds Ratio (Relación de Posibilidades): es la relación entre el riesgo medido en las personas expuestas y el riesgo normal de las personas no expuestas. Ejemplos: si la frecuencia normal de una enfermedad para una determinada edad es del 2% y ese riesgo se aumenta al 6% entonces el OR = 3.0 y si la frecuencia normal es del 10% y se aumenta al 14% el OR = 1.4.

El “intervalo de confianza” (IC) del 95% indica cuáles son los valores que limitan el 95% de los datos obtenidos. O sea que por fuera de esos valores se encuentran sólo el 5% de los datos. El sesgo es un error en la apreciación estadística que se origina en fallas cometidas en la selección de la población estudiada o por haber comparado grupos no comparables o haber usado información incorrecta o por errores en el manejo de los datos, etc., etc., que determinan que las conclusiones a las que se llega no son estadísticamente correctas.

En un proceso de cancerogénesis, se denomina “Período de Latencia” al tiempo que transcurre entre la etapa inicial de inducción del cáncer hasta la etapa final de progresión o desarrollo de un tumor maligno; en este período de latencia no hay manifestaciones ni signos clínicos del desarrollo de la enfermedad.

2 – El Proyecto CERENAT

Este estudio, realizado por el Instituto de Salud Pública, Epidemiología y Desarrollo de la Universidad de Burdeos, Francia, determina que el uso del celular por más de 30 minutos diarios durante, al menos 5 años, genera riesgos de tumores cerebrales, estableciendo un vínculo entre usuarios intensivos de los teléfonos móviles y la presencia de ciertos tipos de tumores cerebrales, como gliomas y meningiomas.

El estudio, que confirma el mencionado en el punto anterior realizado en Suecia, se realizó analizando los datos de 447 personas con tumores (253 gliomas y 194 meningiomas), diagnosticados entre junio de 2004 y mayo de 2006 y comparándolos con 892 individuos sanos de cuatro regiones de Francia.

El riesgo de sufrir un glioma es dos o tres veces mayor en los usuarios de celulares que en los no usuarios (OD =

3.0). Se encontró una relación positiva estadísticamente más significativa en los usuarios más pesados (uso intensivo acumulado mayor a las 900 horas en toda su vida (OR = 2.89; 95% CI 1.41 a 5.93 para gliomas; y OR = 2.57; 95% CI 1.02 a 6.44 para meningiomas).

3 – El Proyecto REFLEX

El proyecto REFLEX fue un estudio de mediciones “in vitro”, realizado en 12 países y financiado con dinero público de la Unión Europea para determinar si habría mecanismos biológicos que pudieran explicar el riesgo de cáncer y leucemia por exposición a las radiaciones no ionizantes. La razón de este proyecto es que nunca puede ser considerada como probada la relación de causalidad entre la exposición a campos electromagnéticos (CEM) y la enfermedad sin tener el conocimiento y la comprensión de los mecanismos básicos posiblemente desencadenados por los CEM.

Fue realizado inicialmente solo para las bajas frecuencias (ELF) por el aumento comprobado de la leucemia infantil, pero fue luego extendido a las radiofrecuencias (RF) incluyendo las bandas usadas por los teléfonos celulares. Los resultados del estudio REFLEX revelaron y demostraron que la radiación por ondas electromagnéticas en frecuencias que iban desde los 900 MHz hasta los 3.500 MHz, producen roturas en las cadenas de ADN a niveles de radiación muy por debajo de los clasificados como niveles seguros (según la normativa actualmente vigente, propuesta por el ICNIRP y avalada por la Organización Mundial de la Salud) y por lo tanto son un potencial promotor del cáncer.

Los puntos fuertes del Proyecto REFLEX se basaron en primer lugar en la adopción de una plataforma tecnológica común para las exposiciones a los ELF-CEM (muy bajas frecuencias) y RF-CEM (radiofrecuencias) que permiten la replicación de resultados positivos entre todos los participantes de los diferentes países. En segundo lugar, en la adopción de las tecnologías post-genómicas (micro-grupos ADN y proteómica), que permiten examinar simultáneamente un gran número de posibles efectos celulares sin perjuicio de los mecanismos, aquellos involucrados en la carcinogénesis y en la patogénesis de enfermedades neurodegenerativas. Los datos obtenidos en el curso del proyecto REFLEX mostraron que los ELF-CEM tenían efectos genotóxicos sobre cultivos de células primarias de fibroblastos humanos y sobre otras líneas celulares. Estos resultados fueron obtenidos en dos laboratorios y confirmados en otros dos laboratorios fuera del proyecto REFLEX.

Los ELF-CEM generaron roturas de la cadena de ADN en un nivel significativo para una densidad de flujo magnético tan baja como 35 T. Hubo una fuerte correlación positiva entre la intensidad y la duración de la exposición a los ELF-CEM y el aumento de roturas en cadenas simples y dobles de ADN y en las frecuencias de formación de micro núcleos.

Los análisis proteómicos humanos sobre líneas de células endoteliales mostraron que la exposición a RF cambiaba la “expresión” y la “fosforilación” de muchas proteínas.

Sorprendentemente, este efecto genotóxico de las RF se observó solamente cuando las células fueron expuestas a RF-CEM intermitentes, pero no una exposición continua.

Los resultados de este estudio, que duró 5 años, y sus conclusiones, fueron dados a conocer en el año 2004 pero después de ser publicados los resultados se canceló la financiación de este estudio por las críticas que fueron recibidas, entre otros, por parte del profesor Dr. A. Lerchl, responsable del organismo alemán de protección radiológica.

La corte de Hamburgo ha desestimado, en marzo del año 2016, la “denuncia de falsificación de estudio y fraude realizada por el Profesor Alexander Lerchl, profesor de biología de la Universidad Jacobs, de Bremen, Alemania, al Proyecto REFLEX”.

El tribunal de Hamburgo dio recientemente la razón a la profesora Kratochvil (del proyecto REFLEX) en todos los cargos, y condenó al acusado, el profesor Dr. Alexander Lerchl, por difamación, injurias y la obligación de publicar dicha condena en todas las revistas y medios donde fueron difundidas estas difamaciones; por supuesto, también es obligado a retractarse de dichas difamaciones y prohibió la repetición de las acusaciones de falsificación ya que los resultados del estudio REFLEX están totalmente confirmados.

4 – El Estrés oxidativo celular

Como complemento de los resultados del proyecto REFLEX se puede mencionar que recientemente se han publicado numerosos estudios que demuestran que la radiación del teléfono móvil provoca “estrés oxidativo celular” y puede dar lugar a cambios mutagénicos en las células.

En el editorial “Radiación de microondas de baja intensidad: un nuevo oxidante para las células vivas” del Journal Oxidantes y Antioxidantes en Ciencias Médicas, en su número del 29 de marzo de 2014, el grupo de trabajo informó que de la revisión por pares de 80 estudios realizados, en el 92,5% de los trabajos (en 76 estudios), este mecanismo de daño fue debidamente probado.

Es muy importante esta información debido a que las “radiaciones no ionizantes” (RNI) no poseen la energía suficiente como para producir la rotura de un enlace químico y por lo tanto no podrían provocar la rotura de una cadena de ADN y ser clastogénicas a través de este mecanismo. El mecanismo de “estrés oxidativo celular” permite explicar esta circunstancia particular.

Hay otros trabajos en que se ha observado que los campos electromagnéticos retardan o impiden la reparación enzimática de las dobles roturas en la cadena de ADN, este otro mecanismo determinaría también una acción genotóxica indirecta similar a la producida por el estrés oxidativo celular.

5 – El Estudio Danés

Se debe mencionar que hay un tercer estudio epidemiológico sobre el uso de celulares y el riesgo de tumores cerebrales (de Schutz et al.) realizado en Dinamarca, entre los años 1987 y 1995 (*The Danish Cohort Study*) cuyas conclusiones son opuestas a los dos trabajos anteriores e indican que “no habría relación entre los tumores cerebrales y el uso de celulares”. Es más, algunos resultados muestran un efecto contrario, como si los celulares actuaran como un protector para el desarrollo de esos tumores (¡!?)

Desde el principio, el proyecto danés fue muy criticado por la eliminación de más de 200.000 “suscriptores corporativos” (los celulares pagados por las empresas a sus empleados), que era una tercera parte del número total de usuarios de teléfonos celulares daneses, la población del estudio.

Los investigadores tenían pocas opciones: no conocían los nombres de las personas que utilizaban los teléfonos pagados por sus empleadores y por lo tanto no tenían forma de comparar las listas de suscriptores de teléfonos móviles con los de registros de tumores.

Todo el mundo estaba de acuerdo en que los que se dejó afuera fueron los mayores usuarios.

En el período de tiempo cubierto por el proyecto danés -desde 1987 hasta 1995- los teléfonos celulares eran muy caros y no es ninguna exageración suponer que los que no tenían que pagar sus propias facturas acumularon mayor tiempo de conversación que aquellos que los pagaban de su bolsillo.

Esta situación era de todas formas muy comprensible pues no había otro camino...

Lo que ha resultado menos aceptable es que esos usuarios, los de mayor exposición, como revelaron abiertamente los propios autores del estudio danés, terminaron en el “grupo control”!!!.

¡En otras palabras, los usuarios más pesados!!! fueron tratados como si no utilizaran los teléfonos celulares y esto explica claramente la razón de los resultados obtenidos.

Este tremendo sesgo (¿intencional...?) explica por qué el panel del IARC puso mucho menos peso en el estudio danés que en los estudios de Interphone coordinados por Hardell.

El estudio danés tiene otra fatal fuente de sesgo, quizás potencialmente más importante. La población de usuarios incluye sólo los que tenían un teléfono celular en 1995 – que era alrededor del 20% de la población. La Sociedad Danesa del Cáncer trata a todos los que contrataron teléfonos celulares después de 1995, como si nunca lo hubieran usado. Ellos también están en el grupo de control. Eso es difícil de creer, pero cierto.

He aquí una cita directa del informe del proyecto danés: “los individuos con una suscripción en 1996 o más tarde fueron clasificados como no usuarios.”

El número de usuarios de teléfonos celulares usados en Dinamarca creció a más del doble entre 1995 y 1997,

alcanzando al 44% de la población. Todas aquellas personas que iniciaron el uso de teléfonos móviles en 1996 y 1997 podrían haber acumulado 10 o 11 años de uso de teléfonos celulares a finales de 2007, la fecha de corte para el análisis del proyecto danés. Sin embargo y pese a lo anterior, todos aquellos usuarios post-1995 se encuentran también en los controles junto con los usuarios corporativos pesados.

Hay otras fuentes de sesgo. Por ejemplo, no hay manera de saber quién utiliza un teléfono inalámbrico, que puede ofrecer tanta exposición a la radiación como un teléfono celular. Este tipo de sesgos se encontraron también en el proyecto INTERPHONE, pero aparentemente no fueron de la magnitud de los observados en el proyecto danés. El Dr. Michael Kundi de la Universidad Médica de Viena opina que el estudio danés es “el estudio más gravemente sesgado entre todos los estudios publicados hasta el momento”, y algunos otros comentarios que son aún más críticos.

Pese a sus notorias deficiencias antes señaladas, el estudio danés fue considerado por el ICNIRP como la contracara de los resultados del proyecto INTERPHONE, por lo que en su conjunto no permiten asumir una posición determinada respecto del riesgo.

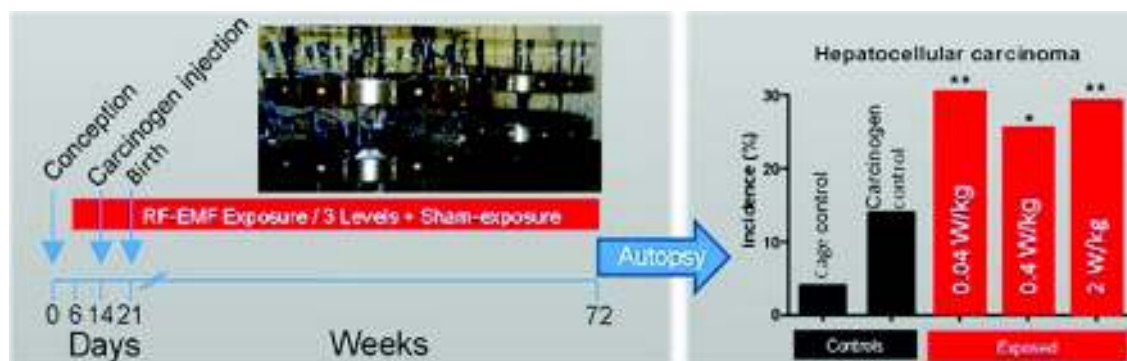
6 – El Efecto co-carcinogénico

Probablemente la noticia más inesperada y sorprendente de los últimos tiempos fue la publicación de un nuevo trabajo conducido por el profesor Dr. Alexander Lerchl de la Universidad Jacobs, en Alemania, sobre la promoción de tumores en animales (efecto co-carcinogénico) que replica y confirma en forma enfática los resultados obtenidos en trabajos experimentales anteriores, publicados en el 2010, por Thomas Tillmann et al. del Fraunhofer Institute of Toxicology and Experimental Medicine de Hannover.

Lo sorprendente de este trabajo no es el resultado obtenido sino de quien proviene. El Dr. Alexander Lerchl fue durante años el principal defensor de la hipótesis de que las RNI no eran carcinogénicas y no podían producir efectos sobre seres humanos ni en animales y con esa posición criticó los resultados del proyecto REFLEX y muchos otros trabajos. El Dr. Alexander Lerchl afirmaba que la única ciencia que muestra efectos de las RF de bajo nivel sobre la salud es la ciencia de mala calidad o la mala ciencia.

Este trabajo representa para algunos científicos una bisagra, un giro notable en el estado del conocimiento. El Profesor Aldkofer, responsable del proyecto REFLEX se expresó con una frase muy significativa: “*The unexpected always happens*” (“Lo inesperado siempre ocurre”). Ahora, aquél a quien algunos fundamentalistas habían acusado de ser pagado por la industria ha sido aclamado como un héroe.

Este nuevo estudio en animales desafía muchas afirmaciones de que las RF, ya sea de celulares, Wi-Fi o las antenas son totalmente seguros.



Resulta ser una réplica de un experimento anterior, que encontró que las señales de teléfonos celulares, aún muy débiles, pueden promover el crecimiento de tumores en los ratones. Se utilizaron niveles de radiación que no causan calentamiento y están muy por debajo de las normas de seguridad vigentes.

Para complicar aún más las cosas, se determinó que las dosis más bajas son a menudo promotores tumorales más eficaces que los niveles más altos..., cambiando el concepto tradicional de que existe una relación dosis-respuesta lineal (aparentemente se trataría de una reacción química que se produce ya a bajas exposiciones y se mantiene luego en las altas). El Dr. A. Lerchl ha demostrado claramente que los ratones expuestos en el útero con un agente de cáncer conocido, ENU, y luego expuesto a una señal de teléfono celular UMTS, han tenido tasas significativamente mayores de tumores del hígado y del pulmón.

El estudio original publicado por Tillmann (que fue ignorado hasta esa fecha) fue repetido, con un mayor número de animales y en condiciones experimentales de alta calidad, con el posible propósito de demostrar que no había sido correcto. Este nuevo estudio fue patrocinado por la Oficina Federal Alemana para la Protección contra la Radiación (BFS) y A. Lerchl encontró mayores tasas de cáncer entre los ratones expuestos a tasas de absorción específica (SAR) de 0,04 W/Kg, 0,4 W/Kg y 2 W/Kg y en algunos casos, cuanto menor es la dosis, mayor es el tamaño y el número de tumores.

"Nuestros resultados muestran que los campos electromagnéticos aumentan el crecimiento de los tumores", dice Lerchl en un comunicado de prensa emitido por la Universidad Jacobs en Bremen, donde es profesor de biología. Lerchl y sus colegas afirman ahora que: "El hecho de que ambos estudios encontraron los mismos efectos promotores de tumores en niveles inferiores a los límites de exposición aceptados para seres humanos es muy preocupante..." y puede ser suficiente para cambiar la calificación de las RF de posible (2B) a probable (2A) agente de cáncer.

7 – El Estudio INTEROCC (Co-carcinogénesis) - junio/2014

Se ha estudiado el riesgo de cáncer en relación a la exposición ocupacional a los campos electromagnéticos de muy bajas frecuencias (EMF-ELF) y el resultado obtenido indica, como en los trabajos de Tillmann y de Lerchl sobre ratas con EMF-RF, un efecto positivo en la etapa final de progresión y promoción del cáncer. Este estudio fue realizado a gran escala en 7 países, Australia, Canadá, Francia, Alemania, Israel, Nueva Zelanda y Reino Unido, entre 2000 y 2004. Se reclutaron 1.939 gliomas, 1.822 meningiomas y 5.404 controles de la población. Participaron en este estudio 17 investigadores de 7 países y fue coordinado por la Dra. E. Cardis del Centre for Research in Environmental Epidemiology (CREAL) con fondos gubernamentales del U.S. Department of Health & Human Services (HHS). La Dra., Cardis fue previamente designada por la OMS para la coordinación del proyecto INTERPHONE.

En base a la jornada laboral se hicieron estimaciones de la exposición acumulativa, la exposición media, máxima exposición y la duración de la exposición durante toda la vida, y la exposición de 1-4, 5-9, y 10 años antes de la fecha de diagnóstico tumoral. No se encontró asociación entre la exposición de EMF-ELF acumulada en toda la vida y el riesgo de glioma o meningioma. Sin embargo, si hubo asociaciones positivas entre la exposición acumulada de los últimos 4 años antes de la detección del glioma, (OR = 1,67; intervalo de confianza (IC) del 95% = 1,36 a 2,07, tendencia lineal) y algo más débiles asociaciones con meningioma (OR = 1,23; IC del 95% = 0,97 a 1,57 (tendencia lineal).

Los resultados mostraron asociaciones positivas entre la exposición ELF en el pasado reciente con el glioma y el meningioma. Por lo tanto, de acuerdo a estos resultados, se puede afirmar que la exposición prolongada a campos electromagnéticos de baja frecuencia (CEM-ELF) puede desempeñar un papel importante en las etapas finales de promoción y progresión del proceso de cancerogénesis, y en particular en el caso de los tumores cerebrales.

Es muy importante destacar que estos resultados en seres humanos son comparables con los estudios realizados en ratas a las cuales se les había inducido previamente la formación de tumores con un cancerígeno químico

(Tillmann y Lerch) y en las que la exposición a campos electromagnéticos produjo un aumento del número, tamaño y agresividad de los tumores malignos.

8 - Estudio del Program Americano de Toxicología (US-NTP) (marzo/2018)

Los resultados obtenidos y publicados son de una relevancia superlativa. El estudio pedido por la US-FDA fue realizado con ratas y ratones para evaluar los riesgos derivados de la exposición a los teléfonos celulares. Los resultados fueron revisados por un grupo de expertos seleccionados por los Institutos Nacionales de Salud y sus comentarios figuran en el apéndice de la publicación. Tuvo un costo de 50 millones de dólares y fue el estudio más grande y complejo jamás realizado por el NTP utilizando el doble de animales de los necesarios para que los resultados fueran estadísticamente significativos. Las ratas fueron expuestas a teléfonos celulares desde 10 minutos por día hasta 9 horas por día con incremento de 10 minutos desde su nacimiento hasta los 2 años de edad. Se irradiaron en tres intensidades diferentes siempre a valores inferiores a lo que dicta la normativa existente y sin provocar efectos térmicos.

Los animales del grupo testigo (no expuestos) se encontraban exactamente en las mismas condiciones que las expuestas.

Se ha comprobado nuevamente, como se observó en el proyecto REFLEX, que es más importante la modulación y los campos pulsados que la intensidad de la exposición. Se produjeron en las ratas irradiadas exactamente los mismos tipos de tumores aparecidos en humanos dentro del proyecto Interphone (gliomas y schwannomas) además de un importante incremento del número de células malignas en el corazón para todas las intensidades de exposición.

Durante décadas se supuso que los bajos niveles de radiación “no térmicos” no podían provocar daño a la salud; los resultados obtenidos en el NTP muestran claramente que esta suposición es falsa. El estudio muestra una evidencia estadísticamente significativa de daño en el DNA, tanto en ratas como en ratones, como se comprueba con el ensayo cometa, el daño es significativamente mayor en los animales más expuestos. El estudio del NTP provee “clara evidencia de actividad carcinogénica” en ratas que es la categoría mayor de evidencia considerada, tanto en schwannoma del corazón como en gliomas en el cerebro. Los mismos tumores que fueron observados también en humanos y esto es suficiente información para incluir a las RNI en la categoría 2A de probable cancerogénico o la categoría 1 de seguro carcinogénico.

9 – Los estudios del Instituto Ramazzini

Los estudios en el Instituto Ramazzini en Italia fueron semejantes a los estudios realizados para el programa NTP en USA; fue también con ratas whistar pero se hizo

en este caso a valores de exposición 10 y 1.000 veces inferiores que los usados en el NTP y son equivalentes a la exposición de un poblador a una antena en un campo lejano.

Como resultado de este estudio, a valores muy bajos de exposición, también se observaron tanto schwannomas del corazón como gliomas en el cerebro de las ratas expuestas y también un aumento de las células hiperplásicas que son las que anteceden a la formación de tumores malignos.

Resultó en un principio algo sorpresivo observar efectos cancerígenos tan importantes en ratas expuestas a valores tan bajos, pero hay un detalle importante a señalar: en el experimento del Instituto Ramazzini las ratas no fueron sacrificadas y se dejaron morir por muerte natural mientras que en el proyecto NTP todas las ratas fueron sacrificadas a los 2 años que equivale a los 65 años en la vida de un ser humano. La gran mayoría de los tumores observados en el Ramazzini ocurrieron justamente por encima de los 2 años. Esto hace suponer que si en el NTP no se hubieran sacrificado las ratas prematuramente la incidencia de tumores debería haber sido aún mucho mayor.

¡Es muy importante señalar que cuando se reúne el IARC en el 2011 no se habían realizado estudios con animales y esto fue determinante en la calificación de 2B pues para ser incluidos en las categorías superiores de 2A o 1 el IARC exige la existencia de estudios con animales...!!

En trabajos con animales actualmente a los trabajos de Tillmann y Lerch se suman los trabajos del NTP y los trabajos del Ramazzini que son totalmente coherentes entre si y además muestran los mismos efectos cancerígenos observados en estudios epidemiológicos en humanos como en el INTERPHONE en el 2010, el genérico de Hardell y Carlsberg, el CERENAT y el INTEROCC, todos en el 2014.

A esto se suma además las nuevas evidencias de efectos clastogénicos en los estudios “in vitro” que permiten entender los mecanismos de daño originados en la exposición a los CEM. Esto explica muy claramente la posición de varios expertos del IARC que coinciden en reclamar una reunión urgente del IARC para considerar la información actual y eventualmente re-categorizar los CEM.

10 – La aplicación de los criterios de Sir Bradford Hill para demostrar la Causalidad

En una revisión de Carlberg M y Hardell L “*Evaluation of Mobile Phone and Cordless Phone Use and Glioma Risk Using the Bradford Hill Viewpoints from 1965 on Association or Causation*”. -Biomed Res Int. 2017;2017:9218486-, con algunas críticas sobre los trabajos publicados a “favor y en contra” de los efectos de los CEM-RF, concluyen “...los puntos de vista de Austin Brad-

ford Hill sobre asociación o causalidad con respecto a las radiaciones por RF y el riesgo de glioma parecen cumplidos. Basados en esto, concluimos que el glioma es causado por las radiaciones de RF. Se necesita una revisión de las directrices actuales para la exposición a la radiación de RF". Asimismo, Morgan LL et al. titulan y justifican en su trabajo la reclasificación 2B a 2A, a saber: *Mobile phone radiation causes brain tumors and should be classified as a probable human carcinogen (2A)*, publicado en *Int J Oncol.* 2015 May;46(5):1865-71.

Conclusiones y recomendaciones:

Se ha hecho un resumen de 10 estudios y/o dictámenes muy recientes que muestran los riesgos para la salud derivados del uso de los teléfonos celulares y los inalámbricos.

También se ha incluido información sobre los efectos de los campos electromagnéticos (CEM) a nivel celular y sus propiedades mutagénicas que pueden determinar el inicio de un proceso de cancerogénesis y/o el aumento en el crecimiento de los tumores malignos.

Hasta tanto se vuelva a reunir el IARC o se tomen medidas para cambiar o modificar los límites establecidos para los campos electromagnéticos y el uso de los teléfonos celulares e inalámbricos, parece razonable informar a toda la población sobre la situación existente a fin de poder tomar algunas medidas sencillas para prevenir los riesgos.

El “Principio de Precaución” es un criterio universal aplicado para prevenir los riesgos cuando existen sospechas de riesgos para la salud, aunque los mismos no hayan sido aun debidamente probados.

De acuerdo a la opinión de algunos expertos del IARC los riesgos de los CEM ya han sido sobradamente probados, pero falta aún que una autoridad internacional como el IARC o la OMS lo expliciten para que pueda ser considerado por las autoridades nacionales. En el ínterin la aplicación del “Principio de Precaución” es el único camino posible para proteger a la población.

Recomendaciones del Sentido Común para Proteger Su Salud y la de Su Familia

Cuando un elemento de gran utilidad para la salud y la seguridad, que además mejora nuestra calidad de vida y la hace más cómoda, representa un riesgo para nuestra salud, parece sensato tomar medidas para optimizar todos sus beneficios disminuyendo los riesgos. La clave está en usar los celulares solamente cuando hacen falta y no pueden ser remplazados por otro medio.

El celular puede variar su potencia 100 o 1.000 veces de acuerdo a las condiciones de comunicación y es bueno saber cómo usarlo para no exponerse innecesariamente.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), organismo de reconocido prestigio, recomienda que la exposición a las radiaciones debe estar siempre debidamente justificada, asegurando que los beneficios superan a los riesgos y para ello es conveniente que la población esté muy bien informada para que pueda implementar medidas sencillas de autoprotección.

1. **No deje que su hijo utilice un teléfono celular.** Salvo que sea una urgencia, los niños no deberían utilizar un teléfono celular o un dispositivo inalámbrico. Los niños son mucho más vulnerables a la radiación emitida por los teléfonos celulares que los adultos, debido a que sus huesos craneales son más delgados y no hay aún estudios realizados sobre los riesgos en niños (la penetración y absorción de los campos electromagnéticos es mayor cuanto menor es la edad). Es conveniente que los adolescentes no lo usen para jugar o para escuchar música.
2. **Utilice su teléfono celular lo menos posible.** Apague su teléfono cuando no lo utilice. Utilice su teléfono móvil para establecer el contacto o en conversaciones de algunos minutos (los efectos biológicos están relacionados con la duración de la exposición). Es preferible devolver la llamada luego desde un teléfono fijo de red (y no de un teléfono inalámbrico que tiene el mismo efecto). Utilícelo para emergencias y asuntos importantes. Mientras su teléfono esté prendido, emite radiación de forma intermitente incluso cuando usted no está hablando. Utilice siempre un teléfono fijo en su casa o en el trabajo.
3. **Enviar mensajes de texto es de menos riesgo que hacer llamadas.** Esto le permite mantenerse a una distancia mayor a 15 cm del celular lo que disminuye mucho la exposición de los órganos de su cuerpo.
4. **Reduzca o elimine el uso de teléfonos inalámbricos.** Si usted los utiliza en su casa conviene que sea cuidadoso de los lugares donde coloca las “estaciones base” (antenas) ya que estas causan la mayor exposición, incluso cuando no se está hablando por teléfono. Si puede mantener la estación base lejos de la habitación en la que pasa la mayor parte de su tiempo y de la habitación en donde duerme, de esa forma podría reducir el daño a su salud. Lo ideal sería desconectar o apagar la estación base todas las noches, antes de dormir. Si necesita llevar su teléfono fijo al patio o a su jardín puede comprar un cable alargador de 20 o 30 metros y hablar con total tranquilidad sin exponerse a un inalámbrico.
5. **Límite el uso del teléfono celular para áreas con buena recepción.** Mientras menor sea la recepción, más energía debe transmitir el teléfono y más radiación emite y más profundas y peligrosas las ondas de radio que penetran su cuerpo (es el caso de los ascensores y sótanos). Lo ideal es utilizar el teléfono cuando tiene todas sus barras de recepción prendidas. Evite usarlo durante desplazamientos rápidos en coche o tren porque hay un aumento

máximo y automático de potencia durante cada intento de conexión con una nueva antena.

6. **Evite llevar su teléfono celular cerca de su cuerpo y no duerma con el celular debajo de la almohada o cerca de su cabeza (salvo que esté en modo avión).** Lo ideal es ponerlo lejos en un cajón. El lugar más peligroso sería, en términos de exposición a la radiación, a menos de quince centímetros de distancia. No debe exponer su cuerpo a esa área. Particularmente en el caso de las mujeres embarazadas Si usted debe llevarlo encima, asegúrese que el lado "teclado" esté dirigido hacia su cuerpo y el lado "antena" (energía máxima del campo) hacia el exterior. Si su teléfono está a 20 cm la radiación que usted recibe es 400 veces menor que cuando está colocado a 1 cm.
7. **Respete a los demás, muchas personas son altamente sensibles a los EMF.** Esas personas pueden sentir los efectos de otros teléfonos celulares en la misma habitación, incluso cuando no están siendo utilizados. Si usted está en un ómnibus o en un subte o en cualquier otro lugar público, como el consultorio del médico, apague su teléfono celular. Los niños también son más vulnerables, así que por favor evite utilizar su teléfono celular cuando haya niños cerca o una mujer embarazada.
8. **Utilice auriculares o el sistema manos libres:** los auriculares sin duda le permitirán mantener el teléfono celular lejos de su cuerpo. Algunos auriculares tienen un cable metálico y otros utilizan un tubo de aire que opera como los estetoscopios y transmiten el sonido a sus oídos. Si no dispone de auriculares utilice el modo "altavoz", o un "kit" manos libres para que el celular se encuentre siempre lejos de su cuerpo.
9. **Elija un aparato con el SAR "Tasa de Absorción Específica", lo más baja posible.** Una clasificación del SAR de teléfonos de diferentes fabricantes está disponible en varios sitios de internet como por ejemplo en: <http://www.quechoisir.org/telecom-multimedia/telephonie/decryptage-telephone-mobile-les-debits-d-absorption-specifique>.
10. **Cuando no necesita comunicarse use el celular en "modo avión".** El Modo avión es un ajuste para usar todas las aplicaciones que no requieren conexión de red, y permite escuchar música o ver videos y sacar fotos sin estar expuesto al campo electromagnético de radiofrecuencia y el riesgo que implica. En modo avión usted puede leer y contestar los "whatsapp" y los "mails" y bajar los archivos recibidos y leerlos o escuchar los mensajes de vos, y cuando usted saque el modo avión todos los "mails" y "whatsapp" que ha respondido saldrán y llegarán a destino normalmente.
11. **Todas estas medidas de precaución son particularmente importantes para una persona que ya padece de cáncer por lo probados efectos co-carcinogénicos de los CEM.** La persona con un

tumor maligno no puede usar un celular por el riesgo de agravamiento de su enfermedad.

Recomendaciones:

1. Es urgente la aplicación del "Principio de Precaución", dada la creciente exposición de la población - en particular los grupos más vulnerables como jóvenes y niños. El coste humano y económico de la inacción podría ser muy elevado si son ignoradas las alertas tempranas.
2. Es lamentable la falta de preocupación de las autoridades pertinentes en respuesta a los riesgos ambientales y sanitarios, conocidos o emergentes, y los retrasos en la adopción y aplicación de medidas preventivas eficaces, a pesar de las peticiones de aplicación del "Principio de Precaución" y de todas las recomendaciones y declaraciones internacionales. Esperar a tener pruebas científicas y clínicas sólidas antes de tomar medidas para prevenir los riesgos conocidos puede provocar unos costes sanitarios y económicos muy elevados, como fue el caso en el pasado con el amianto, la gasolina con plomo y el tabaco.
3. Reconsiderar la base científica de las normas actuales de exposición a los CEM fijadas por la Comisión Internacional para la Protección contra la Radiación No Ionizante (International Commission on Non-Ionising Radiation Protection), que presenta graves deficiencias al considerar únicamente los efectos térmicos entre los cuales obviamente no figura el cáncer, y aplicar el principio ALARA (as low as reasonably achievable), es decir, el nivel más bajo razonablemente posible, tanto a los efectos térmicos como a los efectos atérmicos o biológicos de las emisiones o radiaciones electromagnéticas.
4. Implementar campañas de información y de sensibilización sobre los riesgos de los efectos biológicos potencialmente nocivos a largo plazo sobre el medio ambiente y la salud humana, dirigidos especialmente a niños, adolescentes y jóvenes en edad reproductiva.
5. Prestar especial atención a las personas "electrosensibles" afectadas de un síndrome de intolerancia a los campos electromagnéticos y la adopción de medidas especiales para protegerlos, incluida la creación de "zonas blancas" no cubiertas por redes inalámbricas.
6. Destinar recursos y aumentar los esfuerzos en investigación sobre nuevos tipos de antenas, teléfonos móviles y dispositivos el fin de reducir costos, ahorrar energía y proteger el medio ambiente y la salud humana, así como fomentar la investigación y el desarrollo de telecomunicaciones basadas en otras tecnologías igual de eficaces, pero menos nocivos sobre el medio ambiente y la salud.

Para mayor información: touzet@cnea.gov.ar

Anexo

Conceptos básicos de los Campos Electromagnéticos (CEM), origen de las radiaciones electromagnéticas, magnitudes y unidades

El movimiento de cargas eléctricas en un circuito genera espontáneamente, en todo el espacio que lo rodea, dos campos perpendiculares entre sí: un campo eléctrico y un campo magnético, llamados campos inducidos que son proporcionales y se encuentran en fase.

Si el movimiento de las cargas es cíclico, por ejemplo, el provocado por una corriente eléctrica alterna en una antena de transmisión, se generan perturbaciones, también cíclicas, que se propagan a mayor o menor distancia, dependiendo de la magnitud de las cargas en movimiento y de la geometría del cuerpo emisor o antena. Estas perturbaciones electromagnéticas cíclicas que son transmitidas a distancia se denominan radiaciones u ondas electromagnéticas.

La velocidad de propagación de la radiación electromagnética depende de algunas características del medio en que se propaga, como su constante dieléctrica y su permeabilidad magnética.

En el vacío la velocidad de propagación (v) es igual a la velocidad de la luz (c), o sea:

$$v = c = 300\,000 \text{ Km / segundo}$$

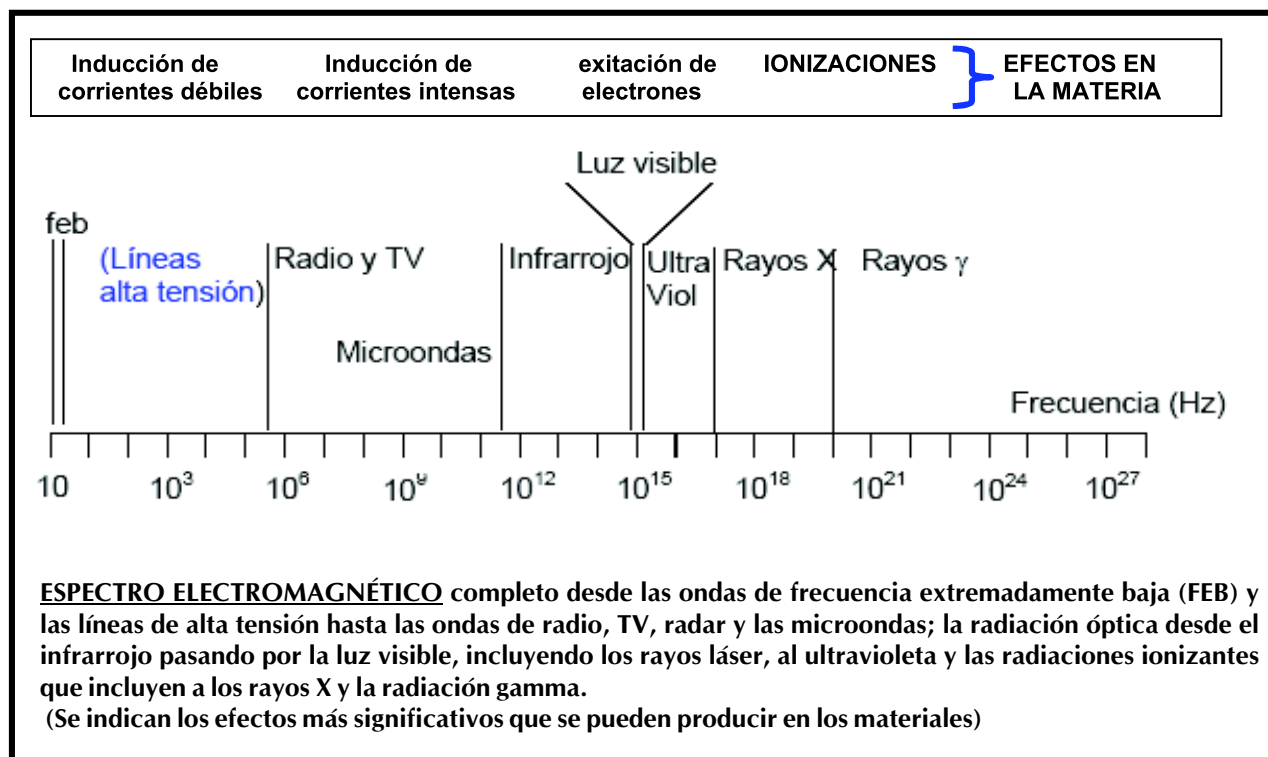
y en el aire es de aproximadamente el mismo valor.

Las radiaciones electromagnéticas se caracterizan por su frecuencia de vibración (f) o por su longitud de onda (λ) que se relacionan entre sí por la siguiente expresión:

$$f = v / \lambda$$

El espectro de las ondas electromagnéticas cubre un amplio rango de frecuencias y va desde algunos ciclos por segundo (5 Hz) hasta un millón de millones de ciclos por segundo (1 Thz), ya en la frontera con las radiaciones infrarrojas y visibles (ver figura).

Las frecuencias usadas para la telefonía celular, que es el caso que nos ocupa, se encuentran ubicadas entre los 500 y 2.000 millones de ciclos por segundo (MHz).



Propiedades de los campos electromagnéticos y su capacidad de generar trabajo y producir cambios físicos a distancia de las fuentes emisoras

Los campos electromagnéticos pueden generar fuerzas en el interior de los objetos que están dentro de su área de acción, por ejemplo, la atracción o repulsión de dos cargas eléctricas. Esas fuerzas inducidas disminuyen

cuando aumenta la distancia a la fuente electromagnética responsable del campo. Si esa fuerza inducida por el campo electromagnético recorre un dado espacio puede producir un trabajo que modifique alguna propiedad física del objeto expuesto. De esta forma se transfiere energía al objeto expuesto y si se trata de un ser viviente el cambio físico puede determinar un cambio en alguna propiedad biológica del ser afectado.

El **campo eléctrico (E)** se mide en cargas eléctricas por distancia (**V/m**) y el **campo magnético (H)** por el movimiento de las cargas eléctricas en una distancia dada (**A/m**)

La **densidad del flujo magnético B** depende del campo magnético **H** y de las propiedades del medio en que se transmite (permeabilidad magnética) y la unidad es el **tesla (T)**.

Para los materiales biológicos $1 \text{ A/m} = \mu \text{ T}$

La capacidad de un campo electromagnético de generar efectos depende de la cantidad de **energía que circula por unidad de superficie y por unidad de tiempo o la densidad de potencia (W/m^2)**. Por lo tanto, si se limita la densidad de potencia a un valor dado se puede limitar la transferencia de energía por unidad de tiempo o la tasa de dosis de radiación no ionizante. Por esta razón se pueden establecer valores límites para evitar un efecto, por ejemplo, un dado efecto biológico.

Se debe tener en cuenta que la interacción del campo electromagnético con los objetos interpuestos y la correspondiente absorción de energía depende de las características propias del campo EM: intensidad, polarización (propiedades vectoriales), tipo de onda (senoide, diente de sierra, rectangular, etc.) frecuencia o longitud de onda y temporalidad (pulsado, continuo o irregular)

Por esta razón **los límites** establecidos en densidad de potencia **se deben aplicar a un CEM determinado** como, por ejemplo: un campo sinusoidal, continuo, paralelo al cuerpo y de una frecuencia de 1 Mhz.

Se pueden definir también campos complejos resultantes de la superposición de diferentes CEM. Es el caso concreto que se puede presentar en una medición de campo en una ciudad.

Interacción de las radiaciones electromagnéticas con los seres vivos

La propagación de radiaciones electromagnéticas a través del espacio implica el transporte de la energía liberada en la estación emisora (o fuente electromagnética) a los distintos puntos del espacio recorrido, y esto determina que tienen la capacidad de producir transformaciones físicas en un objeto distante.

Cuando una onda electromagnética es interceptada por un cuerpo, una parte de la energía es transmitida o reflejada y otra parte es absorbida por el objeto interceptado, de acuerdo a su forma y a sus propiedades electromagnéticas.

La magnitud de los efectos en un tejido "blanco" es proporcional a la energía absorbida por unidad de masa del tejido irradiado, lo cual dependerá, a su vez, de la intensidad del campo de radiación, del tiempo de exposición, la energía de las radiaciones y el coeficiente másico de absorción (que depende de las propiedades físicas del objeto, su forma y dimensiones).

A la tasa de absorción de energía por unidad de masa

y por unidad de tiempo se la denomina **SAR**, de la expresión inglesa "*Specific Absorption Rate*". Y las unidades utilizadas son de potencia por unidad de masa o **W/kg**. Es el equivalente en el caso de las radiaciones ionizantes a la llamada **taza de dosis**, por ejemplo, mSv/h.

Pero algunos efectos que se pueden producir en un objeto o en un ser biológico dependen no solo del SAR sino del tiempo total de exposición al que está expuesto el objeto por lo que las unidades adecuadas son en esos casos las de energía por unidad de masa o **J/kg**. Esta magnitud se denomina simplemente **SA** o absorción específica e indica la cantidad de energía que ha sido absorbida o la magnitud el trabajo que ha sido realizado. Si se trata de un ser biológico indicará entonces la magnitud de los cambios biológicos que se han producido en el ser viviente que ha estado expuesto a ese campo electromagnético.

En síntesis, para algunos fenómenos los efectos son proporcionales a la tasa de dosis (SAR) y en otros a la dosis total recibida SA (cantidad de energía absorbida por unidad de masa). Por ejemplo, el aumento de temperatura de un cuerpo en un CEM depende del SAR y en cambio las quemaduras en la piel por exposición a radiación UV dependen del SA.

La energía absorbida por el cuerpo depende de las características propias del tejido irradiado (coeficiente másico de absorción característico) y fundamentalmente de su forma, lo que produce inhomogeneidades y determina la existencia de zonas de resonancia donde la dosis de radiación recibida es mucho mayor. Por ejemplo, si nos introducimos en el campo electromagnético de una antena de transmisión y el eje de nuestro cuerpo coincide con la dirección del campo, la energía que absorben nuestro cuello y nuestras rodillas o codos (SAR) puede ser 100 veces mayor que la que está absorbiendo nuestro abdomen.

¿Qué fenómenos pueden ocurrir en un tejido vivo expuesto a la radiación electromagnética?

La exposición a las RNI puede causar diferentes efectos físicos y biológicos, por ejemplo, una reacción fotoquímica, el cambio en la polaridad de una membrana o la inducción de una corriente eléctrica, con distintas consecuencias de acuerdo a la intensidad y al tejido afectado.

Pero la existencia de efectos biológicos no indica necesariamente un riesgo para la salud.

Los efectos biológicos pueden tener o no consecuencias adversas para la salud. Es más, en algunos casos los efectos biológicos pueden ser beneficiosos para la salud y de hecho hay prácticas médicas en las que se usa precisamente la exposición a un campo electromagnético con objetivos terapéuticos.

En otros casos los efectos biológicos pueden producir condiciones patológicas (enfermedades), algunas molestias o incomodidades que, aunque no sean patológicas, pueden afectar el bienestar físico y mental de una persona

y el efecto resultante puede ser considerado como un riesgo potencial para la salud.

Baste recordar que la luz solar y la radiación ultravioleta puede inducir la producción de vitamina D, generar sensación de bienestar, así como producir quemaduras y cáncer de piel.

Los efectos en una persona se pueden evidenciar por el resultado de estudios o análisis (Ej.: un análisis de sangre) o pueden ser observados por un médico (Ej.: una radiodermatitis o una inflamación) o por la propia persona (Ej.: un dolor, una náusea, o una percepción luminosa).

Por lo tanto es muy importante diferenciar las tres situaciones:

- a) Los **cambios físicos** producidos en la materia viva por la interacción con un CEM.
- b) Los **efectos biológicos** que implican algún cambio fisiológico medible o perceptible en una función vital que cumple una célula, órgano o tejido.
- c) Los **efectos perjudiciales para la salud** que ocasionan un daño al individuo porque superan su capacidad de regulación, reparación o compensación y pueden originar un proceso patológico (existen asimismo efectos beneficiosos para la salud).

Los fenómenos producidos por los CEM derivan de dos mecanismos básicos:

1. La producción y orientación de cargas eléctricas (cambios de potencial).
2. La inducción de corrientes eléctricas.

Algunas moléculas (por ejemplo, de agua) que forman parte de nuestros tejidos tienen sus cargas eléctricas distribuidas de tal forma que se comportan como pequeños imanes, llamados “dipolos”, que se orientan de acuerdo al sentido del campo magnético, de la misma manera que se orienta la aguja de una brújula...!

Si el campo magnético es variable, los “dipolos” se mueven al ritmo de los cambios en ese campo magnético. Ese movimiento continuo representa energía calórica y determina que aumente la temperatura. Este mecanismo, en el que *“las moléculas bailan al ritmo de la frecuencia de la radiación”*, es el mismo fenómeno que aprovechamos para calentar una tira de asado o un pocillo de café en un horno de microondas.

Por otra parte, el CEM puede producir la inducción de corrientes eléctricas dentro del cuerpo humano pudiendo modificar las corrientes la intensidad o el sentido de las transmisiones neuronales. Por esta razón se recomienda como criterio de radioprotección limitar la densidad de las corrientes inducidas a un valor no mayor a 10 mA/m^2 . Esta limitación determina a que en un nervio de una sección de 1 mm^2 no pueda inducirse una corriente mayor a 1 nA .

Además de las corrientes inducidas y del calentamiento de los tejidos, se han observado otros fenómenos “no térmicos”, tales como:

- ❑ Cambios en la permeabilidad de la membrana celular para ciertos iones (calcio y potasio).
- ❑ Variaciones en las ondas del electroencefalograma.
- ❑ Pérdida de la capacidad de citotóxica de los linfocitos.
- ❑ Cambios en la actividad enzimática intracelular.
- ❑ Cambio en la permeabilidad de la membrana hematoencefálica.

CNEA AL DÍA

NOTICIAS INSTITUCIONALES

Técnicas nucleares para garantizar la calidad de la miel y productos apícolas

Argentina es uno de los principales países exportadores de miel y sus productos apícolas son muy valorados por los exigentes mercados internacionales. Su altísima calidad, sus propiedades nutricionales y su delicioso sabor pueden ser garantizados mediante la aplicación de la tecnología nuclear, la cual brinda beneficios relacionados con la seguridad alimentaria, la sanidad de colmenas y los cuidados del ambiente en los que la abeja se desarrolla.

En el Sector Apicultura y Sistemas Agroalimentarios del Departamento Aplicaciones Agropecuarias de la CNEA se aplican distintas técnicas nucleares en apicultura y en otros sistemas agroalimentarios. Actualmente, está trabajando con la Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total, una técnica analítica nuclear multielemental que puede brindar información sobre la presencia de metales pesados y otros elementos en productos apícolas como miel, polen, abejas, propóleo y jalea real.

La aplicación de esta técnica también puede ser de gran utilidad para estudiar otros alimentos, ya que puede dar información analítica con gran precisión a partir de muestras sólidas o líquidas de mínimo volumen y con cortos tiempos de adquisición. Pueden analizarse, por ejemplo, leche y productos lácteos, carnes, aguas, y también realizar estudios referidos a la sustentabilidad y la nutrición de sistemas de producción animal.

Gracias a sus investigaciones en polen con la técnica de Fluorescencia de Rayos X, el Sector Apicultura y Sistemas Agroalimentarios de la CNEA fue distinguido en el marco de la "XVI Conferencia Latinoamericana de Análisis por Técnicas de Rayos X (SARX 2018)" con el premio a la mejor contribución en términos de tema, calidad y proyecto de investigación.

La abeja como sensor ambiental

En el Centro Atómico Ezeiza, donde el Departamento Aplicaciones Agropecuarias cuenta con sus propias colmenas, también se lleva adelante un Programa de Biomonitorio que tiene a las abejas como principales protagonistas. Estos insectos son muy sensibles a todos los cambios que puede haber en el ambiente, y esto se lo puede observar a través del estudio de productos apícolas o de las propias abejas. De esta manera, se puede obtener información sobre la presencia de contaminación. La abeja explora una extensa superficie alrededor de su colmena, estando en contacto continuo con la vegetación y el aire. En el suelo, por ejemplo, un contaminante puede migrar a través de una planta y así transferirse al néctar, las resinas o el polen, que es lo que estos insectos colectan. Esas sustancias contaminantes también pueden estar en el aire o en los cursos de agua.

La finalidad de estos controles es monitorear la salud del ambiente donde está ubicada la colmena. La abeja nos da información al respecto, porque los metales colectados junto con el néctar se transmiten a la miel a través del aparato digestivo del insecto. En pocas palabras, es un excelente sensor sobre la salud del ambiente.

Inauguran servicio de medicina nuclear en Bariloche

Con la presencia de autoridades nacionales y provinciales se puso en marcha un nuevo servicio de la Fundación INTECNUS que permite diagnosticar diversas enfermedades.

El nuevo servicio incorporó un moderno equipamiento de diagnóstico, como el PET/CT, que permitirá determinar patologías en áreas como la oncología, neurología y cardiología, entre otras, además de permitir el seguimiento de los tratamientos. El primer estudio se realizó a un paciente de la salud pública de la provincia de Río Negro. Intecnus inició sus actividades en diciembre de 2017 con la apertura del área de Radioterapia y en la actualidad ya han tratado a 300 pacientes de las provincias de Río Negro, Neuquén y Chubut. El nuevo servicio permitirá que los médicos cuenten con herramientas que realicen un diagnóstico certero y puedan continuar con su tratamiento y control en el mismo Centro.

Este proyecto fue impulsado por el Estado Nacional a través de la CNEA y, además, como instituciones fundadoras, están la Fundación Escuela Medicina Nuclear (FUESMEN) y la Fundación Centro Diagnóstico Nuclear (FCDN).

Se instala el tanque de decaimiento del sistema primario del RA-10

Se concretó exitosamente el montaje del tanque de decaimiento del sistema primario del RA-10, el reactor nuclear multipropósito que se construye en el Centro Atómico Ezeiza.

Con la instalación de este componente, la obra registra un avance global acumulado del 57% y una inversión total de 174 millones de dólares.

Características técnicas

De fabricación nacional, el tanque de decaimiento del sistema primario es un componente fundamental que forma parte del circuito primario de refrigeración del RA-10. Tiene 6 metros de diámetro y 8 metros de altura, lo que le otorga un volumen de 145 metros cúbicos. Su peso en vacío es de 34 toneladas, mientras que en operación es de 180 toneladas.

Fue diseñado de acuerdo con los exigentes requerimientos del código ASME VIII Div 1. El tanque fue provisto por la empresa INVAP, a través del contratista AESA, quien estuvo a cargo de su fabricación, la cual insumió 45.000 horas hombre de trabajo y más de 80 puntos de control, con un plazo de ejecución de 12 meses y un costo aproximado de 20 millones de pesos.

La función del tanque de decaimiento es retardar el flujo del refrigerante primario para asegurar el decaimiento de la actividad que resulta de su pasaje por el núcleo y así disminuir la tasa de dosis (en un factor 5.000) en los recintos de la planta atravesados por las cañerías del circuito de refrigeración primario. De esta manera, los mismos pueden ser accesibles con el reactor en operación, requerimiento importante para un reactor experimental y de producción como el RA-10. El tanque presenta un circuito laberíntico al pasaje de 3.500 m³/h de caudal refrigerante, de modo que el tiempo de residencia del fluido dentro del tanque es de 120 segundos en promedio. Este tiempo garantiza la disminución de la tasa de dosis provocada por el fluido a la salida del tanque.

El Proyecto RA-10 incluye el diseño, construcción, montaje y operación de un reactor nuclear multipropósito que tiene como fin la provisión de radioisótopos de uso médico e industrial, y también brindar capacidades nucleares para la investigación científica. Una vez que esté funcionando, el RA-10 asegurará el abastecimiento de radioisótopos para uso médico a nivel nacional y tendrá capacidad para exportar al mercado mundial. Esto generará un impacto estratégico para nuestro país en áreas de salud, ciencia, industria, investigación aplicada, desarrollo tecnológico y servicios.

Campaña para el monitoreo de agua del río Paraná en el predio del CAREM

En el marco del Plan de Monitoreo Ambiental del CAREM25, la CNEA realizó la primera campaña de monitoreo de agua y sedimentos del río Paraná de las Palmas, sobre el que se construye el primer prototipo de reactor modular de diseño 100% argentino. Se recolectaron las muestras desde el futuro punto de descarga del circuito terciario del reactor, a partir del cual se establecieron dos puntos más: uno aguas arriba y el otro aguas abajo.

Todas las muestras fueron tomadas por personal del laboratorio especializado Faisan S.A., respetando las formalidades de la cadena de custodia que establece el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS), a cargo de los asuntos ambientales de la provincia de Buenos Aires. Los procesos del CAREM requieren de la toma, uso y descarga del agua de río, por lo que este recurso debe ser considerado un aspecto ambiental significativo para las actividades del Proyecto y su Sistema de Gestión Ambiental. Con el fin de prevenir y controlar potenciales impactos sobre este cuerpo, se realizan monitoreos periódicos de control. Puntualmente, esta primera campaña de monitoreo de aguas y sedimento servirá para establecer la "línea de base ambiental del CAREM", es decir, para asentar cómo es la situación ambiental existente antes de la puesta en marcha de la central.

Esto es de suma importancia para determinar las condiciones ambientales en las que se encuentra el CAREM, elaborar las medidas de acción necesarias en pos del cuidado ambiental, y poder identificar y diferenciar los impactos que puede producir la central una vez que esté en funcionamiento. En los próximos meses se volverán a realizar monitoreos de agua de río y sedimentos (con una frecuencia semestral y en tres puntos de muestra), de aire (también en forma semestral y en dos puntos de muestra), de efluentes (frecuencia cuatrimestral, en la cámara de muestreo) y de agua freática (cada seis meses, en once freatrímetros y dos pozos de agua).

Todos estos muestreos forman parte del Plan de Monitoreo Ambiental del Proyecto CAREM que permiten relevar de manera constante los diferentes impactos que se producen en la multiplicidad de tareas que se desarrollan cotidianamente en el Predio CAREM, lo cual es fundamental para poder trabajar sobre ellos en pos de una gestión ambiental sustentable.

Nueva etapa en la construcción del reactor CAREM

Entre el 11 y el 13 de abril se llevó a cabo la maniobra de montaje en obra del Módulo 8 del liner de la contención, el recubrimiento interno de acero que abarca todo el recinto de la contención para garantizar su estanqueidad.

El módulo recientemente instalado tiene un diámetro de 19 metros, 8,6 metros de altura y pesa aproximadamente unas 100 toneladas. Entre otros componentes contiene al vano de equipos (EH), el robot para mantenimiento de los generadores de vapor y la parte superior del recipiente de presión, con las salidas y retornos del vapor que mueve la turbina (BOP).

La maniobra de montaje estuvo a cargo de la empresa CONUAR y consistió en dos etapas: un primer movimiento con un radio de 20 metros, cuyo objetivo fue alinear la estructura y la grúa de gran porte en una posición segura; luego, en una segunda fase, se realizó el montaje propiamente dicho del módulo a la distancia necesaria (con un radio de 52 metros).

Todo este movimiento fue posible gracias a la utilización de una grúa de gran porte (600 tn de capacidad) que fue situada junto al talud de la excavación, para lo que fue necesario construir una importante fundación de refuerzo que permitió realizar la maniobra garantizando la seguridad tanto del personal involucrado como de las instalaciones aledañas.

Este es el tercer montaje de una pieza gran porte que se realiza en forma exitosa. Para completar la maniobra, a partir del 14 comenzaron los trabajos de soldadura necesarios para vincular el M8 al resto del liner (el módulo 3) montado previamente en la contención.

El paso siguiente será comenzar a trabajar con la contratista Techint en el montaje de la armadura y posterior encofrado necesarios para continuar el hormigonado de los tabiques cilíndricos y radiales y de las losas de la contención que llegarán hasta el nivel +8,80m, luego de lo cual será posicionado el embebido para la tapa de la contención y el último de los módulos del liner de la contención: el número 10, que llegará hasta la tapa metálica que se ubicará en el nivel +14,00m.

El siguiente hito será el módulo 10 del liner, cuya fabricación ya fue iniciada, previéndose el montaje a partir de octubre de 2019.

PLADEMA se incorpora al sistema científico de la Provincia de Buenos Aires

La CNEA firmó un convenio conjuntamente con la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, con el objetivo de que el instituto PLADEMA sea incorporado como Centro Asociado a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. El Laboratorio de Plasmas Densos Magnetizados (PLADEMA) es un instituto creado por la CNEA y la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, que en la actualidad se dedica a aplicar elementos de simulación computacional y modelos matemáticos para resolver problemas reales en áreas como industria, medicina, agricultura, entretenimiento, energía, hidrología, optimización de procesos, etc.

En ese sentido, en su nuevo carácter de Centro Asociado a la CIC, el Pladema asume como objetivos promocionar las tareas de investigación; formar recursos humanos a nivel científico en esas áreas del conocimiento, alentando tanto los enfoques teóricos como los aplicados a la realidad del entorno, fomentando la graduación de los mismos a nivel de posgrado; llevar adelante la cooperación entre las Partes para difundir adecuadamente la oferta científica y tecnológica disponible, a fin de orientar y captar la demanda social regional en esas áreas; y armonizar sinérgicamente la investigación, la formación de recursos humanos, la gestión científico tecnológico, como así también la vinculación con municipios y otros centros de investigación del país o del exterior.

Mediante la firma de este convenio tripartito, el Pladema se suma a los objetivos institucionales de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires en el área de la simulación computacional y la creación de modelos matemáticos. La CIC, a su vez, se comprometió a brindar los medios necesarios para la ejecución de los proyectos del nuevo Centro Asociado. Asimismo, tanto la CIC como la CNEA se comprometieron a canalizar a través del Pladema los asuntos y cuestiones provinciales, nacionales e internacionales que guarden relación con los temas de investigación que se desarrollen en el mismo, en el contexto de su especialidad.

CNEA firma convenio para la puesta en marcha del Centro Oncológico Pergamino

La CNEA, la Fundación Centro de Diagnóstico Nuclear y el Municipio de Pergamino dieron un paso fundamental para la puesta en funcionamiento de un nuevo centro de medicina nuclear ubicado en esa localidad bonaerense.

El miércoles 6 de marzo rubricaron los convenios para la puesta en marcha y administración del Centro Oncológico Pergamino (COP). En la oportunidad, mediante la firma de un convenio de colaboración la CNEA cedió el uso del COP al Municipio local, quien, a su vez, encomendó su administración a la Fundación Centro de Diagnóstico Nuclear (FCDN), en una concesión por el período de 15 años.

Una Comisión integrada por representantes de ambas partes y de la Fundación Leandra Barros, organización promotora de la gestión para la realización de la obra, tendrá como función velar por la correcta operatividad del Centro. Con una periodicidad de al menos seis meses, la Comisión deberá evaluar la ejecución del presente convenio y realizar propuestas y recomendaciones que aseguren el cumplimiento de los objetivos planteados: la inclusión y el acceso a la mejor tecnología de diagnóstico y medicina oncológica de aquellos sectores que no integran los sistemas de seguridad social o pre pagos, cumpliendo con la premisa fundamental de respeto a los derechos fundamentales de la salud de la población más vulnerable.

Las instalaciones del Centro se ubican dentro del predio del Hospital Interzonal General de Agudos "San José" y conforman un moderno espacio de 1.800 m² cubiertos que cuenta con consultorios, espacios de espera, lugares de estadía para los pacientes y dependencias administrativas, junto con las áreas para los equipos de la más alta tecnología para la aplicación de diferentes tratamientos oncológicos mediante el uso de técnicas nucleares aplicadas a la salud. Su zona de influencia abarca el norte bonaerense, el sur de Santa Fe y el sur de Córdoba.

La construcción tuvo en cuenta las normas internacionales de seguridad para este tipo de instalaciones, entre las que resalta un blindaje de hormigón de 2,50 metros de espesor en las losas y en los muros, con una densidad específica para lograr el blindaje seguro en las áreas de Braquiterapia y de Aceleradores Lineales.

El COP contará con un acelerador lineal producido por INVAP que permitirá brindar prestaciones de gran precisión en radioterapia. Este equipo suministra rayos X de alta energía en la región del tumor minimizando la dosis de radiación en los tejidos sanos.

Por su parte, el equipo de braquiterapia permitirá la colocación de fuentes radiactivas encapsuladas (semillas) dentro de la proximidad de un tumor.

Se instalan 44 paneles solares en el Centro Atómico Constituyentes

En el Centro Atómico Constituyentes se realizó la instalación de 44 paneles solares sobre la cubierta del acceso vehicular al Centro, sistema fotovoltaico que alimentará a su red interna. La nueva instalación piloto del CAC se concretó en el marco del proyecto IRESUD (Interconexión a Red de Energía Solar Urbana Distribuida), liderado por la CNEA (Departamento Energía Solar) y la Universidad Nacional de San Martín (Escuela de Ciencia y Tecnología), junto a empresas privadas.

Los nuevos paneles solares se suman a otros ubicados en la terraza y en un alero del tercer piso del Edificio Tandar, que generan unos 14.000 kWh al año que son inyectados a la red eléctrica del edificio, permitiendo reducir el consumo de energía eléctrica convencional provista por la empresa distribuidora.

Desde el año 2011, cuando se inició el proyecto IRESUD, se instalaron 55 sistemas piloto conectados a la red eléctrica en 16 provincias del país, incluyendo uno en la Base Marambio en la Antártida Argentina. Además, se firmaron 36 acuerdos de colaboración con diferentes universidades y organismos públicos nacionales y provinciales.

Actualmente, junto con el Ente Provincial de Energía del Neuquén (EPEN), se encuentra en ejecución IRESUD RI, un proyecto para el desarrollo de una red eléctrica inteligente en la localidad de Centenario en esa provincia.

La instalación está conformada por un inversor y los paneles solares y ya fue conectada por especialistas del Departamento Energía Solar de la CNEA, en colaboración con docentes y alumnos del Centro de Formación Profesional N° 17, de la Escuela Fortabat de Pilar y del Centro de Formación Profesional N° 403 de Luján. Esta instalación fotovoltaica tiene una potencia total de aproximadamente 11 kW y podría generar anualmente el consumo normal de tres viviendas unifamiliares.

MUTUAL CNEA

FONDO COMPENSADOR DE LA ACTIVIDAD NUCLEAR



La Mutual CNEA es el exitoso fruto de la inquietud de un grupo de empleados de la CNEA que, con espíritu solidario, concibió la creación de un fondo compensador que mejorase la situación de jubilados y pensionados de la actividad nuclear.



39años

1980 - 2019

**14 DELEGACIONES EN
TODO EL PAÍS**

1812 ASOCIADOS

COMPLEMENTOS

Jubilatorios 625

Pensionarios 458

**CONSULTE CONDICIONES
DE INGRESO O REINGRESO
EN SU DELEGACIÓN**

BENEFICIOS PARA LOS ASOCIADOS

- Complementos jubilatorios o pensionarios
- Créditos hipotecarios, personales y otros
- Subsidios por casamiento, nacimiento/adopción o fallecimiento
- Descuentos en comercios y hoteles adheridos

**MUTUAL DEL PERSONAL DE
LA COMISIÓN NACIONAL
DE ENERGÍA ATÓMICA**

Administración Central

Tel/Fax: 011-4701-0355 / 5059

11 de septiembre N° 4366/68

C1429BJF – C. A. de Buenos Aires

Info@ mutualcnea.org.ar

<https://mutualcnea.org.ar>

**EMPRESAS Y FUNDACIONES DEL SECTOR NUCLEAR ARGENTINO
ASOCIADAS O VINCULADAS CON LA CNEA**

COMBUSTIBLES NUCLEARES ARGENTINOS S.A. (CONUAR)

CONUAR fue creada por Decreto N° 1719/81. Es una sociedad anónima cuyo capital accionario corresponde el 33,33% a la CNEA y el 66,67% restante a la empresa privada SUDACIA S.A., estando su planta de producción situada en el Centro Atómico Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Tiene como objetivo producir, a partir de la utilización de tecnología suministrada por la CNEA, elementos combustibles para el abastecimiento de las centrales nucleoelectricas y de los reactores de investigación argentinos. Su dirección es Prebitero Juan González y Aragón N° 15 - Centro Atómico Ezeiza – (B1802AYA) Ezeiza – Pcia. de Buenos Aires – Teléfono: (54 – 11) 6326-1300 - Fax: (54 – 11) 6326-1490 -

DIOXITEK S. A.

DIOXITEK fue creada en 1996 por Decreto N° 1286/96. Es una sociedad anónima cuyo capital accionario corresponde en un 99% a la CNEA y el 1% restante a la provincia de Mendoza. Su objetivo inicial fue garantizar el suministro del dióxido de uranio que se utiliza en la fabricación de los elementos combustibles para las centrales nucleares de potencia. En 2002 incorporó a su actividad la producción y comercialización de fuentes selladas de cobalto 60 para uso medicinal e industrial. Su planta de producción de dióxido de uranio se encuentra en la ciudad de Córdoba y la planta industrial de elaboración de fuentes selladas de cobalto 60 en el Centro Atómico de Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Su dirección es Avenida del Libertador 8.250 (B1429BNP) Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Teléfono: (54 – 11) 4704 - 1035/1236 - Fax: (54 – 11) 4704 - 1043 - www.dioxitek.com.ar

EMPRESA NEUQUINA DE SERVICIOS DE INGENIERÍA S. E. (ENSI)

ENSI fue constituida el 21 de diciembre de 1989 entre el Gobierno del Neuquén y la CNEA. Es una sociedad del estado neuquino cuyo capital accionario corresponde en un 51% a dicho estado y un 49% a la CNEA y su sede se encuentra en la localidad de Arroyito de la citada provincia. Su objetivo principal es operar plantas químicas a escala piloto e industrial y elaborar y comercializar productos químicos. Por contrato con la CNEA se hizo cargo de la operación de la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP) situada en la citada localidad de Arroyito. ENSI, además, presta servicios de ingeniería a empresas dedicadas a la producción de petróleo, gas y energía eléctrica que operan en la región. Su dirección es Ruta Nacional 237 km. 1278 Arroyito, Neuquén - Casilla de Correo 636 (8300) Neuquén Arroyito - Pcia. del Neuquén - Teléfono: (54 – 299) 440706/440411/440572 - Fax: (54 – 299) 440534 – E-mail: piap@ensi.com.ar - www.ensi.com.ar

FABRICA DE ALEACIONES ESPECIALES S.A. (FAE)

FAE fue creada por Decreto N° 1088/86. Es una sociedad anónima cuyo capital accionario corresponde un 32% a la CNEA y el 68% restante a la empresa CONUAR S.A., estando su planta de producción situada en el Centro Atómico Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Tiene por objetivo la producción, a partir de la utilización de tecnología suministrada por la CNEA, de vainas y semiterminados de zircaloy 4 para la fabricación de elementos combustibles para reactores de potencia y la producción de tubos de acero inoxidable y aceros especiales de alta calidad. Su dirección es Prebitero Juan González y Aragón N° 15 - Centro Atómico Ezeiza – (B1802AYA) Ezeiza – Pcia. de Buenos Aires – Teléfono: (54 – 11) 6326-1493 - Fax: (54 – 11) 6326-1496 - www.fae.com.ar

INVAP S. E.

INVAP fue creada por Decreto del Gobierno de Río Negro N° 661/76. Es una empresa de tecnología cuyo capital accionario corresponde en un 100% al estado rionegrino, estando vinculada a la CNEA mediante un acuerdo con la referida provincia. Su sede se encuentra en San Carlos de Bariloche. Su objetivo estatutario original es servir al desarrollo nuclear argentino, aunque más tarde ha extendido sus actividades a otros campos tecnológicos como el aerospacial. Se dedica principalmente al desarrollo y construcción de reactores de investigación e instalaciones nucleares de todo tipo, así como también de sistemas de aplicación médica y científica y al desarrollo y fabricación de satélites y radares. Su dirección es Avda. Cmte. Luis Piedrabuena 4950 - (R8403CPV) San Carlos de Bariloche – Pcia. de Río Negro – Teléfono: (54 – 2944) 4409 300 - Fax: (54 – 2944) 4409 336 - www.invap.com.ar

NUCLEOELÉCTRICA ARGENTINA S.A (NA-SA)

La NA-SA fue creada por Decreto N° 1.540/94. Es una sociedad Anónima cuyo capital accionario corresponde el 79% a la Secretaría de Energía de la Nación, el 20% a la CNEA y el 1% al Ente Binacional de Emprendimientos Energéticos S.A. Tiene a su cargo la operación y comercialización de la energía eléctrica generada por las Centrales Nucleares Atucha I- Unidades I y II y Embalse, así como por las futuras unidades de generación nucleoelectrica. Su dirección es Arribeños 3619 – (C1429BKQ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires- Teléfono: (54-11) 4701 – 7070 - Fax: +54 11 4701 8621 - E-mail: ri@na-sa.com.ar - www.na-sa.com.ar

POLO TECNOLÓGICO CONSTITUYENTES S.A. (PTC)

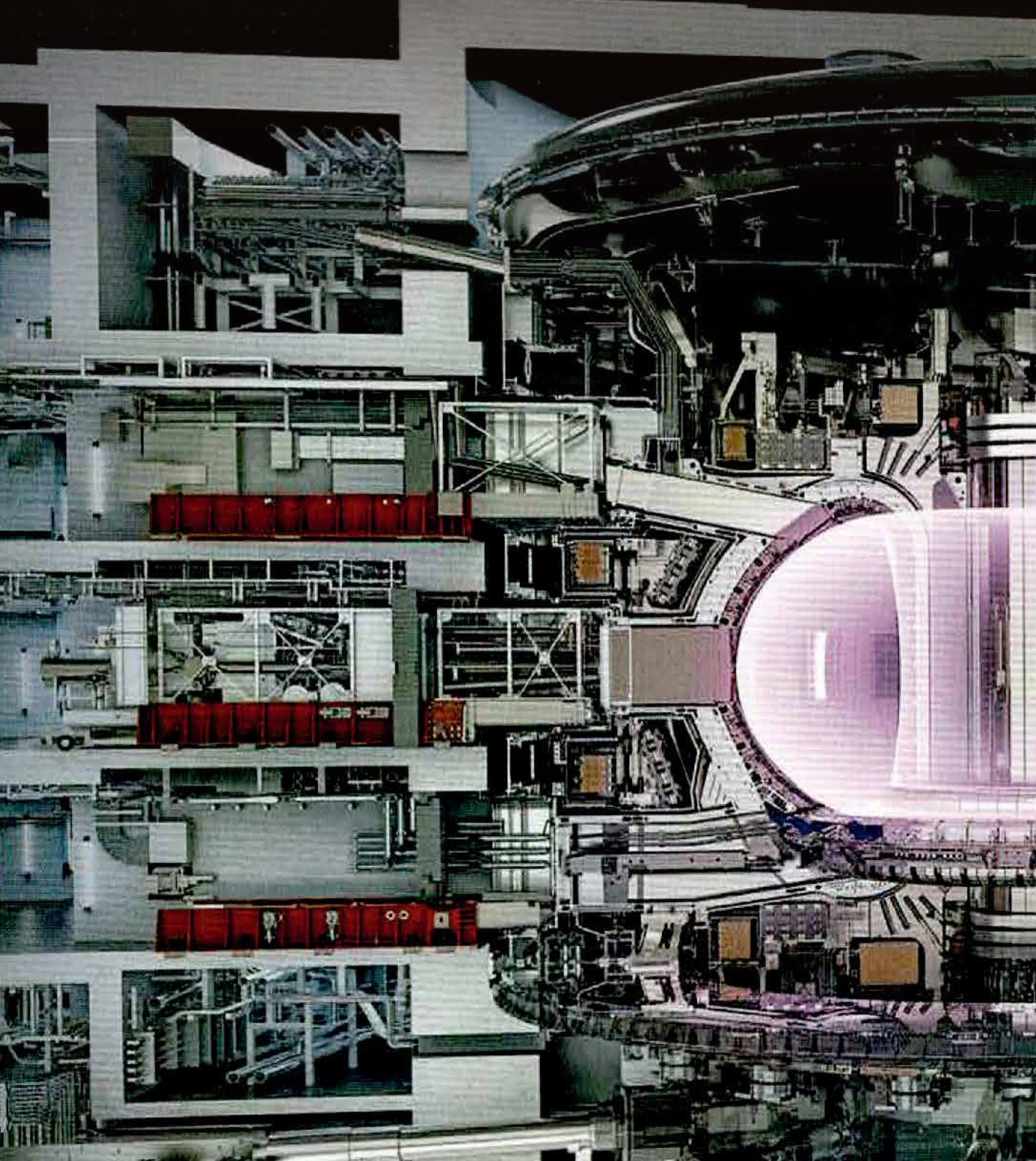
El PTC fue creado por Decreto N° 894/98 y está constituido por la asociación de instituciones de desarrollo tecnológico con capacidades distintas y complementarias. La CNEA es poseedora del 20% del capital accionario. El PTC tiene por objeto prestar servicios en las áreas de la investigación y el desarrollo tecnológico cuando ellos requieran complementar las capacidades de sus integrantes. Su dirección es Parque Tecnológico Miguelete – Edificio 1 - Avda. General Paz (entre Constituyentes y Albarellos) (1650) San Martín - Pcia. de Buenos Aires - Teléfono / fax: (54 –11) 754 – 4070 – www.cnea.edu.ar/polo

FUNDACIÓN CENTRO DE DIAGNÓSTICO NUCLEAR (FCDN)

La FCDN constituye un emprendimiento conjunto de la CNEA y la FUESMEN con el objeto de dotar al conglomerado bonaerense de un centro de última generación de diagnóstico por técnica de emisión de positrones (PET). Fue creada el 14 de diciembre de 2004 y su Centro de Diagnóstico Nuclear fue inaugurado el 23 de mayo de 2007. Su dirección es Avenida Nazca 3449 (1429) Buenos Aires – Teléfono / fax: (54 – 11) 4566-7597 - E-mail: info@fcdn.org.ar – www.fcdn.org.ar

FUNDACIÓN ESCUELA DE MEDICINA NUCLEAR (FUESMEN)

La FUESMEN fue creada por convenio suscripto el 21 de diciembre de 1990 entre la CNEA, el Gobierno de Mendoza y la Universidad Nacional de Cuyo, con el objetivo de desarrollar actividades científicas, docentes y asistenciales en un marco de excelencia técnica y humana en el campo de la medicina nuclear y el radiodiagnóstico. Su dirección es: **Garibaldi 405 (M5500CJI) Mendoza – Pcia. de Mendoza - Teléfono: (54 – 261) 4201615 - Fax: (54 – 261) 4203288 - E-mail: info@fuesmen.edu.ar www.fuesmen.edu.ar**



Comisión Nacional
de Energía Atómica