

## **MEGAPILAS 2000: UNA RED DE ESCUELAS QUE SABE QUÉ HACER CON LAS PILAS USADAS.**

### ***Resumen***

Que hacer con las pilas domésticas una vez exhaustas es sin duda uno de los problemas que enfrenta el ciudadano común de una gran ciudad como Buenos Aires. Megapilas 2000 es un proyecto realizado por alumnos de escuelas secundarias que intenta dar una respuesta integral a este problema. Para ello se analizan los hábitos de consumo de pilas de los porteños, se estudia el impacto ambiental que producen los metales contenidos en las pilas, se establecen criterios para su recolección o su disposición final y se desarrollan métodos potencialmente adecuados para el reciclado de los metales contenidos en ciertos tipos de pilas. Este trabajo resume los resultados logrados hasta la fecha.

### ***¿Qué es el proyecto Megapilas 2000?***

Megapilas 2000 es un proyecto de innovación educativa cuyo objetivo técnico es estudiar los hábitos de consumo, formas de disposición, impacto ambiental y formas de separación y reciclado de pilas domésticas en Capital y Gran Buenos Aires.

Dicho objetivo técnico es el marco que permite desarrollar una metodología de enseñanza no tradicional, basada en la construcción del conocimiento por descubrimiento. A partir de los resultados obtenidos a través del trabajo científico, los alumnos, pueden elaborar las correspondientes conclusiones, integrando diferentes áreas del conocimiento y estableciendo un contacto directo con docentes e investigadores de la Universidad.

El proyecto es llevado a cabo por alumnos y docentes de escuelas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y Gran Buenos Aires: Escuela Técnica N° 1 "Otto Krause", Escuela Técnica N° 27 "H.Yrigoyen", Instituto Lasalle Florida, Instituto Cultural Don Zenó, Escuela Italiana Cristóforo Colombo, Escuela Técnica N° 33 "Fundación del Plumerillo", Bachillerato Tecnológico en Medio Ambiente (U.N. Lanús), Escuela Técnica N° 2 "Alemania" junto con la Escuela de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Gral. San Martín (UNSAM) y la Dirección de Ordenamiento Ambiental de la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental.

El proyecto comenzó en agosto de 2000 y comprende las siguientes etapas:

#### ***Hábitos de consumo y disposición de pilas domésticas***

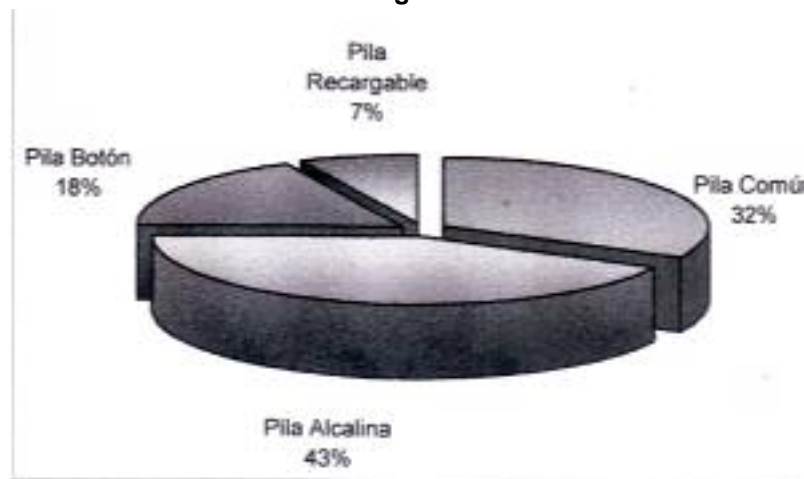
El primer paso del proyecto fue obtener información sobre los hábitos de consumo de pilas y baterías en Buenos Aires. Para ello se realizó una encuesta en 75 escuelas primarias dependientes de la Secretaría de Educación o EGB de Capital y del Gran Buenos Aires. En cada escuela los alumnos de Megapilas entregaron la encuesta que contenía preguntas sobre la composición del grupo familiar, la cantidad y tipo de pilas utilizadas y las formas de disposición de las mismas una vez terminada su vida útil. Además, explicaron temas vinculados a la caracterización de un ecosistema, los ciclos naturales, y los problemas producidos por la contaminación ambiental, sin hablar sobre los objetivos del proyecto, para evitar inducir en las respuestas de las encuestas.

La consulta abarcó a 3000 familias de alrededor del 70% de los barrios de la Ciudad y 15 partidos del Conurbano Bonaerense. Se recogieron cerca de 2000 encuestas y en esa ocasión se explicaron los objetivos del proyecto, el funcionamiento de los distintos tipos de pilas de uso doméstico y los inconvenientes que ocasiona en el ambiente su mala disposición. El análisis estadístico se realizó sobre las 1384 encuestas consideradas válidas sobre la base de la consistencia de las respuestas.

El 76% de las familias encuestadas guarda las pilas usadas aunque no hay una idea clara de que pilas deben guardarse ni para qué. El 92 % considera que las pilas contaminan mucho el ambiente pero sin precisar qué componentes de las mismas son los que contaminan y por qué. El 97% participaría de una campaña de recolección de pilas, siendo variados los lugares sugeridos para entregarlas (lugar de venta, escuelas, municipalidades, etc).

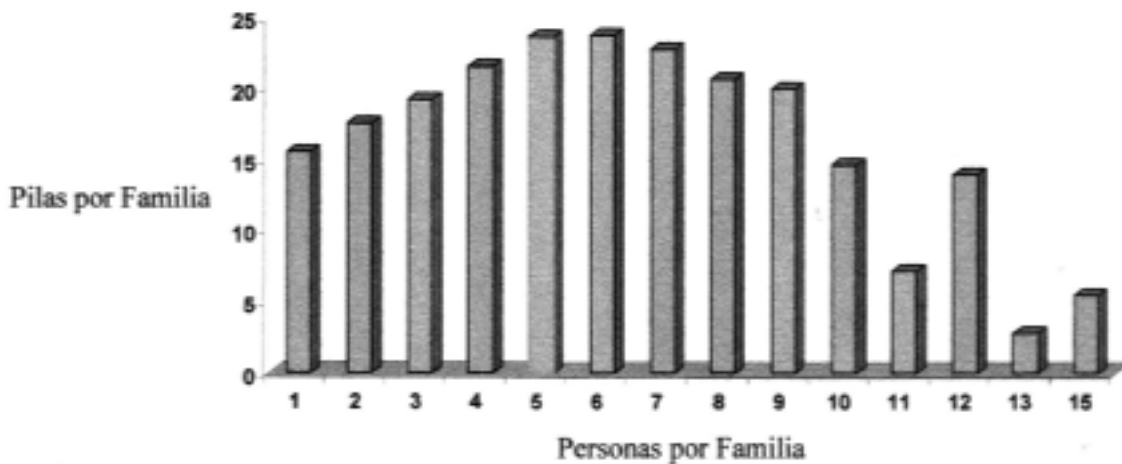
La Figura 1 muestra los resultados obtenidos sobre los tipos de pila que se utilizan en Buenos Aires, donde las pilas comunes y alcalinas son las pilas de Cinc-Carbono, mientras que las recargables incluyen mayoritariamente las pilas de Níquel-Cadmio, Litio-ion y Níquel-Hidruro. Las pilas botón abarcan una amplia variedad de clases que incluyen una de las más peligrosas para el medio ambiente, las pilas de mercurio. Sin embargo, Megapilas ha podido verificar que estas últimas no se venden más en el país a pesar que no hay una ley que prohíba su venta.

**Figura 1**



En la Figura 2 se muestra la distribución de pilas por familia en función del tamaño del grupo familiar. Es interesante notar que el número de pilas por persona aumenta notablemente cuando el grupo familiar es pequeño, siendo máximo para el caso unipersonal.

**Figura 2**



En promedio cada familia tiene en uso aproximadamente 3,18 pilas por integrante del grupo. Si consideramos el número de habitantes en Capital y Gran Buenos Aires esto significa que hay en

uso alrededor de 50 millones de pilas. Es difícil estimar el tiempo de uso de las mismas que es muy variable según se trate de pilas comunes (o alcalinas), botón o recargables, pero podemos estimar que el número de pilas desechadas por año supera los 100 millones.

### **Bioensayos de toxicidad de metales pesados**

En una segunda etapa se desarrollaron bioensayos para que los alumnos pudieran determinar por sí mismos el grado de toxicidad de algunos de los metales componentes de pilas domésticas.

Los bioensayos de toxicidad son experimentos realizados bajo condiciones estandarizadas con organismos vivos que se utilizan para evaluar la toxicidad de diferentes sustancias, entre ellas contaminantes ambientales.

En este proyecto se utilizaron embriones de anfibio, en particular renacuajos del sapo común americano (*Bufo arenarum*) para determinar la toxicidad de distintos metales pesados presentes en las pilas: Mercurio (Hg), Cadmio (Cd), Níquel (Ni) y Cromo (Cr). Se utilizó esta especie por ser nativa y ubicuista de nuestros ecosistemas de agua dulce, muy expuestos a la contaminación ambiental, y porque presentan una alta susceptibilidad a los metales pesados. Estos animales se obtuvieron por fecundación artificial y los embriones se mantuvieron en solución fisiológica hasta que alcanzaron el estadio 25 (opérculos cerrados).

Para realizar los bioensayos se seleccionó un *pool* de renacuajos considerados aptos (sin malformaciones espontáneas ni alteraciones comportamentales o con cualquier característica distintiva de las larvas normales) y del mismo se extrajeron 10 embriones al azar (por triplicado) y se colocaron en cápsulas de Petri con solución fisiológica conteniendo diferentes concentraciones de cada uno de los metales a evaluar en un rango definido por pruebas preliminares. Los bioensayos fueron agudos (menos de 96 horas de exposición). Todos los resultados obtenidos se volcaron en un programa estadístico PROBITS a fin de determinar las diferentes concentraciones letales del metal, una de ellas, la más utilizada como referencia, la concentración letal 50-48 horas (CL50 48h) que es la concentración que produce la muerte del 50% de la población en 48 horas de exposición.

La **Tabla 1** muestra los resultados obtenidos para las concentraciones letales 10, 50 y 90 entre 24 y 96 horas de exposición para Hg, Cd y Ni. Se concluye que el orden de toxicidad de estos metales es: Hg > Cd >> Ni.

Tabla 1: Concentraciones letales (en mg/L) de distintos metales para los renacuajos de *Bufo arenarum*. (los valores entre paréntesis corresponden al intervalo de confianza)

CL	Tiempo (hs)	Hg	Cd	Ni
10	24	0,037 (0,029-0,042)	0,056 (0,037-0,069)	2,29 (1,55-2,94)
	48	0,037 (0,029-0,042)	0,062 (0,052-0,069)	2,07 (1,67-2,40)
	72	0,035 (0,027-0,040)	0,052 (0,040-0,059)	1,70 (1,32-1,99)
	96	0,034 (0,026-0,039)		1,38 (1,03-1,64)
50	24	0,055 (0,049-0,062)	0,127 (0,104-0,190)	
	48	0,054 (0,049-0,061)	0,085 (0,078-0,093)	3,60 (3,15-4,27)
	72	0,052 (0,047-0,059)	0,077 (0,069-0,084)	3,12 (2,73-3,70)
	96	0,052 (0,047-0,059)		2,52 (2,22-2,91)
90	24	0,153 (0,107-0,430)	0,285 (0,190-0,818)	20,1 (12,2-57,3)
	48	0,079 (0,069-0,102)	0,117 (0,105-0,141)	6,25 (5,07-8,90)
	72	0,082 (0,007-0,110)	0,114 (0,101-0,143)	5,75 (4,64-8,36)
	96	0,082 (0,007-0,110)		4,58 (3,75-6,57)

Si bien la concentración de estos metales en aguas superficiales son inferiores a las concentraciones letales para los renacuajos de anfibio (oscilan entre 0,001-0,003 µg Hg/L, 2-10 µg Ni/L y 0,005 µg Cd/L), un incremento en la concentración de los mismos por contaminación con

metales provenientes de pilas mal descartadas podría alterar la integridad de los ecosistemas. Por esta razón los bioensayos se están realizando actualmente con los lixiviados (eluciones) tomada de lisímetros que se encuentran en estudio desde hace un año. Los lisímetros son columnas conteniendo tierra, materia orgánica y pilas trituradas, que simulan las condiciones de las pilas domésticas dispuestas en rellenos sanitarios.

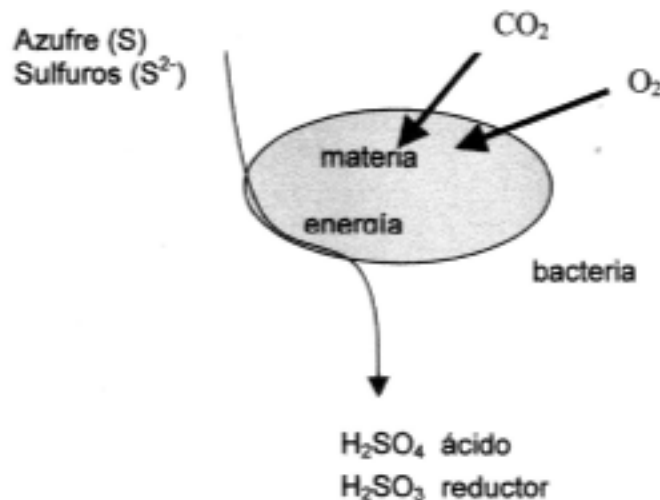
### **Reciclado de pilas con bacterias mineras**

La siguiente etapa del proyecto, aún en desarrollo, consiste en el estudio de procedimientos de reciclado de ciertos tipos de pilas domésticas. En base a los resultados de las encuestas y de los bioensayos se decidió trabajar en el desarrollo de un método adecuado para el tratamiento de las pilas recargables de Níquel-Cadmio y de las pilas primarias alcalinas (Cinc-Carbono).

Paralelamente se realizó una búsqueda de los métodos utilizados internacionalmente y en el país para el reciclado de estas pilas y de las normas legales vigentes. Se visitó la única planta de tratamiento de pilas de Níquel-Cadmio que existe en el país, localizada en San Lorenzo (Santa Fe) que utiliza el método de fundición en hornos de alta temperatura (600 °C) con destilación al vacío del cadmio. De las alternativas posibles se optó por desarrollar un tratamiento de pilas por biolixiviación con ayuda de las llamadas *bacterias mineras*.

Estas bacterias, como las *Acidithiobacillus Thiooxidans*, son autótrofas estrictas y obtienen energía para fijar dióxido de carbono atmosférico de la oxidación de azufre, generando un medio ácido-reductor (Figura 3) propicio para la disolución de metales contenidos en minerales.

**Figura 3**



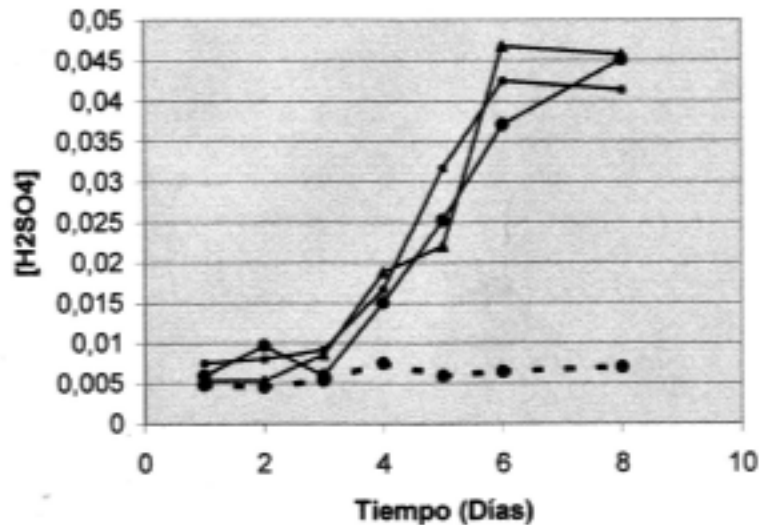
Otra de las características más notables del género, es su alta resistencia a los metales pesados y la posibilidad de adaptación a concentraciones cada vez mayores de los mismos en relativamente pocas generaciones. Esta característica, junto a la capacidad para soportar pH extremadamente bajos, hace que estas bacterias sean ideales para el proceso de recuperación de metales a partir de minerales sulfurados de baja ley, existiendo varias plantas en el mundo que recuperan cobre y oro por este método.

Como toda bacteria, esta tiene un ciclo de crecimiento, en el cual crece, los primeros días lentamente (período de adaptación) y luego exponencialmente hasta que ocupan toda la superficie de sustrato; llegando a velocidad máxima de producción de ácido y reductores (que serán utilizados en la disolución total de las baterías agotadas).

Finalmente por acumulación de productos inhibitorios (acidez extrema) crecimiento se detiene y empieza a decaer.

Mediante ensayos de laboratorio los alumnos determinaron las condiciones más favorables para el crecimiento de las bacterias. Para ello midieron el pH del medio y calcularon la concentración de  $H_2SO_4$ . Si el pH disminuye, la cantidad de  $H_2SO_4$  y la cantidad de bacterias aumenta (**Figura 4**). Esto fue corroborado contando la cantidad de bacterias mediante la observación directa bajo microscopio.

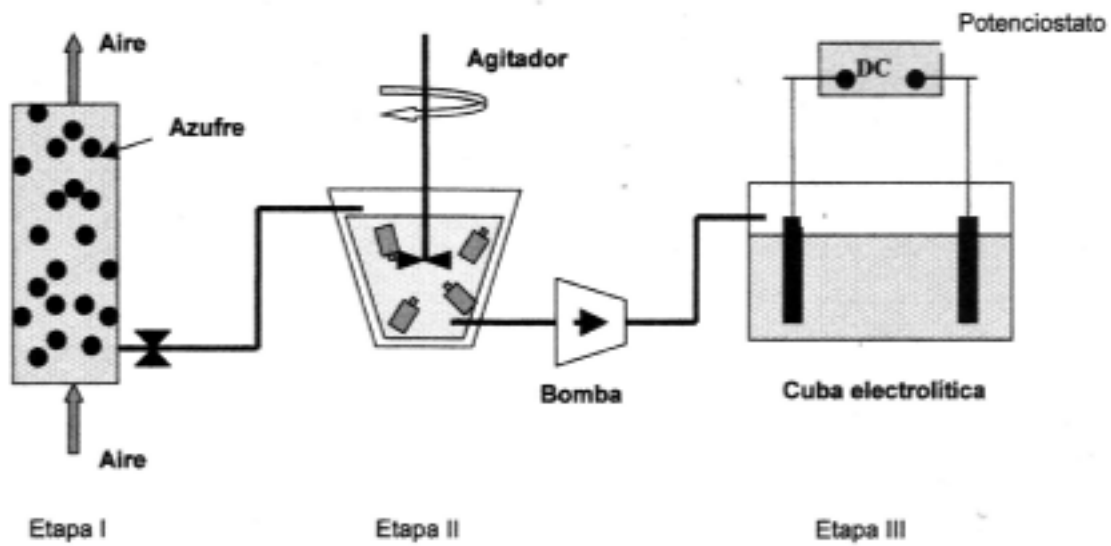
**Figura 4**



Analizando la producción de ácido y la población bacteriana en suspensión en función del tiempo se corroboraron las condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos: temperatura  $30^{\circ}C$ , 1 gramo de azufre cada 100 ml de medio de cultivo y agitación y oxigenación constante por burbujeo de aire.

En el proyecto Megapilas estas bacterias se hacen crecer en un bioreactor de aproximadamente 50 litros de capacidad (**Figura 5**) que genera el medio ácido para disolver a los metales presentes en las pilas en un segundo reactor de biolixiviación. Así pueden disolverse, por ejemplo, el Níquel y el Cadmio presentes en baterías recargables. Estos metales pueden luego separarse en su solución acuosa por un proceso de electrólisis. De esta manera puede evitarse que un metal muy tóxico como el Cadmio pueda contaminar el ambiente.

Figura 5



El proceso bajo estudio actualmente a escala de planta piloto se completa con la recuperación de los metales remanentes en solución mediante absorción en plantas (fitoremediación)

#### **Concientización de la comunidad**

Uno de los objetivos finales del proyecto Megapilas 2000 es informar a la comunidad sobre la correcta disposición final de los distintos tipos de pilas utilizados. Esto se ha realizado en el año 2002 a través de participación en programas televisivos, con la edición de una revista, el mantenimiento de la página web del proyecto ([www.qhh-online.org](http://www.qhh-online.org)) y la realización de una reunión en diciembre de 2002 donde participaron distintos organismos y empresas vinculadas a la temática (al tema) vinculada al uso de pilas las pilas. Los trabajos presentados en esa oportunidad pueden consultarse en nuestra página web.

Las sugerencias que los alumnos que participan del proyecto realizaron en esa oportunidad pueden resumirse en los siguientes puntos:

- **Evitar la recolección indiscriminada de pilas:** no todas las pilas tienen el mismo impacto sobre el ambiente por lo tanto cada comunidad debe decidir en función de sus posibilidades que pilas recolectar, como hacerlo y que hacer con ellas.

- **No arrojar a la basura pilas de Níquel-Cadmio:** estas baterías recargables representan una importante fuente de contaminación. Las baterías de celulares son recolectadas por las empresas telefónicas. Megapilas sugiere recolectar las restantes en vista a su disposición final en un relleno sanitario de seguridad o reciclado de sus componentes mediante procedimientos ambientalmente benignos existentes en el país.

- **No arrojar a la basura pilas botón:** estas pilas son de diversos tipos (Zinc-aire, Litio-ion, óxido de plata, óxido de mercurio). Las pilas de mercurio, ya casi en desuso, y las de plata son las únicas que tiene sentido recolectar. Detectarlas no es fácil y exige un procedimiento especial de recolección. En caso de poder separarlas hay que disponerlas en lugares especiales que cada comunidad debería determinar.

- **Adoptar criterios para la disposición final de pilas comunes y alcalinas:** estas pilas constituyen la gran mayoría de las pilas que se consumen en Buenos Aires. Las autoridades regulatorias de la Ciudad de Buenos Aires y la provincia de Buenos Aires deberían fijar un valor

máximo de Mercurio, Cadmio y Plomo permitidos en estas pilas. Sobre la base de estos límites debería informarse a la población acerca de las marcas que cumplen con esta regulación.

Aquellas pilas que satisfacen este criterio y, sólo mientras no exista otra alternativa válida de reciclado, deberían arrojarse con la basura común, mientras que las restantes deberían disponerse en rellenos sanitarios de seguridad a través de programas de recolección selectiva.

• **Minimizar el consumo de pilas:** en caso de ser posible utilizar artefactos eléctricos que puedan conectarse directamente a la red. Cuando esto no sea posible utilizar pilas recargables que no sean de Níquel-Cadmio o pilas comunes o alcalinas que no contengan mercurio.

La **Tabla 2** muestra los contenidos máximos de metales pesados tóxicos en pilas alcalinas admisibles según la legislación vigente en algunos países.

**Tabla 2: Contenidos máximos en pilas alcalinas y comunes (en ppm = µg/g) (si superan estos valores debe indicarse)**

País	Hg	Cd	Pb
Unión Europea	5	20	2.000
EEUU	Sin agregado intencional		
Corea	1		
India	50		
Brasil	100	150	2.000

Para ilustrar el inconveniente de no tener una legislación equivalente en nuestro país veamos el siguiente caso real. Al analizar una pila alcalina de origen asiático que se vende ilegalmente en Buenos Aires, Megapilas encontró que la misma contiene 33 ppm de Mercurio y 108 ppm de Cadmio. Por consiguiente esta pila no se podría vender en EEUU, en Europa habría que indicar que tiene contiene Hg y Cd y no podría arrojarse a la basura, y en Brasil se podría vender y arrojar a la basura!. Si bien sabemos que esta pila tiene un alto contenido de Mercurio y Cadmio, en Argentina esta pila podría tirarse con la basura común pues no existe ninguna regulación que lo impida

A través de nuestra página [www.qhh-online.org](http://www.qhh-online.org), cualquier persona interesada en el tema puede consultar sus dudas, seguir informándose sobre la marcha del proyecto Megapilas y enviarnos sus sugerencias o comentarios. También pueden hacerlo enviando un e-mail a cualquiera de las siguientes direcciones: [gcuruche@unsam.edu.ar](mailto:gcuruche@unsam.edu.ar), [hrcorti@cnea.gov.ar](mailto:hrcorti@cnea.gov.ar).

Han participado de este proyecto más de 400 alumnos de las escuelas antes mencionadas con la supervisión de los siguientes docentes: Jorge Baldoni, Juan P.Bauer, Isabel Corrao, Alberto D'Andrea, Osvaldo Fondo, Héctor Heim, Alicia Hochman, Gabriela. Jares Furno, Norberto Karmél, Maximiliano Lantz, Pablo Moro, María C. Palacios, Susana Palomino, Silvia Petriella, Angela Radulovich, Adriana Raimondo, Damián Rey, Jorge Solari, Adrian Teijeiro y los investigadores de UNSAM: Roberto Bevilacqua, Horacio Corti, Gustavo Curutchet, Pia Di Nanno, Teresa Fonovich y Cristina Perez de Coll.

Agradecemos a la Fundación YPF por el apoyo económico brindado al proyecto.

#### **Sobre el autor:**

**Horacio Corti** es Licenciado en Química egresado de la facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, doctorado en Química en la misma Universidad. Se desempeña en la Comisión Nacional de Energía Atómica y es Coordinador del Proyecto MEGAPILAS 2000. Puede ser contactado en [hrcorti@cnea.gov.ar](mailto:hrcorti@cnea.gov.ar)