

NOTA DE TAPA

LOS AGENTES FÍSICO-QUÍMICOS REPRESENTAN UNA PELIGROSA AMENAZA
PARA LA SALUD HUMANA Y PARA LA INTEGRIDAD DEL ECOSISTEMA

Ecotoxicología

su importancia para
la protección del medio ambiente,
la salud humana
y la comprensión del proceso evolutivo



Jorge Herkovits

Es Médico y Doctor en Medicina, Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Buenos Aires y Ministerio de Educación y Ciencia, España, miembro de la Carrera del Investigador Científico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina. Es autor de unas 170 contribuciones científicas en ecotoxicología, biología del desarrollo, teratogénesis, evolución. Ha descubierto diversos fenómenos e iniciado el área del conocimiento científico que integra la toxicología y química ambiental con el proceso evolutivo (Paleoecotoxicología y Eoecotoxicología). Se desempeña como Director del Instituto de Ciencias Ambientales y Salud, Buenos Aires y del Grupo de Investigaciones en Seguridad Química (CONICET). Es Presidente de la Fundación PROSAMA

(Argentina). Como docente es Profesor Titular de Ecología y Salud Ambiental y de Bioseguridad, Facultad de Medicina, Universidad de Morón (Argentina), Profesor en la Universidad de North Texas y de cursos de capacitación en el Instituto de Ciencias Ambientales y Salud. Ha participado como experto de Naciones Unidas interviniendo en la preparación de los tratados para los Contaminantes Orgánicos Persistentes, el Consentimiento Previo para la Importación de Sustancias Químicas. Participó de libros del PNUMA.

Ha sido el fundador y director durante 10 años del primer instituto de investigaciones de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Participa en numerosas sociedades científicas, y fue Presidente de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC, América Latina), miembro del Consejo Mundial de SETAC y Presidente de numerosas reuniones científicas. Ha pertenecido y continúa, como miembro del Comité Editor de numerosas revistas científicas internacionales incluyendo la tarea de **Editor Asociado de Environmental Health Perspectives** y **Environmental Toxicology and Chemistry**; actualmente es **Editor Asociado para América Latina de Environmental Toxicology** y **SETAC GLOBE** y **de los libros SETAC** producidos desde América Latina. Uno de sus ideales es lograr una mayor inserción del conocimiento científico en la sociedad.

Escriben

JORGE HERKOVITS^{1,2}
CRISTINA S. PÉREZ-COLL^{1,2,3}

¹ INSTITUTO DE CIENCIAS AMBIENTALES Y SALUD (ICAS)
FUNDACIÓN PROSAMA

² Carrera del Investigador Científico del Consejo
Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICET)

³ Escuela de Ciencia y Tecnología de
la Universidad Nacional de San Martín.

E- mail: *herkovit@mail.retina.ar*

NO HEREDAMOS LA TIERRA DE NUESTROS ANCESTROS...
LA TOMAMOS EN PRÉSTAMO DE NUESTROS HIJOS

"...Lo que ocurra con la tierra, recaerá sobre los hijos de la tierra. Hay una unión en todo... Esto es lo que sabemos: la tierra no pertenece al hombre, es el hombre el que pertenece a la tierra. Todas las cosas están relacionadas como la sangre que une una familia. Hay una unión en todo... El hombre no tejió el tejido de la vida, él es simplemente uno de sus hilos. Todo lo que hiciere al tejido, lo hará a sí mismo... Dónde están los árboles? Desaparecieron. Dónde está el águila? Desapareció. Es el final de la vida y el inicio de la sobrevivencia".

Fragmentos de la carta del Cacique Indio de la región nor-oeste del actual Estados Unidos (Seattle) al Presidente de Estados Unidos en 1855

El objetivo del cuidado ambiental es la preservación de la salud humana y de los ecosistemas que nos proveen de servicios esenciales para la vida pues tienen un valor económico superior a todo lo que el hombre haya podido producir. El incremento de la población humana juntamente con el consumo de bienes y servicios *per cápita* han implicado una creciente presión sobre los recursos naturales cuya magnitud motivó que en 1972 las Naciones Unidas pusieran en marcha un **Programa para el Medio Ambiente** (PNUMA), si bien este programa ha permitido alcanzar importantes logros (acuerdos internacionales para residuos peligrosos, compuestos orgánicos persistentes, preservación de la biodiversidad, protección de la capa de ozono, etc.), todavía nos encontramos muy lejos de consolidar la posibilidad de un desarrollo sustentable. Entre los documentos orientados a que se pueda alcanzar este objetivo se encuentra la **AGENDA XXI** promulgada hace ya más de una década pero aún en muchos países no difundida para el público en general. **Los agentes físico-químicos representan una de las mayores amenazas tanto para la salud humana como la integridad del ecosistema, motivo por el cual se realizan desde hace varias décadas numerosos y diversos estudios para caracterizar los efectos adversos y la magnitud del riesgo que resultan para las distintas situaciones de exposición.** En nuestro Instituto desarrollamos distintas líneas de investigación orientadas a alcanzar una mejor comprensión de los efectos que tienen los agentes físico-químicos sobre el ecosistema y la salud humana. En este artículo esbozamos algunas de las implicancias que se derivan de esos temas de investigación.

SERVICIOS DEL ECOSISTEMA

Qué son los servicios del ecosistema?

Nuestro planeta está habitado por unos 100 millones de especies con múltiples interacciones entre sí y con su medio ambiente conformando los diferentes tipos de ecosistemas. Los servicios del ecosistema implican la participación de los seres vivos en la formación de alimentos, purificación y reciclado de materiales, protección, generación de recursos naturales, etc., todos bienes útiles para la conservación de la vida y absolutamente necesarios para el hombre. **Si bien los ecosistemas disponen de mecanismos para amortiguar los desequilibrios provocados por las actividades antrópicas, una vez saturados, el subsiguiente deterioro de estos capitales naturales conlleva a una disminución de sus beneficios y eventualmente su pérdida total.**

Algunos ejemplos de los servicios de los ecosistemas

- Captura de la energía solar y su utilización en la producción de bienes de consumo, v.g. alimentos, materiales de construcción, biomasa como fuente de energía, materia prima para productos medicinales, etc.
- Almacenamiento, purificación y distribución del agua (por ejemplo, bosques tropicales, humedales).
- Generación y mantenimiento de los suelos (producción de humus, fijación de nitrógeno, fijación de los suelos).
- Mantenimiento de la calidad del aire necesaria para respirar (v.g. producción de oxígeno y fijación de CO₂).
- Mantenimiento de la fertilidad de los suelos por la actividad de hongos, lombrices y bacterias que utilizan indirectamente la energía solar, el carbono y el nitrógeno atmosférico.



Proyecto Biosfera II, Arizona, USA

- Control de condiciones microclimáticas e incidencia en las condiciones macroclimáticas (por ejemplo, los bosques, o los lagos).
- La polinización y dispersión de semillas (realizada por insectos, aves, mamíferos).
- Control natural de plagas (por ejemplo, pájaros insectívoros, anfibios)
- Descomposición de la materia orgánica (degradación fisicoquímica y biodegradación).
- La diversidad genética que permite aplicar técnicas de fito- y zootecnia, ingeniería genética, etc.
- Satisfacción estética

Valoración de los servicios del ecosistema

Si bien intuitivamente comprendemos que los denominados servicios del ecosistema son esenciales para la vida, sólo en los últimos años estamos tomando conciencia de su magnitud económica y de la imposibilidad del hombre de reemplazarlos no obstante la tecnología disponible. El proyecto Biosfera II en Arizona, así como las estaciones espaciales demuestran que proveer en ambientes artificiales de las condiciones mínimas para la supervivencia humana es altamente complejo y económicamente muy costoso. Por ejemplo, suministrar condiciones ambientales que permitan la vida a los astronautas en el espacio, tiene un costo de 9.000.000 de dólares por persona y por año. Tan solo la polinización como un servicio del ecosistema tiene un valor económico calculado entre 8 y 10 mil millones de dólares por año únicamente para EEUU.



El hombre en la luna

La OMS ha advertido en un estudio reciente que el deterioro de los servicios del Ecosistema puede ocasionar efectos negativos en la salud humana incluyendo enfermedades infecciosas. El caso del virus Nipah en Indonesia ilustra claramente este concepto: la tala de las selvas que constituían el hábitat del murciélago portador del virus, hizo que éste migre hacia zonas rurales, donde el virus traspasó a los cerdos y de ellos a los humanos. Entre los temas de más alta prioridad se encuentra la disponibilidad de agua potable: de los más de 6 billones de personas que habitan el planeta, 1 billón carece de acceso a fuentes de agua potable seguras, y 2.6 billones de sistemas apropiados de saneamiento resultando en episodios de contaminación bacteriana del agua potable y que resultan en la muerte de 3.2 millones de personas por año. En síntesis, la integridad de los ecosistemas genera condiciones básicas para la vida que incluyen: alimentos, agua potable, aire puro, refugio, degradación y reciclado de desechos y un clima relativamente estable.

LOS PROBLEMAS GENERALES, TALES COMO LA DEGRADACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS, EL DETERIORO DE LAS CUENCAS HÍDRICAS, LA LLUVIA ÁCIDA, LAS INUNDACIONES, PUEDEN REPRESENTAR LA CONSECUENCIA DE PEQUEÑAS DECISIONES APARENTEMENTE TOMADAS EN FORMA CORRECTA, SI SE CONSIDERAN EN FORMA AISLADAS Y EN FUNCIÓN DE OBJETIVOS ECONÓMICOS INMEDIATOS, PERO DESDE UNA PERSPECTIVA MÁS GENERAL Y SUMADAS, SON CAUSA DE GRAVÍSIMAS CONSECUENCIAS QUE ACARREAN PÉRDIDAS MULTIMILLONARIAS EN RECURSOS Y CALIDAD DE VIDA.

EVALUACIÓN DE EFECTOS ADVERSOS POR AGENTES FÍSICO-QUÍMICOS ANFITOX. EL TEST DESARROLLADO EN EL ICAS

Frente al desafío de evaluar los potenciales efectos adversos sobre la biota incluyendo la salud humana, de los numerosos agentes físico-químicos y sus combinaciones, incluso tal como se presentan en los medios naturales, se ha perfeccionado el uso de baterías de bioensayos que en forma rápida y económica permiten obtener información relevante para la toma de decisiones orientadas a la protección de los ecosistemas incluyendo a los seres humanos. En este contexto existe consenso entre los expertos de los bioensayos de toxicidad que ofrecen mayor información y representatividad de efectos globales en el ecosistema son los realizados con organismos en estadios tempranos de su desarrollo, debido a la alta susceptibilidad que presentan los mismos frente a las noxas. Los embriones de anfibios son muy sensibles a la contaminación ambiental, y se ha propuesto que ésta es una de las posibles causas de la disminución en la abundancia de estas especies (Simms, 1969, Baringa, 1990).

En el laboratorio de ecotoxicología de nuestro instituto hemos desarrollado una

batería de test de toxicidad estandarizados con embriones de anfibio denominado ANFITOX (Herkovits y Pérez-Coll, 1999) Si bien las condiciones especificadas son de laboratorio, estos test también se podrán realizar en el medio ambiente (condiciones ambientales reales) manteniendo los organismos de experimentación en compartimientos que permitan su contacto con el medio a ser evaluado sin exponerlos a daños o riesgo por agentes biológicos o físicos (v.g., predadores, contusiones). El ANFITOX incluye 4 tests estandarizados que permiten evaluar la toxicidad desde aguda a crónica, seleccionando el estudio a realizar en función con los objetivos específicos de cada caso. Mediante estos test se puede obtener información sobre mortalidad, malformaciones, atraso en el desarrollo, en el crecimiento, o anomalías en el comportamiento, lo que permite un amplio reconocimiento del potencial tóxico de una sustancia o muestra dada. Si bien también existe la posibilidad de realizar evaluaciones de toxicidad con embriones de anfibio durante exposiciones cortas (de 1 a 12 horas) con resultados muy alentadores, estos tests no se incluyen en el ANFITOX ya que este tipo de resultados aún no tiene aceptación por parte de los referentes internacionales para evaluar toxicidad en organismos superiores.

La versatilidad del ANFITOX permite evaluar la toxicidad de sustancias químicas, solas o en formulados, productos comerciales o mezclas de composición conocida o desconocida tal como se presenta en las muestras ambientales (efluentes, aguas superficiales, subterráneas, lixiviados, etc.) como así también agentes físicos.

Además, con los ajustes adecuados pueden ser utilizados para evaluar los efectos de la temperatura, oxígeno disuelto, pH, etc. sobre la toxicidad de distintas muestras como efluentes, percolados, aceites, material particulado, sedimentos, aguas superficiales y subterráneas, entre otros.

Los ensayos experimentales diseñados para satisfacer objetivos específicos (por ejemplo en investigación científica) pueden ser más convenientes que la realización de un procedimiento estándar para mostrar los efectos adversos de sustancias potencialmente tóxicas, pero los resultados que ofrecen tienen el inconveniente de que no son fácilmente comparables con datos obtenidos en distintos laboratorios y requieren una for-

mación más especializada para su diseño y evaluación. Sin embargo, los resultados obtenidos a partir de diseños originales brindan información útil para el desarrollo de nuevos conceptos y procedimientos orientados a la realización de tests de toxicidad. Así por ejemplo, un criterio aún no incorporado en los estudios estandarizados implicaría informar Perfiles de Toxicidad, concepto desarrollado en nuestro laboratorio y que básicamente implica construir curvas de isotoxicidad, vale decir informar las concentraciones/dosis que generan un mismo efecto final al cabo de diferentes tiempos de exposición. (por ejemplo, Herkovits y col., 1997). En el ICAS se ha caracterizado la toxicidad de metales, muestras ambientales incluyendo cuencas hídricas, efluentes industriales, lixiviados, toxinas naturales, productos farmacéuticos, plaguicidas y agentes físicos como la irradiación UV-B y el fenómeno fotodinámico.

En el apartado siguiente nos focalizaremos en los estudios sobre cuencas hídricas ya que reflejan la situación en el Gran Buenos Aires donde viven unos 12 millones de habitantes.

ESTUDIOS ECOTOXICOLÓGICOS DE CUENCAS HÍDRICAS EN EL GRAN BUENOS AIRES

La mayoría de los países en desarrollo enfrenta el enorme desafío que significa mejorar los estándares de vida para la población y simultáneamente tener que resolver serios problemas ambientales y de salud. Por ejemplo, debido a que los ríos y arroyos han sido utilizados como medios para limpiar y transportar los desechos a lugares distantes de los puntos de descarga, la mayoría de los ríos próximos a las áreas urbanas tienen una pesada contaminación con desechos domiciliarios e industriales. De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud (OPS), menos del 10% de los municipios de Latinoamérica trata los desechos en forma adecuada antes de descargarlos en los cursos de agua naturales, y las plantas de tratamiento de aguas residuales y efluentes industriales

frecuentemente están fuera de servicio o directamente no existen. Además, la prevención de la contaminación, el reciclado y los programas de seguridad química son escasos o inexistentes. Como resultado de estas prácticas en América del Sur "*per capita*" se contamina el agua dulce aproximadamente 11 veces más que en Europa. Las aguas residuales no tratadas y descargadas en el río en muchos casos son fuente de provisión de agua para consumo humano río abajo.

Tradicionalmente la calidad de los efluentes líquidos que se descargan en los arroyos y ríos como asimismo las mismas aguas del cuerpo receptor han sido controladas sobre la base de algunos parámetros físicos y químicos con valores de referencia y listas de contaminantes considerados prioritarios por su uso y toxicidad. Sin embargo se ha reconocido que este criterio es insuficiente para proteger los ecosistemas acuáticos contra las descargas peligrosas. Las autoridades de control ambiental en los países desarrollados tienen un interés creciente en utilizar test de toxicidad para evaluar la calidad de efluentes y el agua de los ríos. Por ejemplo la OECD (Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo) recomendó hace ya unos veinte años adoptar los test de toxicidad como criterio para la toma de decisiones con respecto a las regulaciones sobre el agua.

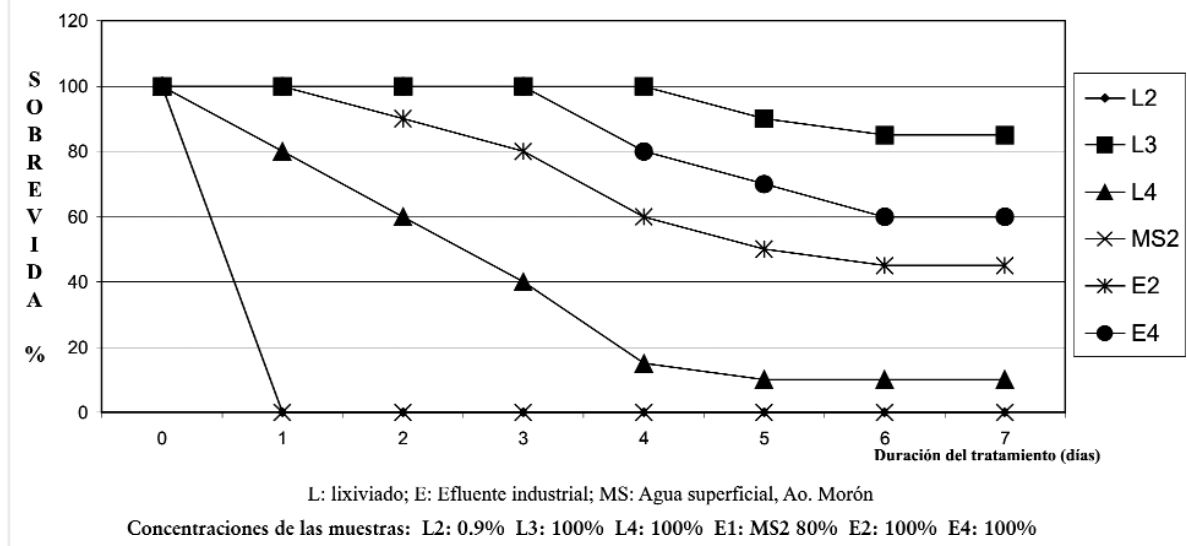
Hemos realizado estudios ecotoxicológicos en las dos cuencas principales del Gran Buenos Aires, las de los ríos Reconquista y Matanza-Riachuelo y también en otros arroyos que desembocan directamente en el Río de la Plata tal como es el caso del Arroyo Las Conchitas. Solamente las 2 primeras cuencas mencionadas cuentan con más de 20.000 establecimientos industriales localizadas en el área y afectan a unos 6.000.000 de habitantes.

EL GRAN BUENOS AIRES
PERFIL DE UN ECOSISTEMA URBANO
GRAVEMENTE DETERIORADO

Las cuencas del Río Reconquista y Matanza Riachuelo se encuentran entre los cuerpos de agua "supercríticos" debido al grave deterioro en la calidad de sus aguas. En su ámbito viven aproximadamente 6.000.000 de habitantes y existen unas 20.000 industrias. En el presente estudio se informa la calidad del agua en 16 estaciones de muestreo de estos ríos, incluyendo estaciones de referencia en las cabeceras, en base a test de toxicidad empleando "estadios de vida temprana" con embriones de anfibio que resultaron los más sensibles a la toxicidad de las muestras. Los resultados fueron expresados en unidades de toxicidad aguda y crónica. Casi en la totalidad de sus cursos, la toxicidad del agua de estos ríos resultó superior que el nivel máximo de toxicidad admisible para efluentes industriales según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de Norteamérica (US EPA). En el Arroyo Morón, un tributario del Río Reconquista, el agua fue aproximadamente 10 veces más tóxica que el criterio de máxima concentración (CMC) recomendado por la US EPA para efluentes industriales. En todos los puntos de muestreo donde la calidad del agua fue peor que el CMC, no se observaron macroorganismos, y en una de estas estaciones, se registró una cantidad importante de peces muertos. Nuestro estudio muestra que los test de toxicidad con estadios de vida temprana de anfibios, podrían ser apropiados para evaluar la contaminación y la calidad del agua, información esencial para objetivos de diagnóstico, protección de los servicios del ecosistema, monitoreo y para evaluar progresos en tareas de saneamiento.

Para la realización de los estudios ecotoxicológicos hemos tomado especialmente en consideración que existe una buena correlación entre los test que utilizan embriones-larvas para medir toxicidad de cursos de agua y la estimación de efectos crónicos sobre la biota acuática. Los anfibios se consideran buenos indicadores de contaminación de agua dulce. Hemos realizado la mayor parte de los estudios con embriones de *Bufo arenarum*, el sapo americano, debido a su alta sensibilidad a los contaminantes ambientales y por ser nativos de nuestra región resultando de mucha utilidad para evaluar la calidad del agua necesaria para la vida. Estos estudios que se iniciaron en 1994 fueron publicados en revistas especializadas (Herkovits y col., 1996; Herkovits y col., 2002; Herkovits y Pérez-Coll, 2003) informándose que la calidad del agua en extensas áreas era significativamente más tóxica que el valor máximo admisible para efluentes industriales de acuerdo con el criterio de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (en Figura 1 se observan las curvas de toxicidad de distintas muestras ambientales).

Figura 1. Ejemplos de valores de toxicidad obtenidos a partir de muestras de agua superficial, lixiviados, y efluentes industriales mediante el test ANFITOX.



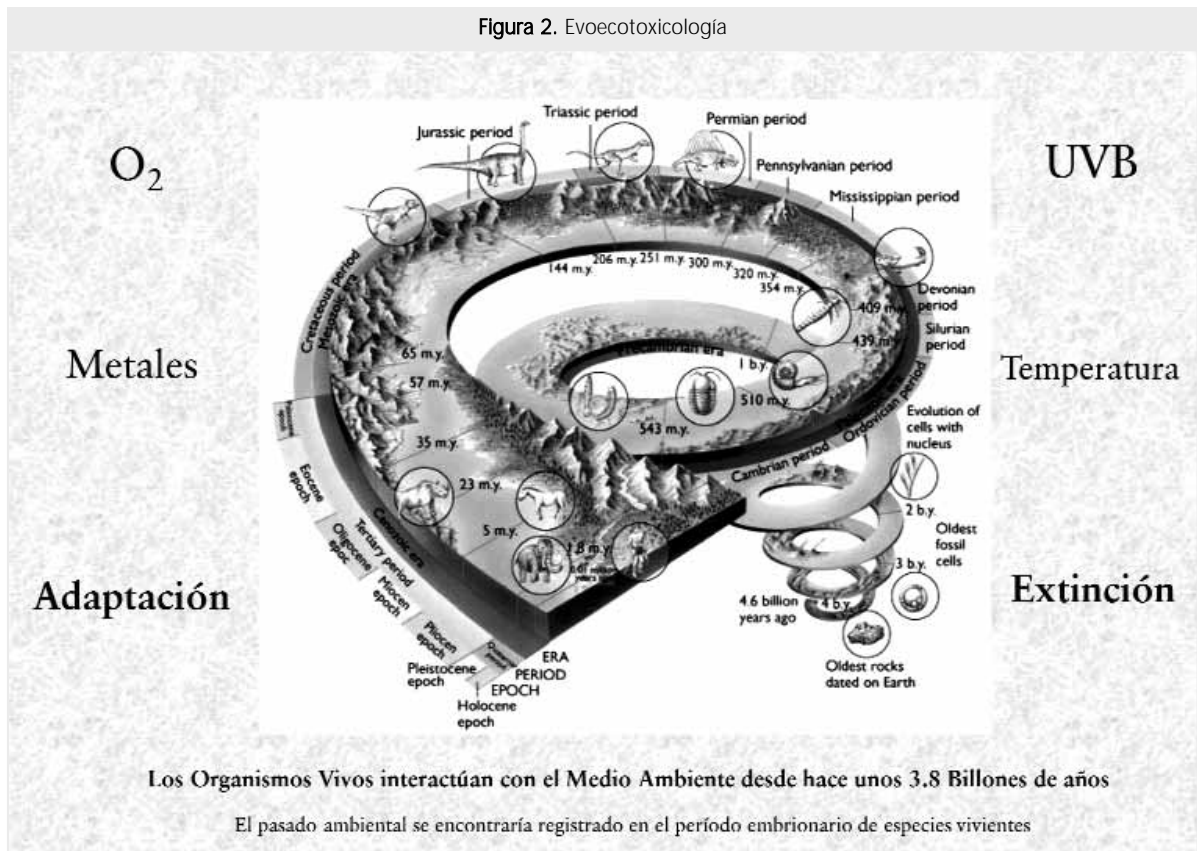
Las cuencas hídricas tienen un rol clave en las interacciones ecológicas y en la regulación y el mantenimiento de la biodiversidad. Estas interacciones incluyen la atmósfera y las aguas subterráneas. Las prácticas actuales que utilizan los ríos para transportar la contaminación lejos de los puntos de descarga deberían ser reconsideradas en forma urgente en todo el mundo a fin de proteger la calidad del agua, los ecosistemas y la salud humana. Nuestros resultados avalan la utilización de test de toxicidad con embriones de anfibio en pos de estos objetivos ya que por su alta sensibilidad pueden indicar la calidad de agua necesaria para la protección del ecosistema.

EVOECOTOXICOLOGÍA: EXTENDIENDO LA COMPRENSIÓN DEL PAPEL DE LOS AGENTES FÍSICO QUÍMICOS AL PROCESO EVOLUTIVO DE LA VIDA

Si bien es un concepto ampliamente aceptado que las condiciones ambientales han sido de importancia fundamental en relación con el proceso evolutivo de las especies, quizás por la acuciante situación del actual deterioro ambiental, los conocimientos desarrollados desde la toxicología y química ambiental se han focalizado en el grave problema generado durante las últimas décadas por el severo impacto de las actividades antrópicas sobre los ecosistemas y la salud humana. Sin embargo los agentes físico-químicos interactúan con los seres vivos desde hace casi 4.000 millones de años y por ende focalizar el tema desde una perspectiva evolutiva puede brindar una información sumamente valiosa tanto para una mejor comprensión de la respuesta de los organismos frente al estrés ambiental como el proceso evolutivo en su conjunto (Figura 2). Una primera contribución en esta dirección ha sido explorar si el estrés físico-químico puede vincularse con un escenario de catástrofe ambiental como sería un evento de extinción masiva de los

seres vivos (Herkovits 2001a). El registro fósil permite identificar al menos 5 extinciones masivas importantes durante los últimos 500 millones de años. La más estudiada y mejor conocida por el público es la que aconteció hace 65 millones de años produciendo la extinción de más del 70% de las especies existentes en la época, incluyendo a los dinosaurios que eran las especies dominantes "de aquellos tiempos". De las 100 teorías que tratan de explicar el episodio, la más aceptada es la que asocia el evento con el impacto de un meteorito de unos 10 km de diámetro en la península de Yucatán (Alvarez y col. 1980). La interpretación de estos autores para expli-

Figura 2. Evoecotoxicología



car la extinción masiva fue que el volumen de material proveniente de la corteza terrestre y del propio asteroide que fueron eyectados hasta la estratósfera tuvo una magnitud tan importante como para oscurecer la tierra haciendo que las plantas mueran por falta de luz solar, los herbívoros por falta de plantas y los carnívoros por falta de herbívoros. Sin embargo, esta reconstrucción además de no poder explicar la extinción ya que plantas, herbívoros y carnívoros han continuado con vida durante el proceso evolutivo subsiguiente, tampoco permite explicar la selectividad en el proceso de extinción ya que los que lograron sobrevivir dieron origen a toda la biodiversidad actualmente existente. Para la explicación de la extinción masiva y especialmente la selectividad dentro de esta catástrofe fue suficiente incor-

porar al evento del impacto del asteroide (que está muy bien documentado) conocimientos de toxicología y química ambiental ampliamente aceptados. Desde esta perspectiva el material eyectado hasta la estratósfera corresponde a sustancias químicas pulverizadas y de esta forma transformadas en biodisponibles para los seres vivos, transportadas por aire y agua a todos los ecosistemas ocasionando la muerte por envenenamiento de todas las especies que resultaron más susceptibles, en las que los fenómenos de bioacumulación y biomagnificación de los tóxicos alcanzaron valores más altos para funciones críticas de su supervivencia y/o su capacidad reproductiva, en las especies con menor distribución geográfica, acceso a refugios, menor diversidad en su alimentación (Herkovits 2001a,b). Esta visión del evento permite una comprensión científica no sólo de la extinción masiva sino de la selectividad que se operó durante el proceso explicando sobre bases científicas un enigma que ha perdurado durante más de un siglo sin resolver. La aplicación de los conocimientos de la toxicología y química ambiental al registro fósil se lo ha definido con el término de Paleoeecotoxicología (Herkovits 2001b) y el escenario de bomba química descrito y sus consecuencias permite vis-

lumbrar que de persistir el hombre contaminando los ecosistemas podemos llegar a generar una extinción masiva por tóxicos que obviamente tendrá consecuencias catastróficas sobre millones de especies incluyendo al hombre que es actualmente la especie dominante y la más dependiente de los servicios del ecosistema.

Una segunda contribución que enlaza la toxicología y química ambiental con el proceso evolutivo surgió al asociar características metabólicas y de susceptibilidad frente a noxas de un organismo multicelular durante su proceso ontogenético (desarrollo embrionario) con marcas ambientales muy bien documentadas y que acontecieron en períodos específicos durante el proceso evolutivo. Para visualizar la importancia de este nuevo campo del conocimiento denominado Evoecotoxicología (Herkovits 2006), cabe mencionar que para la mayor parte del proceso evolutivo, la comprensión científica de las situaciones ambientales como asimismo de las características generales de los seres vivos, especialmente desde un punto de vista ecotoxicológico, es extremadamente limitada. En efecto, la inmensa mayoría de los fósiles encontrados datan de los últimos 500 millones de años pero hay indicios confiables que la vida se habría iniciado hace unos 3.8 billones de años. Para asociar la toxicología y química ambiental con el proceso evolutivo, consideramos al oxígeno como una condición ambiental de referencia ya que está muy bien documentado que el oxígeno libre se encuentra presente en el agua y la atmósfera desde hace unos 2 mil millones de años como consecuencia de haberse alcanzado la capacidad de fotosíntesis que genera oxígeno libre como desecho). Resulta comprensible que antes de que exista oxígeno libre no pudieron existir organismos aerobios, vale decir que durante la primera mitad del tiempo evolutivo de la vida en el planeta todos los organismos eran anaerobios. Notablemente, los embriones, de organismos invertebrados y hasta el hombre, en las etapas iniciales de su desarrollo tienen un metabolismo anaerobio, cambiando en una fase temprana de su ontogénesis a metabolismo aerobio. En el caso de los anfibios (vertebrados) este cambio se inicia en la etapa de gastrulación período en el cual se consolida el embrión como un organismo tridérmico vale decir que ya presenta un plan de organización básico propio de la especie tal como la conocemos en la etapa adulta. Desde en enfoque evoecotoxicológico la complejidad alcanzada por el embrión de anfibio durante su etapa anaerobia refleja la complejidad del organismo

ancestral de los anfibios hasta el período cuando apareció el oxígeno libre en el planeta (hace unos 2 mil millones de años).

El corolario de este análisis comparativo permite concluir que existieron organismos multicelulares al menos 1.2 mil millones de años antes de la evidencia fósil disponible actualmente. La transición notable hacia un metabolismo aerobio que se verifica en los embriones de anfibio al llegar a la etapa de gastrulación, reflejan la existencia de este tipo de organismos hace unos 2 mil millones de años y que su aparición requirió un metabolismo energéticamente muchísimo más elevado (el 90% de nuestro requerimiento energético es proporcionado por el metabolismo aeróbico). Por otra parte cambios significativos en la resistencia de los embriones a los agentes físico-químicos en diferentes etapas de su desarrollo, potencialmente reflejan la magnitud y tipo de estrés ambiental imperante en distintos períodos de la historia evolutiva. Desde la evoecotoxicología es posible re escribir el proceso evolutivo en base a la hipótesis (demostrada por el estudio de casos) que los seres vivos durante su proceso ontogenético conservan memoria de condiciones ambientales imperantes durante su evolución filogenética. En resumen, la evoecotoxicología es un abordaje multi y transdisciplinario que permite no solo expandir nuestra comprensión del proceso evolutivo, sino comprender las notables diferencias en la susceptibilidad a noxas que presentan distintas especies en base a las situaciones ambientales y las respuestas que los organismos lograron articular a las mismas durante el proceso filogenético. ♦

REFERENCIAS

- Alvarez WA, Alvarez W, Asaro F, Michel HV. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science* 208:1095-1107 (1980).
- Baringa M. 1990 "Where have all the froggies gone?" *Science* 247:1033-1034.
- Herkovits J., Pérez-Coll C.S., Herkovits F.D. 1996 Ecotoxicity in Reconquista River (Province of Buenos Aires, Argentine): A preliminary study. *Environm. Health Persp.* 104(2):186-189.
- Herkovits J., Herkovits F.D., Pérez-Coll C.S. 1997 Identification of aluminium toxicity and Al Zn interaction in amphibian *Bufo arenarum* embryos. *Environm. Sci.* 5(1):57-64.
- Herkovits J., Pérez-Coll, C.S. 1999 Bioensayos para test de toxicidad con embriones de anfibio "ANFITOX". basado en *Bufo arenarum*. Test Agudo (ANFIAGU), Crónico corto (ANFICOR), Crónico (ANFICRO) y de Estadios Tempranos del Desarrollo (ANFIEMB). *Ingeniería Sanitaria y Ambiental* 42:24-30 y 43:50-55.
- Herkovits J., Pérez-Coll C.S., Herkovits F.D. 2002 Ecotoxicological studies of environmental samples from Buenos Aires area using a standardized amphibian embryo toxicity test (AMPHITOX). *Environm. Poll.* 116(1): 177-183.
- Herkovits J., Pérez-Coll, C.S. 2003 AMPHITOX: A customized set of toxicity tests employing amphibian embryos. "Symposium on multiple stressor effects in relation to declining amphibian populations", In "Multiple Stressor Effects in Relation to Declining Amphibian Populations ASTM International STP 1443, Linder, G.L., Krest, S, Sparling, D. and Little, E.E., Eds., printed in USA, pp 46-60.
- Herkovits, J., *Paleoecotoxicology: The Impact of Chemical and Physical Stress in the Evolutionary Process.* *Environmental Health Perspectives*, 109 (12) 564-566, 2001a.
- Herkovits, J. *Paleoecotoxicology: Extending Environmental Toxicology and Chemistry to the Inter-*



- pretation of the Fossil Record. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20(8) 1623-1624, 2001b.
- Herkovits J. *Evoecotoxicology: Environmental Changes and Life Features Development During the Evolutionary Process.* *Environmental Health Perspectives* (en imprenta)
- Simms C. 1969 "Indications of the decline of breeding amphibians at an isolated pond in marginal land, 1954 1967." *Br. J. Herpetol.* 4: 93 96.

EL INSTITUTO DE CIENCIAS AMBIENTALES Y SALUD

Fundación PROSAMA

Es una Organización No Gubernamental (ONG) con personería jurídica, que funciona desde 1991 con el objetivo de contribuir para una mejor calidad ambiental y humana. Sus actividades se cumplen en el **Instituto de Ciencias Ambientales y Salud (ICAS)** dedicado a tareas de investigación científico-tecnológica, formación de recursos humanos, asesoramiento y servicios (por intermedio del Grupo de Investigaciones en Seguridad Química, CONICET).

El ICAS cuenta con un Equipo de trabajo compuesto por investigadores científicos, técnicos, becarios, tesistas dedicados a desarrollar conocimientos científico-tecnológicos para la protección ambiental y de la salud humana.

La Fundación PROSAMA fue creada en 1991 con el fin específico de contribuir al desarrollo científico-tecnológico y la formación de recursos humanos en temas vinculados con el cuidado ambiental y la salud. En 1993 se iniciaron las actividades del Instituto de Ciencias Ambientales y Salud (ICAS) en la sede de Nicasio Oroño 710 de la Ciudad de Buenos Aires donde funcionó el Programa de Seguridad Química (SEQUIRE) del CONICET hasta el 1994.

En 1996 la Fundación PROSAMA adquirió un edificio de 2000 m² ubicado en Paysandú 752 de la Ciudad de Buenos Aires, ofreciendo lugar de trabajo a científicos, becarios, pasantes, y alentando la cooperación con otras instituciones del país (convenios con empresas, Universidades, etc.) y a nivel internacional. Los científicos de ICAS han participado de actividades como expertos de Naciones Unidas, como miembros del comité editor y luego editores de las principales revistas científicas de la especialidad, jurado de tesis Doctorales y Tesis de Licenciatura, etc. Mantienen vinculación con destacados expertos internacionales, colaboran con el desarrollo de sociedades científicas tales como **SETAC (Society of Environmental**

Toxicology and Chemistry) en América Latina de la cual ICAS es sede. Han firmado convenios con Universidades de nuestro país (por ejemplo Universidad Nacional de San Martín y Morón) y del exterior (por ejemplo North Texas, la Universidad Autónoma de Madrid, Universidad de Tel Aviv, Universidad de Padova), con organizaciones empresarias, etc. y colaborado con Instituciones con incumbencia en temas ambientales como la Secretaria de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable de la Argentina, la Organización Panamericana de Salud y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, con el objetivo de contribuir al desarrollo científico-tecnológico y la aplicación de los conocimientos para nuestra comunidad.

Integrantes

Dr. Jorge Herkovits, Investigador del CONICET,
Director del Instituto

Dra. Cristina Silvia Pérez-Coll, Investigador del
CONICET, Jefa del Área de Ecotoxicología

Dra. Teresa Fonovich, Investigadora UNSAM-ICAS

Bioq. José Luis D'Eramo, Técnico CONICET

Dr. Claudio Zuckerberg, Científico a cargo de temas
de ecopatología

Ms. Sci. Julie Brodeur, Becaria posdoctoral CONICET

Lic. Luis Alfredo Castañaga, Becario CONICET

Carolina Mariel Aronzon, Tesinista

Florencia Bonelli, Tesinista

Andrea Volpe, Tesinista

Natalia Martínez, Tesinista

María Lurdes Budin, Pasante

Colaboradores externos del ICAS:

Ph.D. Juan Carlos Stockert, Investigador, Universidad Autónoma de Madrid

Ph.D. Terence Boyle, Universidad de Colorado

Ph.D. Neil Chernoff, EPA, EEUU

Ph.D. Bernie Venables y Tom LaPoint de la Universidad de North Texas

Lic. Osvaldo Skliar, Universidad de Costa Rica

Ph.D. José Bonaparte

¿A QUÉ NOS DEDICAMOS?

Desarrollamos proyectos de investigación científica, informes técnicos y servicios a terceros sobre temas de interés ambiental con objetivos académicos, para organismos del gobierno, industrias y la población en general.

Actividades académicas del ICAS:

- Investigaciones sobre la calidad del agua para la preservación de la vida silvestre (incluidas cuencas hídricas).
- Estudios ecotoxicológicos en áreas urbanas y rurales.
- Calidad de suelo y sedimentos provenientes de zonas contaminadas.
- Desarrollo de nuevos criterios para evaluar calidad de agua para consumo humano.
- Investigaciones conjuntas con laboratorios locales y del exterior.
- Organización de Congresos y Simposios.
- Cooperación con Universidades y Empresas para la formación de Recursos Humanos.

¿Cómo se financian nuestras actividades?

Los proyectos se financian por el CONICET, la Secretaría de Ciencia y Técnica, la Agencia de Promoción Científica y Tecnológica, la OPS, la EPA, otras agencias de cooperación internacional, empresas, etc. También contamos con el aporte de instituciones que ofrecen donaciones en equipos y la colaboración de la comunidad.

¿Cuáles son nuestros objetivos?

El ICAS tiene como un objetivo fundamental colaborar con el sector productivo en todos los aspectos relacionados con el medio ambiente y la salud. Nuestras posibilidades de contribuir con estos objetivos se ilustran con los siguientes ejemplos:

- Proyectos de investigación científico-tecnológica
- Formación de recursos humanos - capacitación docente
- Proyectos de innovación tecnológica
- Servicios eco toxicológicos y físico-químicos.



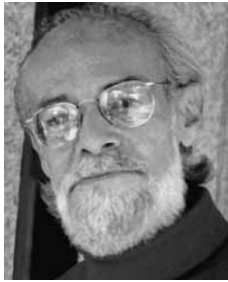
Jorge Herkovits, Ph.D.
Director del ICAS,
Investigador CONICET



Cristina Pérez-Coll, Ph.D.
Investigadora CONICET
Prof. UNSAM



Teresa Fonovich, Ph.D.
Prof. UNSAM



Juan C. Stockert, PhD.
*Universidad Autónoma
de Madrid*

- Manejo ambiental sustentable de las sustancias químicas
- Informes ambientales - consejerías tecnológicas
- Manejo ambiental de efluentes industriales
- Certificaciones ambientales
- Evaluación de riesgo ambiental
- Consultaría ambiental

En la sede de Paysandú 752/760 la institución cuenta con:

- Biblioteca: libros/documentos y revistas periódicas.
- Laboratorio de bioensayos para organismos acuáticos.
- Laboratorio de preparación de muestras y mediciones.
- Bioterios para organismos acuáticos y mamíferos.
- Oficinas para científicos, becarios y técnicos adecuadamente equipadas
- Salas de Reuniones y para actividades docentes.
- Salón de exposiciones (para el espacio de actividad cultural).



Bqco. José L. D'Éramo
Técnico CONICET



Lic. Luis Castañaga
Becario CONICET



Carolina Aronzon
Tesinista FCE yN, UBA



Natalia Martínez
Tesinista ECyT, UNSAM



Florencia Bonelli
Tesinista ECyT, UNSAM



María Lourdes Budin
Pasante UCA

En cuanto a equipamiento, el instituto cuenta con amplias facilidades para estudios ecotoxicológicos en distintos organismos evaluando inclusive efectos teratogénicos.

Estos estudios se complementan con evaluaciones bioquímicas y biofísicas para las cuales contamos con centrifugas refrigeradas, ultracentrífuga, contador de centelleo, espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito y muestreador automático; espectrofotómetros UV-visibles; colector de fracciones, equipamiento de laboratorio de ecotoxicología con estufas, microscopios ópticos, microscopios estereoscópicos, baños termostatzados, heladeras, termo de nitrógeno líquido, balanzas analítica y granataria, destiladores de agua y agua MILI Q; cuba electroforética; fuente de poder; transiluminador UV; horno a microondas; homogeneizador; agitadores; incubadores, maquinas fotográficas digitales adaptables a las lupas estereoscópicas.

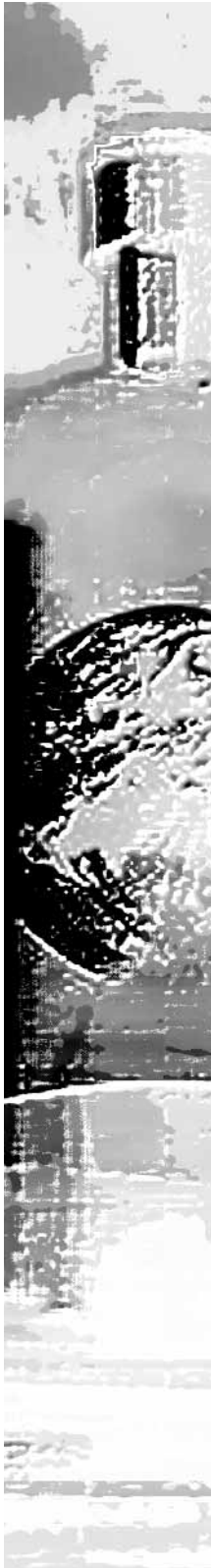
Nuestra capacidad informática se sustenta en 10 computadoras conectadas



a Internet, y para seminarios y docencia contamos con multimedia, retroproyectores y proyectores de diapositivas.

Fuentes de financiamiento externo

- Subsidio Institucional de la Secretaría de Ciencia y Técnica.
- Proyectos de la Agencia de Promocion Científica y Tecnológica.
- Proyectos financiados desde el exterior para investigadores visitantes.
- Proyectos conjunto de Cooperación Internacional.



¿EN QUÉ ÁREAS SE ENCUADRAN NUESTRAS ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN?

1) ECOTOXICOLOGÍA AMBIENTAL.

Estos estudios representan nuestras contribuciones sobre distintas muestras ambientales incluyendo ríos y arroyos del Gran Buenos Aires, muestras de suelos, lixiviados, sedimentos, etc. Los trabajos han sido presentados en numerosos congresos y publicados en revistas y libros especializados.

2) ESTRÉS OXIDATIVO.

Estudios orientados a explorar los efectos adversos del estrés oxidativo generado por distintos agentes físico-químicos, v.g. irradiación UV-B, efecto foto-dinámico, metales, etc., explorando opciones para reducir o hasta evitar los efectos adversos.

3) DISRUPCIÓN ENDÓCRINA.

Hay una creciente preocupación por la comprobación que un gran número de sustancias con estructuras químicas muy disímiles tienen como efectos adversos interferir con la función endócrina de los organismos.

4) ANTAGONISMO Y SINERGISMO.

Las sustancias químicas actúan en medios complejos y se han comprobado distintos tipos de interacciones que no pueden anticiparse en base al efecto de cada una de ellas por separado. En nuestros estudios hemos focalizado el tema de antagonismo y sinergismo entre distintos agentes físicos químicos debido a que en el primer caso se podrían obtener efectos beneficiosos mientras que en el segundo es importante evitar efectos adversos severos sobre los seres vivos.

5) EXPOSICIÓN A NOXAS EN BAJAS CONCENTRACIONES.

Los seres vivos están expuestos habitualmente a concentraciones subtóxicas de un enorme número de sustancias químicas. Si bien no se registran efectos adversos en esas bajas concentraciones, eventualmente se produce un cambio en la capacidad de respuesta de estos organismos en caso de ser expuestos a una concentración tóxica de la misma y aún de otras sustancias químicas. En atención a la creciente susceptibilidad de un gran número de personas a bajas concentraciones de ciertos tóxicos y los cambios que se verifican en la biota como consecuencia a un efecto prolongado de bajas concentraciones de distintos tóxicos este tema es considerado como de creciente interés tanto en ecotoxicología como la salud humana.

6) PALEOECOTOXICOLOGÍA - EVOECOTOXICOLOGÍA.

Es ampliamente aceptado que el estrés físico-químico ha tenido un rol trascendente durante el proceso evolutivo. La comprensión de eventos específicos y la forma como han incidido en la evolución de la vida en el Planeta desde el

punto de vista de la toxicología y química ambiental ha permitido la comprensión de episodios extremadamente críticos como por ejemplo la extinción masiva, incluyendo la selectividad dentro de este proceso (v.g. la del Cretácico-Terciario que implicó la desaparición de aproximadamente el 70% de las especies existentes hace 65 millones de años). La aplicación de los conocimientos ecotoxicológicos al registro fósil ha sido recientemente complementada con la posibilidad de asociar cambios metabólicos y de susceptibilidad a noxas durante la ontogénesis con las condiciones ambientales imperantes en distintos periodos del proceso evolutivo.

7) TOXICIDAD.

Los estudios de toxicidad incluyen la evaluación, especialmente con embriones de anfibio de la toxicidad de distintas sustancias químicas, agentes físicos y mezclas complejas. En nuestro laboratorio ha sido puesto a punto uno de los ensayos de toxicidad más versátiles denominado **AMPHITOX**. Entre nuestras contribuciones para estudios ecotoxicológicos se encuentran también las curvas de **ISOTOXICIDAD** (Toxicity Profile) que permiten comprender la relación concentración-tiempo de exposición para cada sustancia o aun mezclas complejas y los efectos que producen sobre los organismos vivos.

OTRAS ACTIVIDADES

Actividad docente, convenios y UVT. La institución ha creado una Escuela de Capacitación Docente, y mediante un convenio con la Universidad de North Texas estamos desarrollando un curso de especialización en Toxicología y Química Ambiental que se pondrá en marcha el próximo semestre. Actividades y convenios en relación con este objetivo y de cooperación científico-tecnológica con el sector empresario se ilustran en anexos. Nuestra institución es UVT, en la misma funciona el Grupo de Investigaciones en Seguridad Química (área de servicios del CONICET) y es reconocida por la SECYT como una ONG dedicada a investigación científica y capacitación.

Actividades varias. Incluye la edición de libros, organización de congresos, participación en comités científicos, consejos editoriales de revistas científicas internacionales, **Jorge Herkovits es Editor y Editor Asociado de las 2 con mayor índice de impacto en la especialidad y miembro del comité editor de varias mas**, de órganos de conducción de sociedades científicas (por caso el Dr. Jorge Herkovits ha sido coordinador y 1^{er} Presidente de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental, América Latina (SETAC) siendo nuestra institución la sede administrativa de SETAC para América Latina. Con el objetivo de fomentar la interfase ciencia y arte, a partir del 2002 hemos habilitado un salón de unos 200 m² para generar un espacio cultural particularmente en relación con temas de Medio Ambiente y Salud. Nuestro progreso en esta iniciativa está en la fase inicial de su desarrollo.

