



El *Centro de Estudios y Tecnología del Agua* CETA, dependiente de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba (Res. HCD 112/2009), tiene como objetivo principal la planificación y ejecución de programas de investigación y desarrollo ligados a temas asociados al agua. Sus actividades se vinculan también a tareas de extensión, asesoramiento, asistencia técnica y peritajes.

El CETA reúne equipos de trabajo de extensa trayectoria y larga experiencia en la investigación de los recursos hídricos. Su compromiso apunta a generar proyectos de I + D + i que favorezcan la innovación en el contexto local, regional e internacional.

La infraestructura de equipos de laboratorio del CETA se complementa con la tecnología de otros centros e institutos de investigación de la UNC para dar respuesta a múltiples problemáticas del uso y consumo del agua, como también, a las asociadas a la conservación y protección de los recursos hídricos.

Es también un espacio de formación y capacitación de recursos humanos. Cátedras, talleres, seminarios, cursos de maestría y postgrado se orientan a la capacitación de estudiantes y graduados de la UNC, de otras universidades del país y del extranjero.



Universidad Nacional de Córdoba

RECTORA: Dra. Silvia Carolina Scotto  
VICERECTORA: Dra. Hebe Goldenhersch  
SECRETARIO GENERAL: Mgter. Jhon Boretto

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

DECANO  
Ing. Héctor Gabriel Tavella

VICE-DECANO  
Ing. Roberto Terzarior

SECRETARIO GENERAL  
Ing. Daniel Lago

SECRETARÍA ACADÉMICA  
(Área Ingeniería) Dra. Ing. Elizabeth Vera de Payer

SECRETARÍA ACADÉMICA  
(Área Ciencias Naturales) Dr. Arnaldo Mangeaud

SECRETARÍA ACADÉMICA DE INVESTIGACIÓN Y POST-GRADO  
(Área Ciencias Naturales) Dr. Raúl Lira

SECRETARÍA ACADÉMICA DE INVESTIGACIÓN Y POST-GRADO  
(Área Ingeniería) Dr. Ing. Alejandro T. Brewer

Revista del CETA  
Centro de Estudios y Tecnología  
del Agua  
Facultad de Ciencias Exactas,  
Físicas y Naturales, UNC.

DIRECTOR  
Dr. Juan Carlos Bertoni

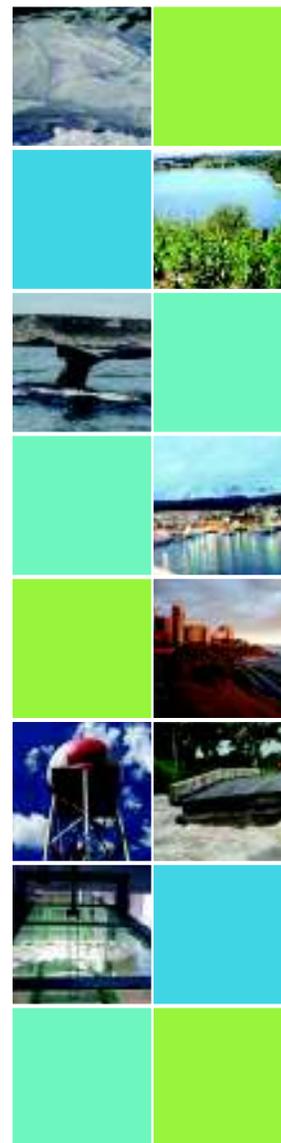
COORDINACIÓN EDITORIAL  
Lic. Zusana Boneu.

DISEÑO  
Ivana Myszkoroski

IMPRESIÓN  
Editorial Comunicarte

Vol. 1, Nº 1 - 2011

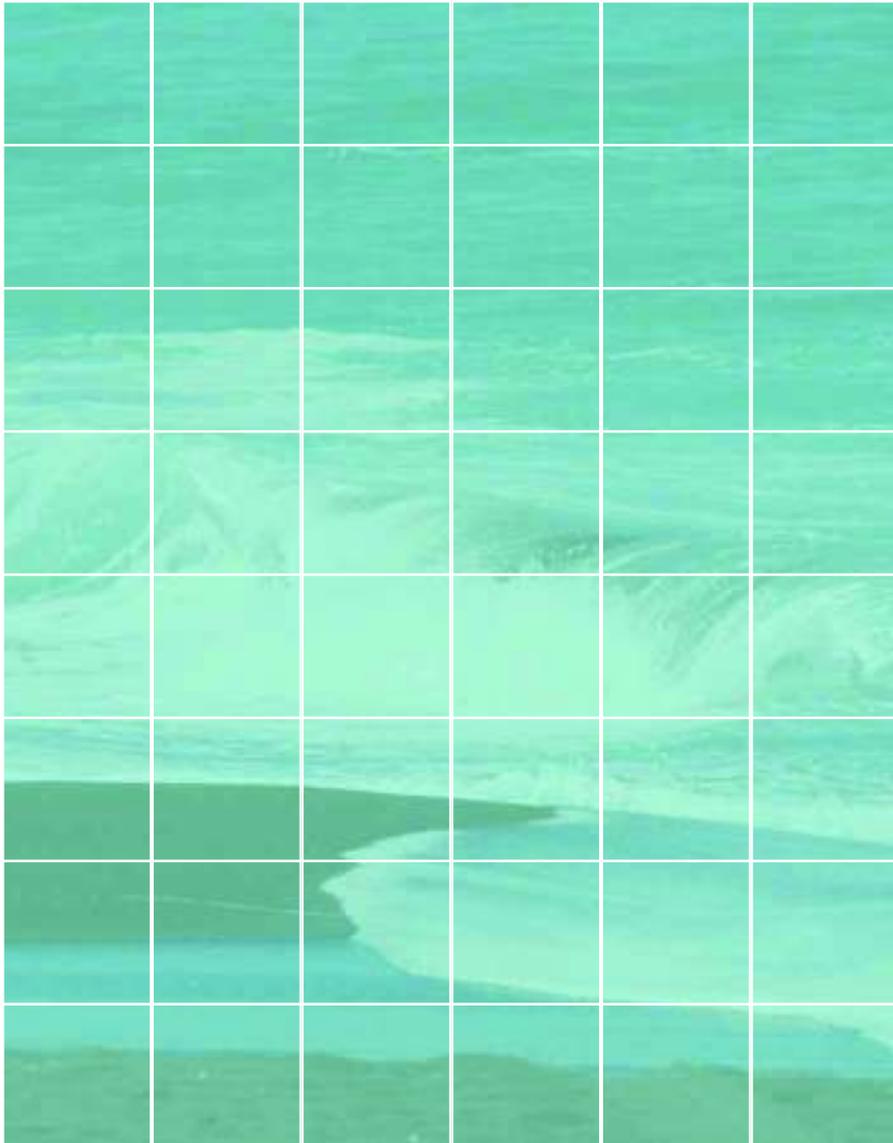
ISSN en trámite



## Sumario

- 8 Patente**  
Estructura articulada para consolidación de suelos
- 10 Convenios**  
FCEPyN-UNC e Instituciones nacionales
- 21 Premios**
- 24 Grupo de investigación**  
Medios Porosos y Aguas Subterráneas
- Proyectos de Investigación**
- 26** 10 años de Monitoreos continuos en el embalse Los Molinos  
*Ana Cossavella, Andrés Rodríguez, Mariano Corral, Raquel Bazán y Nancy Larrosa*
- 32** Arsénico en las aguas subterráneas de la provincia de Córdoba  
*Magalí E. Carro Pérez y Franco M. Francisca*
- Artículos técnicos**
- 35** Detección de contaminantes orgánicos en agua por micro-extracción en fase sólida, seguida de cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (SPME-GC-MS)  
*Ana N. Santiago*
- 39** La importancia de los factores hidráulicos en el diseño de puentes sobre cursos de agua  
*Héctor D. Farías*
- 44** Sistemas de Radar Meteorológico  
*Giorgio M. Caranti*
- Investigación y gestión**
- 51** Sequía y escasez de agua en Argentina  
*Juan C. Bertoni, Leticia Vicario y Andrés Rodríguez*
- 59** Una revisión a la problemática de las inundaciones urbanas  
*Juan C. Bertoni*
- Prácticas institucionales**
- 67** La gestión integrada de los Recursos Hídricos: el aporte de la Universidad a su proceso de construcción  
*Mario Schreider y Marta Paris*





- 72** La gestión de aguas. Trabajo en red y planificación integrada  
*Jorge Pilar*
- 74** Instituto de Investigaciones Hidráulicas de la UNSJ.  
Una experiencia de gestión  
*Jorge A. Orellano Pelle*
- Enfoques**
- 78** La legislación ambiental y algunos problemas para su ubicación en el actual Sistema Jurídico Argentino  
*Marta S. Julia*
- 83** Propuesta metodológica para la valoración económica de los recursos hídricos del NE de la provincia de Córdoba  
*César D. Pietrantonio*
- 90** **Políticas públicas**  
La gestión hídrica y el Plan Nacional Federal de los Recursos Hídricos  
*Miguel A. Valiente y Rafael A. Silva*
- 95** **Planeamiento ambiental**  
Radares meteorológicos en Argentina
- 99** **Tecnología**
- 108** **Redes**  
Red de Ingeniería e Investigación Hidráulica
- 109** **Publicaciones**





## Editorial

Iniciamos esta publicación con la intención de crear un espacio de comunicación que refleje la actividad de investigación científica y técnica, de formación de recursos humanos y de gestión de los recursos hídricos desarrollados en el Centro de Estudios y Tecnología del Agua.

Nos proponemos también dar a conocer los vínculos e intercambios académicos y tecnológicos del CETA con instituciones nacionales, regionales y extranjeras. Particularmente, los convenios realizados, las investigaciones conjuntas, la participación en redes y la transferencia de conocimientos y tecnologías al medio. Esto ha implicado la participación en la revista de investigadores, técnicos y docentes de la UNC, como también de actores vinculados a los recursos hídricos de centros e institutos de investigación de otras universidades y organismos públicos. Las temáticas abordadas, en consecuencia, no sólo se vinculan a la actividad específica del CETA, sino también a problemáticas del medio local e internacional ligadas a los recursos hídricos, algunas de ellas tratadas en el contexto de las políticas públicas y de diferentes experiencias de gestión.

Además, diversas perspectivas de análisis y enfoques multidisciplinarios se incluyen en la revista con el propósito de contribuir a una mejor comprensión de la complejidad de los temas hídricos y de su interdependencia con factores económicos, sociales, jurídicos, ambientales y culturales.

*La revista del CETA*, centrada en el eje de la innovación y del desarrollo tecnológico, pretende abarcar un mosaico temático que refleje la sinergia de los actores involucrados en los procesos de investigación, de capacitación y de transferencia de conocimientos y tecnologías, intentando mostrar una visión integral y sustentable de los recursos hídricos.



## Estructura articulada para consolidación de suelos

Investigadores del CETA y del CONICET han presentado un nuevo registro de propiedad sobre un novedoso sistema articulado para la protección y refuerzo de suelos. La patente de invención consiste en una estructura articulada para protección y refuerzo de suelos. Está ideada para proteger todo tipo de suelos, enrocados o estructuras que están sometidas a acciones hidráulicas, evitando o disminuyendo las posibles erosiones que éstas pudieran sufrir por acción de las olas o corrientes de agua. Por otro lado, también puede utilizarse como pavimento articula-

do, mejorando la transferencia de cargas y solicitaciones en general a la superficie subyacente.

Los inventores de este nuevo-desarrollo son el Ing. Juan Carlos Amuchástegui, el Dr. Ing. Andrés Rodríguez (UNC-CONICET), el Dr. Ing. Franco M. Francisca (UNC-CONICET) y el Dr. Ing. Carlos Marcelo García (UNC).

La estructura articulada de desarrollo superficial para control de erosión hídrica, está formada por bloques o cuerpos resistentes, de volúmenes poliédricos tronco-cónicos o cilíndricos, vinculados entre sí en dos direcciones (ortogonales u oblicuas) de

un mismo plano, mediante elementos conectivos que permiten generar una estructura flexible.

La Figura 1 esquematiza una vista en perspectiva donde se observan distintas piezas de la estructura, mientras que en la Figura 2 se presenta un esquema de los posibles elementos individuales que conforman la estructura articulada.

Esta estructura, por su diseño geométrico, puede colocarse sobre las superficies a proteger, en una sola capa o en varias superpuestas, tomando dicho conjunto, la forma o desarrollo geomorfológico del sustrato a proteger.

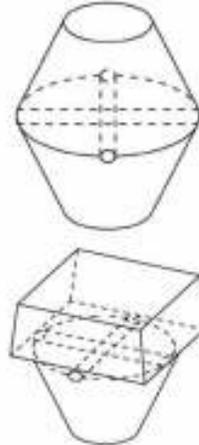
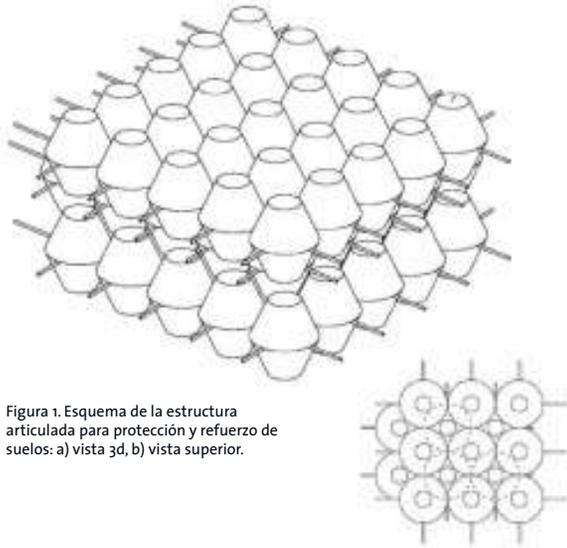


Figura 2. Bloques de la estructura articulada: a) bloque con cuerpos superior e inferior tronco cónicos, b) bloque de superficie con cuerpo superior y tronco piramidal.

La Figura 3 presenta un esquema de dos aplicaciones en superficie.

La estructura articulada permite también ser colocada sobre una capa de suelo granular o suelo cemento plástico o directamente sobre una subrasante. Los espacios interbloques pueden rellenarse con material granular, mezclas asfálticas, suelo cemento plástico, o cualquier otro material de relleno.

La colocación de múltiples capas en la dirección vertical permite desarrollar paredes verticales o inclinadas, que pueden ser utilizadas para la contención de suelos dando origen a muros de contención o muros de suelo reforzado (Figura 4).

Los contactos físicos de los bloques de una capa superior con los bloques de la capa inmediata in-

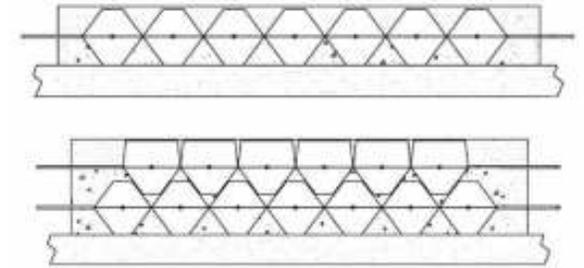


Figura 3. Aplicación de la estructura articulada como sistema de protección superficial.

ferior forman una trabazón entre capas, de tal manera que los esfuerzos o acciones son transmitidos y/o transferidos parcialmente de una capa a otra.

Entre las aplicaciones posibles se encuentra, entre otras, la protección de canales, el revestimiento de canales o sistemas de riego, la utilización en bases de asiento en rampas y cami-

nos, como sistema de fundación o protección de tuberías, protección de zonas costeras y líneas de rivera, la construcción y protección de estribos de puentes, la protección de azudes, la construcción de rápidas, la construcción de muros de contención y suelo reforzado. §

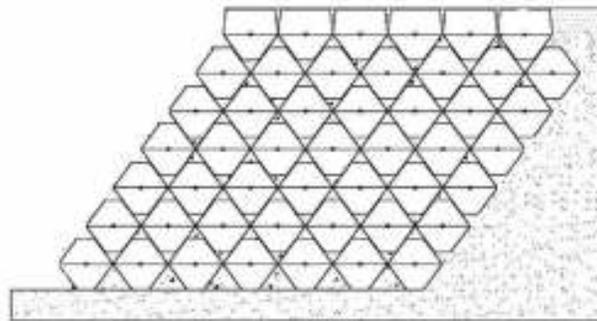


Figura 4. Aplicación de la estructura articulada como muro de contención.

### Registros

**Argentina** Instituto Nacional de la Propiedad Industrial  
*Patente compartida. Autores:* Dres. A. Rodríguez, F. Francisca y M. García (24,5% UNC y 24,5% CONICET) e Ing. J.C. Amuchástegui (51%)  
*Título:* Estructura articulada de desarrollo superficial para consolidación de suelos  
*Código:* P-070100955.  
 Intellectual Property Agent: ETERRA Trade Mark & Patents y OIT SECYT UNC.

*Presentación:* marzo de 2007  
**Estados Unidos de Norteamérica.**  
 Patent Cooperation Treaty International Searching Authority.  
*Autores:* Dres. A. Rodríguez, F. Francisca y M. García (24,5% UNC y 24,5% CONICET) e Ing. J.C. Amuchástegui (51%).  
*Título:* Articulated structure for soil protection and reinforcement  
 International application Number PCT/IB2008/050836 n° de ref 122,126.  
 Intellectual Property Agent: Dirección de Vinculación Tecnológica. CONICET.  
*Presentación:* octubre de 2009  
**Brasil.** En trámite.  
*Presentación:* noviembre 2009.



## Caracterización experimental del flujo turbulento en componentes hidráulicas de una planta de tratamiento de agua potable para optimizar su funcionamiento

### Instituciones participantes:

Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba y la empresa Aguas Cordobesas S.A.

El grupo de investigación “Descripción experimental de la Turbulencia DETu” del Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba junto con la empresa Aguas Cordobesas S.A., que opera las dos plantas de tratamiento de agua potable de la ciudad de Córdoba, elaboraron en forma conjunta este proyecto de extensión de la UNC. El propósito fue llevar a cabo una caracterización experimental del flujo en la zona de ingreso de caudales al proceso de clarificación (ver Figuras 1 y 2) de la planta de tratamiento de agua potable (Planta Los Molinos) que la empresa Aguas Cordobesas S.A. opera en cercanías de la localidad de Bower en la provincia de Córdoba. Esta planta de tratamiento de agua potable es la encargada de abastecer a aproximadamente un 30% de la población de la ciudad de Córdoba.

Observaciones preliminares en la planta sugieren que existen en la zona de estudio patrones de flujo turbulentos, los cuales podrían ser incompatibles para el correcto desarrollo de los procesos de clarificación requeridos. Entre los principales inconvenientes observados en la zona de estudio se pueden mencionar: a) Ele-

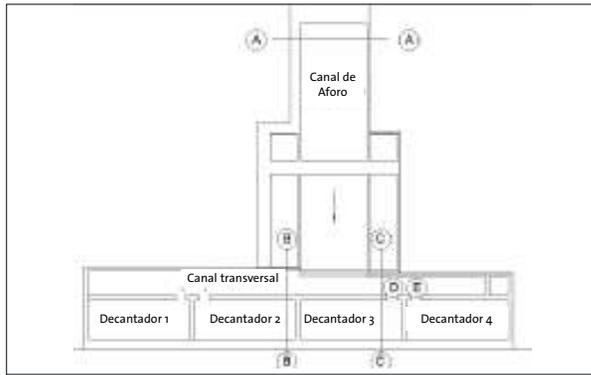


Figura 2. Esquema de la zona de estudio y ubicación de las secciones de medición.

vados niveles de turbulencia en el flujo en los canales de aforo y distribución que podrían afectar a partículas aglutinadas en los procesos de coagulación y floculación previos al de clarificación. Los esfuerzos de cortes turbulentos presentes someten a los flóculos a cizallamiento rompiéndolos en partículas de menor tamaño y peso, lo que genera menor eficiencia de los decantadores con volúmenes de extracción de barros menores a los previstos en el diseño. La menor eficiencia de los decantadores implicaría que el manto poroso de los filtros se destruya en un tiempo mucho más corto, lo cual lleva a un lavado



Figura 1. Zona de estudio. Planta de tratamiento de agua potable (Planta Los Molinos), empresa Aguas Cordobesas S.A.

más frecuente; b) La localización asimétrica del canal de aforo con respecto a las unidades de coagulación y floculación existentes produciría una distribución espacial del flujo no homogénea en la transversal; c) La reducción brusca de la sección del canal de aforo en su transición al canal de distribución transversal (ver Figuras 1, 2 y 3) genera zonas muertas, que reducen la sección de paso efectiva del flujo; d) Diferentes dimensiones de los canales de distribución transversal de margen derecha e izquierda podría generar una distribución no homogénea de los caudales; e) La disposición asimétrica de las compuertas de ingreso a los decantadores podría generar una distribución de los caudales no homogénea en cada unidad.

### Instalaciones y métodos experimentales

La caracterización experimental del flujo turbulento en la zona de estudio requiere el uso de instrumentos que presenten altas resoluciones espaciales y temporales a los fines de obtener los parámetros característicos del flujo (velocidades medias, fluctuaciones turbulentas, escalas características del problema, etc.). En este trabajo se utilizó un velocímetro

acústico Doppler (ADV por sus siglas en inglés), el cual registra puntualmente series temporales de las tres componentes del vector velocidad del flujo con frecuencias de registro de hasta 50Hz. Mediciones preliminares indicaron que las condiciones experimentales (niveles de partículas en suspensión) resultan adecuadas para el uso de tecnología acústica. Más detalles de esta técnica y la metodología recomendada para realizar mediciones de velocidad que contengan la información necesaria para caracterizar los procesos turbulentos en flujos fueron descritos por García y Herrero (2009). En forma complementaria se empleó la técnica PTV (Particle Tracking Velocimetry) para describir el campo instantáneo de velocidades superficiales de flujo con una alta resolución espacial. Los detalles de aplicación de esta técnica

se pueden encontrar en (Tarrab *et al.*, 2009).

En la zona de ingreso al canal (sección A-A en Figura 2) se cuantificaron experimentalmente: los caudales de ingreso a la planta; la variación espacial (distribución transversal y vertical) de los patrones de flujo (velocidades medias y energía cinética turbulenta); etc. En las secciones B-B y C-C (canal distribuidor) se evaluaron y cuantificaron: los patrones de flujo tridimensionales (corrientes secundarias, etc.), niveles de turbulencia, presencia de zonas muertas, etc. Finalmente, la caracterización del flujo de entrada en las compuertas D y E permite determinar los caudales que ingresan a los respectivos decantadores, las direcciones de los vectores velocidad y los niveles de turbulencia. En base a las mediciones de velocidad en las distintas secciones mencionadas (A-A,

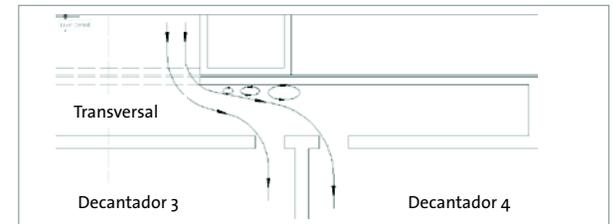


Figura 3. Esquema de flujo del canal transversal de distribución de margen izquierda.



B-B, C-C, D y E) fue posible cuantificar las escalas de los procesos turbulentos: las escalas de los grandes vórtices y las microescalas (escalas de Kolmogorov) a partir de las cuales se puede estimar los tamaños de flóculos presentes en el flujo en las distintas zonas.

## Resultados

Los resultados alcanzados muestran que en la zona de ingreso al canal la distribución de velocidades no es simétrica, observándose valores mayores de velocidad longitudinal media y menores de energía cinética turbulenta (TKE) en la margen izquierda (Ver Figura 4 y 5). Se obtuvieron patrones similares de flujo para las condiciones experimentales que incluyen el funcionamiento simultáneo de todos los decantadores o sólo 3 de los cuatro decantadores (el decantador 3 estaba en proceso de limpieza). Los valores observados en la sección A-A en los planos ubicados al 20% y el 80% de la profundidad muestran valores estadísticamente similares de los parámetros turbulentos en la vertical para cada localización en la zona de ingreso.

El análisis de imágenes digitales de los patrones superficiales de flujo obtenidos con PTV (Figuras 6 y 7) muestran una marcada separación del flujo en ambas secciones lo que reduce la sección efectiva de paso a un 60% (sección C-C) y 27% (sección B-B). Las mediciones de velocidad observadas en las compuertas D y E muestran que los vectores de velocidad en la primera de las compuertas (D) presentan valores importantes de la componente del vector velocidad paralela a la compuerta D, lo que muestra que su ubicación no es efectiva para captar el flujo.

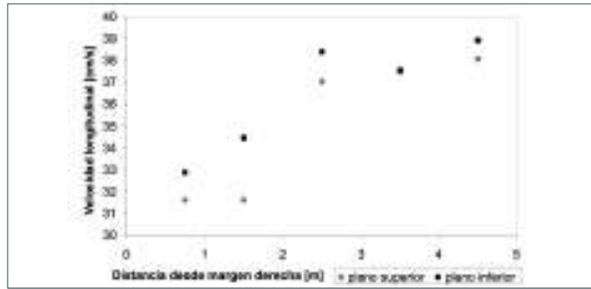


Figura 4. Perfiles transversales de velocidades longitudinales de flujo en la sección A-A en dos planos (planos superior e inferior a 80% y 20% de la profundidad, respectivamente).

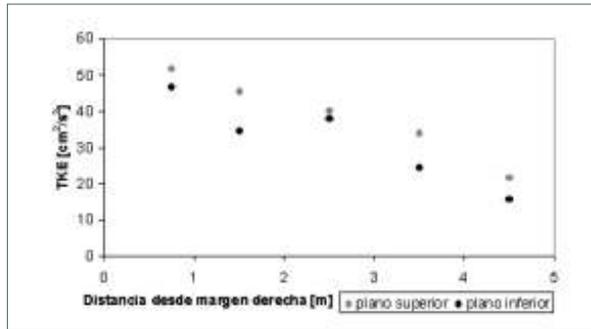


Figura 5. Perfiles transversales de energía cinética turbulenta (TKE) en la sección A-A en dos planos (planos superior e inferior a 80% y 20% de la profundidad respectivamente).

Esta característica genera que el caudal que ingresa al decantador 3 por la compuerta D es aproximadamente el doble del que ingresa al decantador 4 por la compuerta E. Además, se observaron en ambas compuertas, valores importantes de energía cinética turbulenta (significativamente mayores que en la sección de ingreso A-A), pero inferiores a los observados en la sección C-C. Finalmente, los órdenes de magnitud más pequeña de la escala de flujo turbulento (escala de Kolmogorov  $\eta$ , calculados utilizando una relación adimensional que incluye los valores de

energía cinética turbulenta y las escalas de los grandes vórtices presentes en el flujo) fueron utilizados para describir los procesos de agregación y desagregación de flóculos cuando las características de los sedimentos en suspensión son conocidos (Tambo and François, 1991). Los valores más pequeños de  $\eta$  observan en las secciones B-B y C-C, lo que indicaría que los flóculos formados en la zona de los agitadores mecánicos al ingreso a la planta de tratamiento se romperían en esa región, siendo esta la sección crítica a optimizar.

Los resultados alcanzados en la caracterización experimental del flujo presentada en este trabajo se están utilizando para calibrar un modelo numérico apto para caracterizar flujos turbulentos. Este modelo, una vez calibrado, se ensayará para distintos escenarios hidráulicos y alternativas de configuraciones geométricas en el ingreso del flujo a los decantadores, con el fin de elaborar recomendaciones relacionadas a las modificaciones a ejecutar en la planta de tratamiento de Bower (Planta Los Molinos).§

## Trabajos futuros

Los resultados alcanzados en la caracterización experimental del flujo presentada en este trabajo se están utilizando para calibrar un modelo numérico apto para caracterizar flujos turbulentos. Este modelo, una vez calibrado, se ensayará para distintos escenarios hidráulicos y alternativas de configuraciones geométricas en el ingreso del flujo a los decantadores, con el fin de elaborar recomendaciones relacionadas a las modificaciones a ejecutar en la planta de tratamiento de Bower (Planta Los Molinos).§

## Equipo de trabajo

### Director

Dr. Carlos Marcelo García (FCEfYn-UNC)

### Co-Director

Dr. Mariano I. Cantero (Centro Atómico Bariloche, CNEA)

### Integrantes

Ing. Ivan Matias Ragessi  
Ing. Matias Haisama  
Ing. Horacio Herrero  
Ing. Carlos Balderrama  
Ing. Leticia Tarrab (FCEfYn-UNC)

## Referencias Bibliográficas

- GARCÍA, C. M. y HERRERO, H. (2009). *Metodología experimental para caracterizar flujos turbulentos con Velocímetros Acústicos Doppler*. I Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica. Carlos Paz, Córdoba, Argentina.
- GARCÍA, C. M., RAGESSI, I. M., HAISAMA, M., BALDERRAMA, C., HERRERO, C., TARRAB, L., CANTERO, M. I. y RODRIGUEZ, A. (2010). *Caracterización Experimental del Flujo en Componentes de Una Planta de Tratamiento de Agua Potable* XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, IAHR, Punta Del Este, Uruguay, Noviembre 2010.
- TARRAB, L., BREVIS, W., SAVID, C., WIERZBICKI, P., GARCÍA, C. M., RODRIGUEZ, A. (2009). *Caracterización de flujos complejos en laboratorio mediante la técnica PTV*. I Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica. Carlos Paz, Córdoba, Argentina.
- TAMBO, N. y FRANÇOIS, R. (1991). *Mixing, Breakup, and flocculation characteristics*. En: *Mixing in coagulation and flocculation*. Ed. Amirtharajah, A., Clark, M. and Trussell R., A:WA.

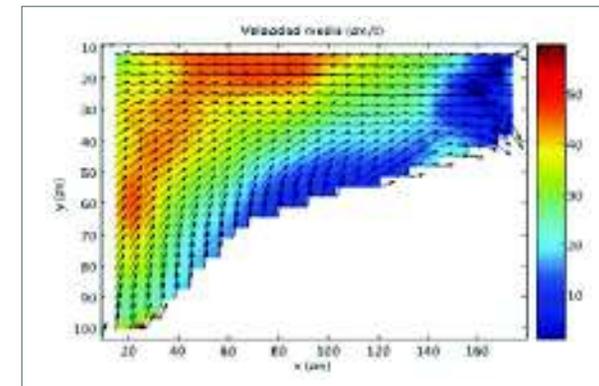


Figura 6. Campo de velocidades superficiales de flujo en canal derivador margen derecha.

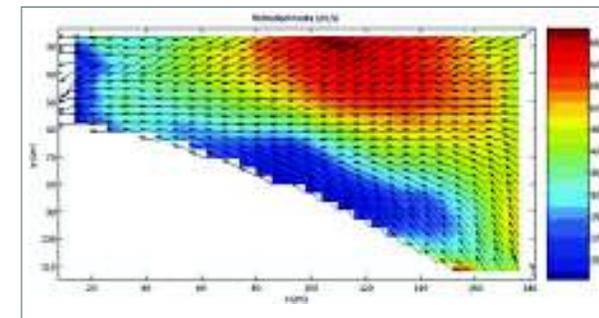


Figura 7. Campo de velocidades superficiales de flujo en canal derivador margen izquierdo.



## Anteproyecto Dique Las Piedras

### Instituciones participantes:

Gobierno de la provincia del Chubut y Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.

### Objetivo

El propósito de la contratación al Laboratorio de Hidráulica de la FCEFYN de la UNC es, en su primera etapa, la elaboración del anteproyecto de la obra presa Las Piedras, estableciendo las características generales de diseño hidráulico y estructural que aseguren la funcionalidad de los objetivos previstos para la obra.

Los objetivos del proyecto del dique Las Piedras apuntan a:

1. Regular y proveer agua a distintos aprovechamientos hídricos ubicados aguas abajo de los cierres. Se destaca entre ellos la provisión de caudales de riego a 35.000 ha en la Meseta Intermedia a través de un canal derivador a ser construido en el futuro.
2. Atenuar crecidas y compensar las erogaciones producidas por la central hidroeléctrica ubicada al pie del dique Florentino Ameghino, garantizando caudales consistentes con el plan de dragado y sistematización de laderas del cauce inferior del río Chubut, que determinará los caudales admisibles del río aguas abajo del futuro dique Las Piedras.
3. Atenuar contenidos de arcillas en suspensión en el cauce inferior del río Chubut y proveer so-

lución al proceso de sedimentación en el Valle Inferior de ese río que ha producido una reducción significativa de la capacidad del cauce y sedimentación, la cual afecta a las plantas potabilizadoras y al puerto de Rawson.

El proyecto original de esta presa realizado por Agua y Energía preveía un cierre cuya altura sería la cota de fundación del dique Florentino Ameghino con instalación de turbinas de 20.000 kW de potencia, con una generación anual de 59.000.000 KWh. El nuevo proyecto no contempla la generación de energía eléctrica en la presa Las Piedras. Se consideró conveniente un cierre de menor altura que no tuviera generación hidroeléctrica y produjera menor impacto aguas arriba.

Este anteproyecto ha definido una obra que cumpliría las especificaciones y objetivos definidos y ha determinado la necesidad de realización de estudios complementarios para el desarrollo del proyecto licitatorio. En la etapa del proyecto licitatorio quedarán determinadas las características definitivas de las obras proyectadas.

### Etapas

Cronograma de las tareas desarrolladas:

ITEM	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Anteproyecto																							
1.1	Revisión de Campo																							
1.1.1	Tipo balimétrico																							
1.1.2	Geomorfología																							
1.1.3	Geotecnia																							
1.2	Definición de Escenarios de Operación																							
1.2.1	Hidrológicos																							
1.2.2	Demanda																							
1.2.3	Compensación CHFA																							
1.3	Anteproyecto																							
1.3.1	Anteproyecto cierre																							
1.3.1.1	Anteproyecto geométrico																							
1.3.1.2	Anteproyecto estructural																							
1.3.2	Obras de control																							
1.3.2.1	Vertedero																							
1.3.2.2	Obras de toma																							
1.3.3	Dibujos																							
1.4	Impacto Ambiental																							
1.5	Coordinación																							

### Resultados

El producto elaborado permitirá analizar la factibilidad técnica-económica y ambiental de las obras, además de establecer los estudios básicos necesarios de realizar para la correcta elaboración del proyecto ejecutivo de las mismas. §

**Tiempo de ejecución**  
6 meses.

#### Equipo de trabajo

**Director de Proyecto**  
Ing. José A. Inaudi

**Coordinador General-Proyektista Hidráulico**  
Ing. Gonzalo Moya

**Especialista Geomorfología-Suelos**  
Ing. Ricardo Rocca

**Especialista Presas Materiales Suelos**  
Ing. Marcelo Zeballos

**Especialista Presas Materiales Suelos**  
Ing. Roberto Terzaroli

#### Asesor Hidráulico

Luis Toselli  
**Especialista ambiental-Asesor Hidráulico**  
Ing. Santiago Reyna

**Especialista ambiental**  
Geólogo Hugo Pesci

**Director área dibujo**  
Ing. Jorge González

**Asistentes en la confección de planos**  
Ing. Martín Tapia, Srta. Erica Díaz, Srta. Silvana Aguilar, Srta. Claudia Gutiérrez, Sr. Marcos Duarte, Sr. Ivan Kukanja.

**Lugar de Trabajo**  
Laboratorio de Hidráulica, FCEFYN-UNC



## Anteproyecto del emisario submarino de la localidad de Puerto Madryn

### Instituciones participantes:

Municipalidad de Puerto Madryn y Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.

### Objetivo

Prestación de Asistencia Técnica especializada por parte de la Universidad a la Municipalidad de Puerto Madryn en el tema Emisario Submarino de la Ciudad de Puerto Madryn (provincia de Chubut), particularmente el estudio de factibilidad de descarga.

### Etapas

1. Recopilación y análisis crítico de antecedentes.
2. Análisis de alternativas de disposición con emisario.
3. Anteproyecto de la alternativa seleccionada.

### Resultados y beneficios

El principal objetivo de este trabajo consiste en mejorar el plan de contingencia previsto durante las emergencias, mediante una obra tipo emisario submarino que realice la disposición final en el mar, considerando los aspectos ambientales necesarios para su descarga en el medio receptor. Esto incluye la realización de los estudios hidrodinámicos y de dilución necesarios para cumplir con la normativa vigente de la zona.

En este caso en particular, las corrientes costeras se encuentran influenciadas por el régimen de mareas y la acción del

viento, por lo que se están analizando los diferentes escenarios hidrodinámicos críticos para el diseño del emisario y de las obras accesorias.

Con el apoyo de modelos numéricos de dilución se plantearán diferentes alternativas de disposición, las que variarán la longitud del emisario, la profundidad de descarga y el tipo de descarga (puerto único o multi-puerto). Todas estas alternativas deberán cumplir con la normativa ambiental vigente en la zona y los requerimientos especificados por la Municipalidad de Puerto Madryn. Con los resultados obtenidos se realizará el anteproyecto de la obra del emisario. §



### Tiempo de Ejecución

6 meses.

### Equipo de investigación

Mgter. Ing. Mariano Corral  
Mgter. Ing. Mariana Pagot  
Mgter. Ing. Claudia Oroná  
Mgter. Ing. Matias Raggese

### Lugar de trabajo

Laboratorio de Hidráulica,  
FCEfYn-UNC

## Evaluación técnico-económico de ofertas en el proceso licitatorio de las obras del Emisario Submarino de Mar del Plata, provincia de Buenos Aires

### Instituciones participantes:

Ente Nacional de Obras Hídricas y Saneamiento (ENOHSA) y Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.

### Objetivo

Prestación de asistencia técnica por parte de la Universidad al ENOHSA para el análisis y evaluación de las ofertas alternativas presentadas en la licitación del Emisario Submarino de Mar del Plata.

### Etapas y/o proceso de desarrollo

1. Confección del presupuesto oficial de la obra y actualización.
2. Evaluación de ofertas técnicas.
3. Pedido de ampliación y/o aclaración de ofertas.
4. Análisis económico de las ofertas.

### Resultados y beneficios

En el marco del proceso de licitación de la Obra del Emisario Submarino de la ciudad de Mar del Plata, se postularon 3 empresas a la licitación, las cuales presentaron la oferta básica contemplada en el pliego y adicionalmente presentaron también una oferta de una obra alternativa.

Para realizar la adjudicación de las obras del emisario y consecuentemente continuar con el proceso de licitación, resultó necesario realizar tareas que comprendieron la confección y actualización del presupuesto



to oficial de la obra, el pedido de ampliaciones y/o aclaraciones a las empresas y la evaluación técnico-económica de las ofertas presentadas. El resultado final de este proceso es la recomendación de a qué empresa se debe preadjudicar la obra. §

### Tiempo de ejecución

6 meses.

### Equipo de investigación

Mgter. Ing. Mariano Corral  
Ing. Gustavo Vater  
Mgter. Ing. Mariana Pagot  
Mgter. Ing. Cecilia Pozzi

### Lugar de trabajo

Laboratorio de Hidráulica,  
FCEfYn-UNC

### Referencias Bibliográficas

CORRAL, M., PAGOT, M., ORONÁ C., RODRÍGUEZ, A., PATALANO, A. Y GYSSELS, P. (2011). *Numerical Modeling For Definition Of Critical Hydrodynamic Stage Related To The New Outfall Of Puerto Madryn, Argentina*. International Symposium on Outfall Systems. International Association for Hydro-Environment Engineering and Research. IAHR/IWA Joint Committee on Marine Outfall Systems Mar del Plata, Argentina, 15-18 May, 2011.



## Asesoramiento de la Unidad Técnica supervisora del proyecto ejecutivo de la interconexión vial Goya-Reconquista sobre el río Paraná

### Instituciones participantes:

Dirección Nacional de Vialidad y Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.

Un consorcio de empresas nacionales llevaron a cabo este proyecto de ingeniería de alta complejidad y al mejor nivel internacional en la materia.

La Unidad Técnica dependiente de la Dirección Nacional de Vialidad ha sido asesorada por tres Universidades Nacionales (NE, Rosario y Córdoba) durante todo el período de desarrollo del Proyecto Ejecutivo del Puente Goya-Reconquista sobre el río Paraná.

Por la UNC, participó la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, bajo la coordinación del Dr. Tomás Prato, involucrando numerosos docentes-investigadores de los Departamentos de Hidráulica, Estructuras y Construcciones Civiles.

Además de la propia supervisión de los aspectos técnicos relacionados a la Ingeniería Hidráulica e Hidrología, se realizó la inspección de los ensayos en modelos físicos reducidos (a fondo fijo y fondo móvil) construidos en el Laboratorio de Hidráulica del Instituto Nacional de Agua en Ezeiza.

### Objetivo

Acompañar a la Unidad Técnica de la DNV, responsable de la inspección del proyecto, en el segui-

miento y evaluación específica de todas las etapas del proyecto ejecutivo.

### Etapas

Este proyecto de ingeniería llevó entre todas sus etapas (factibilidad, anteproyecto y proyecto ejecutivo) más de 10 años. Fue finalizado exitosamente a fines del año 2009. La UNC aportó informes mensuales, además de los informes *ad hoc* de inspección de modelos físicos.

### Resultados

Se trata de un obra de más de 60 km. de longitud, sobre el valle de un gran río de llanura a escala mundial, con el uso de las últimas tecnologías constructivas y desarrollado mediante la aplicación, también, de modernas tecnologías para sus complementes hidráulicos (e.g. modelos físicos de gran escala, modelos numéricos hidromorfodinámicos refinados y paralelizados, etc.)

El monto total involucrado, en la parte contratada a la UNC, en sus tres etapas, fue cercano al millón trescientos mil pesos. §

**Tiempo de ejecución**  
2 años y 6 meses.

**Equipo de investigación**  
Coordinador  
Dr. Tomás Prato

**Integrantes por el Departamento de Hidráulica de la FCEFYN**  
Dr. Juan J. C. Bertoni  
Dr. Andrés Rodríguez  
Dra. Rocío Fernández  
Mgter. Gonzalo. Moya  
Mgter. Cecilia Pozzi  
Mgter. Mariano Corral  
Mgter. Edgar Castelló  
Ing. Gonzalo Plencovich  
Ing. Matías Raggessi

**Lugar de trabajo**  
Laboratorio de Hidráulica, FCEFYN-UNC

## Monitoreo hidrometeorológico de la Laguna de Mar Chiquita-Bañados del Río Dulce, provincia de Córdoba y Santiago del Estero

### Instituciones participantes:

Secretaría de Ambiente de la provincia de Córdoba y Centro de Vinculación del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la UNC.

### Objetivos

El propósito es dar continuidad al apoyo técnico-científico prestado por el Laboratorio de Hidráulica a la Secretaría de Ambiente, principalmente en los temas relacionados a los recursos hídricos de la región del Norte y Noroeste de la provincia de Córdoba.

### Etapas

#### 1. Monitoreo continuo de Caudales en Paso de la Cina

Para tal efecto se propone realizar aforos estacionales (4 campañas al año) en la sección de Paso de la Cina, ubicada al límite de la provincia de Córdoba con la de Santiago del Estero, con el objeto de calibrar la curva Altura - Caudal asociada, verificando datos antecedentes y correlacionando los resultados con los valores limnimétricos horarios registrados por el instrumental instalados por la Facultad para tal efecto.

#### 2. Monitoreo continuo de Caudales en Paso de Oscares

Se propone realizar aforos estacionales (4 campañas al año) en la sección de Paso de Oscares, ubicada en los Bañados del Río Dulce en la provincia de Santiago del Estero. Estas tareas permitirán calibrar la curva Altura - Caudal asociada, verificando datos antecedentes y correla-

cionando los resultados con los valores limnimétricos horarios registrados por el instrumental automático instalado por la Facultad para tal efecto.

#### 3. Monitoreo de calidad de agua

Respetando la frecuencia de aforos y recolección de datos, se realizará la extracción de muestras de agua para su posterior análisis, con el objeto de evaluar la calidad y la evolución del recurso a lo largo del año comparando también las variables analizadas entre las dos secciones de análisis.

#### 4. Recolección de datos meteorológicos

En el recorrido por el sector, se llevará a cabo la recolección de datos meteorológicos de los distintos pluviómetros y estaciones meteorológicas compactas instaladas en todo el arco norte de la laguna Mar Chiquita y Bañados del río Dulce.

#### 5. Elaboración de un informe de diagnóstico

Permitirá evaluar la disponibilidad y calidad del recurso hídrico superficial en el límite interprovincial. Se incluirá en este informe final, además, la información meteorológica recolectada y disponible, con el objeto de evaluar el balance vertical de la zona de

bañados clasificando las condiciones climáticas a las que ha estado sujeta la región.

6. Se brindará asistencia técnica y disponibilidad de información necesaria para la fundamentación y el análisis de las medidas y decisiones a tomar en torno al manejo y gestión del recurso hídrico del Río Dulce, los Bañados del Río Dulce y Laguna Mar Chiquita.

### Resultados y beneficios

Se logrará consolidar la presencia del Gobierno de la Provincia en el control y gestión del recurso en el norte provincial. El proyecto hará posible conocer con mayor certeza la disponibilidad y calidad del recurso y generar herramientas concretas para la gestión del mismo. §

**Tiempo de Ejecución**  
2 años

**Equipo de investigación**  
Mgter. Ing. Gerardo Hillman  
Mgter. Ing. Claudia Oroná  
Mgter. Ing. Cecilia Pozzi  
Mgter. Ing. Mariana Pagot  
Ing. Héctor Muratore  
Est. Silvia Navarro Ramos

**Lugar de trabajo**  
Laboratorio de Hidráulica FCEFYN-UNC



## Locación de servicios para la revisión técnica del proyecto de ampliación del Puerto de Ushuaia

### Instituciones participantes:

Dirección Provincial de Puertos, provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur y Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales-Centro de Vinculación del Departamento de Hidráulica, Universidad Nacional de Córdoba.

### Objetivo

Asistir con Servicios Técnicos Especiales a los profesionales que conforman la Inspección de la obra de ampliación del Puerto de Ushuaia, a cargo de la Dirección Provincial de Puertos.

### Etapas

1. Participación de las reuniones requeridas por la inspección y/o la empresa constructora.
2. Verificación y Validación de las adaptaciones y modificaciones operadas respecto del Proyecto Licitado, Justificación de las adaptaciones propuestas respecto a su incidencia económica en el proyecto.
3. Análisis de Informes de Avance e Informe final con la validación y aprobación de la ingeniería de detalle.
4. Dictamen respecto a la Ingeniería de Detalle presentada y desarrollada por la Dirección Provincial de Puertos.

Todas las etapas se encuentran finalizadas.

### Resultados y beneficios

Se optimizaron modificaciones y cambios del proyecto original, propuestos por la empresa y consensuados con la Dirección Provincial de Puertos. Asimismo, se asistió técnicamente a los ingenieros de la inspección, brindando mayor ejecutividad en el avance de obra. §

### Tiempo de ejecución

4 meses

### Equipo de investigación

Dr. Ing. Franco Francisca  
Mgter. Ing. Gerardo Hillman

### Lugar de trabajo

Laboratorio de Hidráulica,  
FCEfYn-UNC



## Premio INMAC al mejor trabajo técnico presentado por jóvenes profesionales

El Ing. Mariano Corral obtuvo el Premio INMAC destinado al mejor trabajo técnico presentado por jóvenes profesionales en el IV Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, realizado en Salta desde el 4 al 6 de noviembre 2009.

El trabajo resume las actividades realizadas en el marco de un convenio entre la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la UNC y la Dirección Provincial de Aguas y Saneamiento, cuyo objetivo fue estudiar y cuantificar la influencia de la extracción de áridos sobre el cauce del Río Cuarto.

El artículo sostiene que "...En las últimas décadas se ha observado en el cauce natural del Río Cuarto un continuo proceso de profundización del cauce, erosión y desestabilización de márgenes y movimientos de meandros, afectando obras de infraestructura como los puentes de la ciudad y, por lo tanto, requiriendo importantes inversiones para asegurar la estabilidad de las obras. Por ejemplo, la de los azudes de los puentes Carretero y Ferroviario de la ciudad mencionada. En el trabajo se ha evaluado la presión de la extracción

de áridos, actividad que se realiza con intensidad sobre el cauce del Río Cuarto, mediante un balance simplificado de los sedimentos del tramo en estudio. Para esto ha sido necesario cuantificar la erosión en el fondo con el apoyo de un modelo a largo plazo, estimar la tasa de erosión lateral con el apoyo de fotografías aéreas e imágenes satelitales de alta resolución y relevar la ubicación, método de explotación y volumen extraído por cada una de las explotaciones existentes".

## Premio RCEM por la exhibición de trabajo de investigación, en formato de Poster

A fines de septiembre de 2009, la docente del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Dra. Rocio Luz Fernández obtuvo el primer premio en el VI Congreso Internacional sobre Morfodinámica de Ríos, Costas y Estuarios (RCEM por sus siglas en inglés), por la exhibición de su trabajo de investigación en formato de poster. Dicho encuentro científico tuvo sede en Santa Fe, Argentina, y congregó a más

de 200 especialistas de todo el mundo. En el marco del mismo, la especialista presentó el trabajo titulado "Canalización incipiente de deltas sumergidos en presencia de un cambio de pendiente: implicancias en el patrón de formación", investigación desarrollada durante su estadía en el Laboratorio de Hidráulica Ven Te Chow de la Universidad de Illinois, en Urbana-Champaign, U.S.A. Integraron el equipo de trabajo también los profesionales

Dr. Alessandro Cantelli y Dr. Carlos Pirmez, de Shell International Exploration and Production Inc., Houston, U.S.A., y el reconocido científico Profesor Gary Parker, de la Universidad de Illinois, U.S.A.

"Considero este premio un estímulo más para seguir trabajando, como también, un reconocimiento al esfuerzo por profundizar en la temática de la hidráulica de canales y poder darle divulgación dentro de mi país", comentó entonces la Dra. Fernández.



## Medios Porosos y Aguas Subterráneas

El Grupo “Investigación en Medios Porosos y Agua Subterránea” estudia los sistemas de partículas tales como suelos y rocas, haciendo énfasis en los procesos físicos que gobiernan el comportamiento de la fase sólida y los fluidos intersticiales (agua, hidrocarburos, electrolitos, etc.).

Los trabajos realizados se encuentran relacionados con el comportamiento mecánico de suelos, la interacción fluido-partícula y su relevancia en los problemas de flujo de contaminantes, problemas de flujo no miscible y remediación de suelos contaminados. En cada uno de los aspectos mencionados se busca interpretar comportamientos emergentes a través de estudios realizados a diferentes escalas y desarrollar soluciones creativas e innovadoras para los problemas en estudio.

Los estudios realizados por este grupo son relevantes para el campo de la ingeniería geotécnica, geotecnia ambiental, contaminación de agua subterránea, industria del petróleo, hidrogeología e ingeniería geológica.

### Proyectos Actuales

Actualmente IMPAS aborda aspectos relacionados con la contaminación de suelos y aguas subterráneas de origen natural y/o antrópico. Los intereses actuales se concentran en:

#### 1. Mejoramiento de suelos limosos con bentonita para la construcción de barreras en rellenos sanitarios

La disposición de los residuos sólidos municipales tiene un gran impacto en el ambiente. La técnica más usada para su deposición final envuelve el uso de rellenos sanitarios. Debido a cuestiones económicas, es de fundamental importancia poder utilizar suelos locales como material de construcción para las barreras de los rellenos sanitarios. En el centro de Argentina existe una gran superficie con depósitos de suelos loésicos. Se realizan numerosos estudios de laboratorio e *in situ* para determinar la aptitud de estos suelos como material de construcción para barreras aislantes. Se estudian fundamentalmente las propiedades hidráulicas de suelos loésicos compactados y mezclas de limos con arcillas (e.g. montmorillonita sódica). Se analiza la influencia de la microestructura del suelo en la conductividad hidráulica y se estudian, además, fenómenos de interacción minerallixiviado relevantes para el flujo de fluidos en medios porosos, en particular el comportamiento a largo plazo. Estos resultados se utilizan en el análisis y diseño de rellenos sanitarios, utilizando técnicas computacionales y modelos numéricos (Figura 1).



#### Grupo de Trabajo

##### Director

Dr. Ing. Franco Matías Francisca, CONICET-UNC

##### Integrantes estables

Mgter. Marcos A. Montoro  
Mgter. Magali E. Carro Pérez  
Ing. Daniel Glatstein  
Ing. Diego López Hernández  
Ing. Germán Van de Velde  
Ing. Gustavo Pesca Pinto  
Ing. Franco S. Díaz

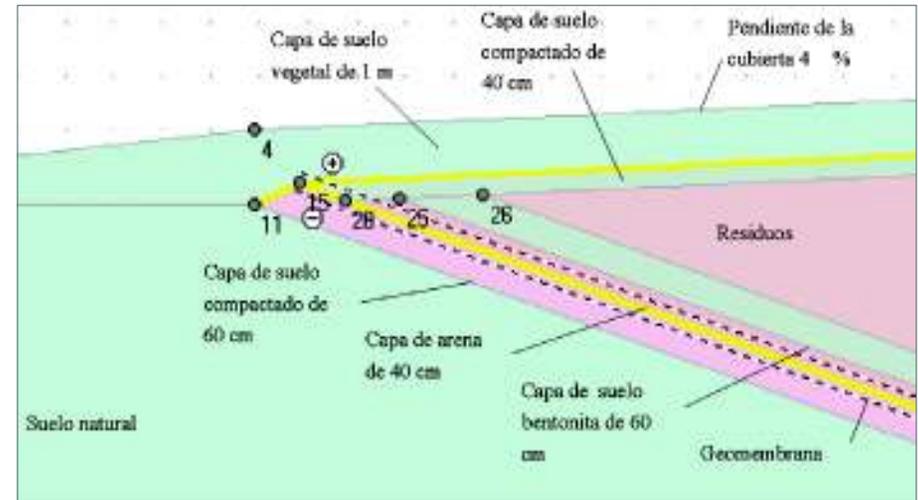


Figura 1: Modelo en elementos finitos de una celda en un relleno sanitario utilizando barreras de suelo y geosintéticos para la contención del lixiviado.

#### 2. Influencia de la interacción fluido-partícula en la permeabilidad relativa del suelo con fluidos no miscibles

La contaminación de suelos con sustancias de distinta naturaleza química es un problema de gran importancia en las grandes ciudades alrededor del mundo. Estas sustancias pueden ser derramadas accidentalmente durante su manipulación o transporte, además, las mismas pueden ser peligrosas para la salud y pequeñas cantidades pueden contaminar grandes volúmenes de agua. Una de las líneas de investigación es el estudio experimental en laboratorio de la recuperación de contaminantes no miscibles con agua. En particular se están realizando estudios de la influencia de las heterogeneidades y ani-

sotropía de la estructura porosa del suelo en el transporte de contaminantes. Se realizan estudios a distintas escalas relacionados con la interacción entre fases, la generación de ganglios, la saturación residual de contaminantes en procesos de limpieza y la eficiencia de distintas técnicas de recuperación de suelos contaminados (Figura 2). Las herramientas utilizadas consisten en celdas para ensayos de laboratorio, modelos computacionales para la predicción y diagnóstico de comportamientos esperados (e.g. desplazamiento de una pluma contaminante) y técnicas de medición indirectas o no destructivas basadas tanto en ensayos geofísicos como en el análisis de imágenes. Los resultados obtenidos son de gran utilidad para es-



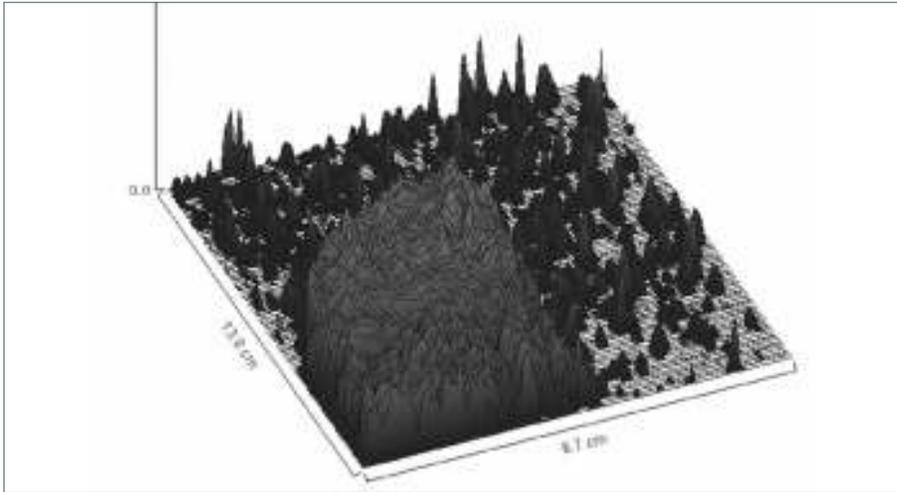


Figura 2: Monitoreo de la limpieza de suelos mediante análisis de imágenes en una muestra de suelo heterogénea.

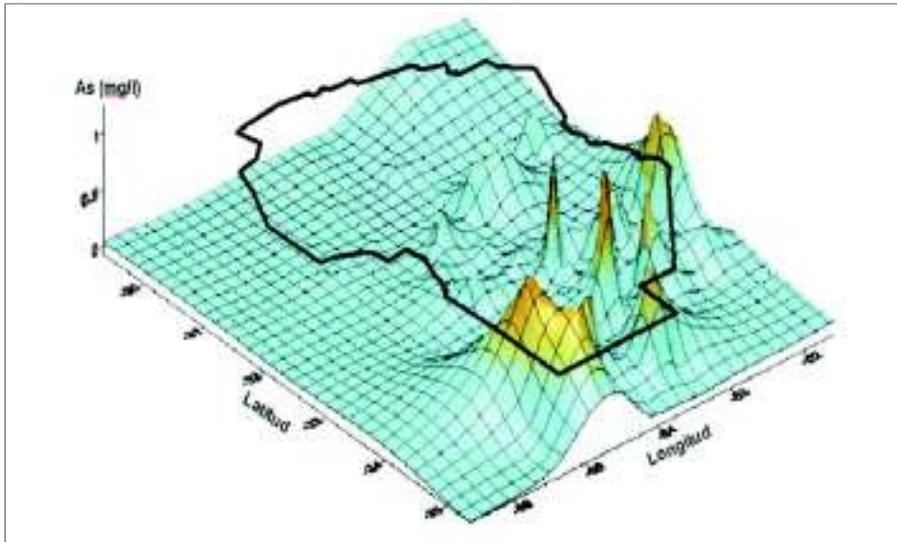


Figura 3: Diferencia entre concentraciones máximas y mínimas de As en agua subterránea (mg/l) Modelo de terreno.

tudios de remediación de sitios contaminados.

**3. Distribución espacial del arsénico en el agua subterránea de Córdoba y análisis de métodos de remediación.**

Se estudia la variabilidad espacial y temporal de las concentraciones de arsénico y especies químicas asociadas en el agua subterránea. Se analizan la dependencia entre la presencia de arsénico y las propiedades de los sedimentos, con énfasis en la relevancia para la selección de técnicas de remediación *in situ*.

Se establecen herramientas útiles para la toma de decisiones (e.g. geoindicadores y mapas de riesgo) que permitan determinar la situación de las aguas subterráneas de la provincia de Córdoba en relación con la presencia de Arsénico y Flúor (Figura 3).

Se realizan investigaciones piloto sobre métodos innovadores de remediación que puedan ser utilizados para la provisión de agua potable libre de arsénico, para la población rural dispersa cuya fuente de provisión de agua sea subterránea.

**4. Conductividad térmica de suelos con fluidos no miscibles**

Se investiga la influencia del tipo de fluido intersticial, densidad y fábrica del suelo en la conductividad térmica. Se utilizan mediciones mediante sensores de aguja que permiten una perturbación mínima del suelo. Los resultados obtenidos son relevantes para el almacenamiento de energía térmica en el suelo, y para estudios de fábrica y contaminación de suelos, mojabilidad y el diseño

de modelos efectivos de medios porosos.

**5. Cambio volumétrico de suelos saturados con fluidos no miscibles**

Se estudia la relevancia de la presencia de meniscos e interfaces en el comportamiento tensodeformacional de suelos sometidos a cambios de volumen con desplazamiento lateral nulo. Se analiza la influencia de los finos en el módulo de deformación del suelo, y la relevancia de los meniscos en la incorporación de no-linealidad en el comportamiento observado.

**6. Aptitud de los lodos generados en plantas potabilizadoras de agua como material de construcción**

Se caracterizan las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los lodos generados en la planta potabilizadora de agua "Suquia" que provee de agua potable a la zona norte de la ciudad de Córdoba. Los lodos, considerados un residuo de la planta, son tratados en una planta de lodos y luego dispuestos en un relleno sanitario. En este trabajo se analizan las aptitudes y potenciales aplicaciones de estos lodos.

**Transferencia e investigación**

Este grupo involucra la participación de numerosos estudiantes que realizan sus trabajos finales de grado, como también, tesis de maestrías y doctorales. Existe una activa participación en seminarios y congresos de las especialidades relacionadas. Se realizan además publicaciones en distintas revistas de carácter científico y técnico a nivel nacional e internacional.

Las investigaciones y estudios se llevan a cabo en el marco de proyectos subsidiados por las más importantes Agencias de Promoción de Ciencia y Tecnología del país y en cooperación con otros grupos de universidades nacionales y extranjeras. §

El Grupo de Investigación en Medios Porosos y Aguas Subterráneas depende de la Facultad de Ciencias, Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.

**Patrocinantes de las Investigaciones**

CONICET  
 Ministerio de Ciencia y Tecnología

Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba (SECYT-UNC)

MINARMCO S.A.  
 Aguas Cordobesas S.A.



## 10 años de Monitoreos continuos en el embalse Los Molinos

Desde octubre del año 1999 se realizan monitoreos en el embalse Los Molinos y sus tributarios, en el marco de diversos proyectos de investigación que llevan adelante actividades multidisciplinarias e interinstitucionales. La continuidad del estudio se logró a través de la actuación sinérgica entre el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCFyN) de la Universidad Nacional de Córdoba, la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Córdoba (ex DIPAS), el Ente Intercomunal Los Molinos; desde el año 1999 a la fecha. A partir del 2001 participa la empresa Aguas Cordobesas S.A., actual concesionaria y prestataria del abastecimiento de agua potable a la ciudad de Córdoba.

El embalse Los Molinos es un recurso esencial para la provincia de Córdoba que representa un gran atractivo turístico por su ubicación y por el número de actividades recreativas que en él se realizan. En la actualidad prevalece su utilización como fuente de agua potable para la población de la ciudad (aproximadamente 413.000 habitantes) de la zona sur.

Se encuentra ubicado a 65 km al sudoeste de la ciudad capital, entre los departamentos de Santa María y Calamuchita. Las localidades próximas a este embalse son: Villa Ciudad de América, Potrero de Garay, La Cumbrecita,

Los Reartes, Villa Ciudad Parque Los Reartes y los parajes Villa Alpina, Villa Berna, Atos Pampa y Villa La Merced.

Durante la década en estudio se preservaron los objetivos generales y específicos establecidos originalmente en el programa de monitoreo:

- Mejorar el conocimiento del estado de la calidad de agua del embalse.
- Realizar un diagnóstico de la situación ambiental del embalse con enfoque sistemático.
- Categorizar el cuerpo de agua en estudio, desde el punto de vista físico, teniendo en cuenta la hidrología, hidrodinámica general del embalse y la calidad de sus aguas y sedimentos.
- Identificar fuentes de nutrientes puntuales y difusas, para evaluar su incidencia en el proceso de eutroficación.
- Evaluar y analizar herramientas teórico-numéricas que sean de aplicación al embalse, para simular la dinámica de eutroficación, considerando los principales nutrientes (nitrógeno y fósforo).
- Formular criterios de resguardo para un desarrollo sustentable de la población que utilice los recursos hídricos en estudio.
- Contribuir a la planificación del manejo del embalse y de la cuenca.

### Programa de Monitoreo

Durante los años 1999-2000 los monitoreos se realizaron con frecuencia estacional y a partir del 2001 en forma mensual. Las campañas son programadas con el paso del satélite LANDSAT, lo que permite realizar mapeos de la distribución espacial de algunos parámetros de calidad.

En la Figura 1 se presenta la distribución de los sitios de muestreo (definidos originalmente):

- DLR: desembocadura de la confluencia de los ríos Del Medio y Los Reartes;
- DLE: desembocadura del río Los Espinillos;
- C: centro;
- P: presa y
- T: toma central hidroeléctrica.

En el año 2005, a partir de la optimización del diseño de monitoreo, se prescinde del punto de muestreo (T).

**El embalse Los Molinos es un recurso esencial para la provincia de Córdoba que representa un gran atractivo turístico por su ubicación y por el número de actividades recreativas que en él se realizan.**

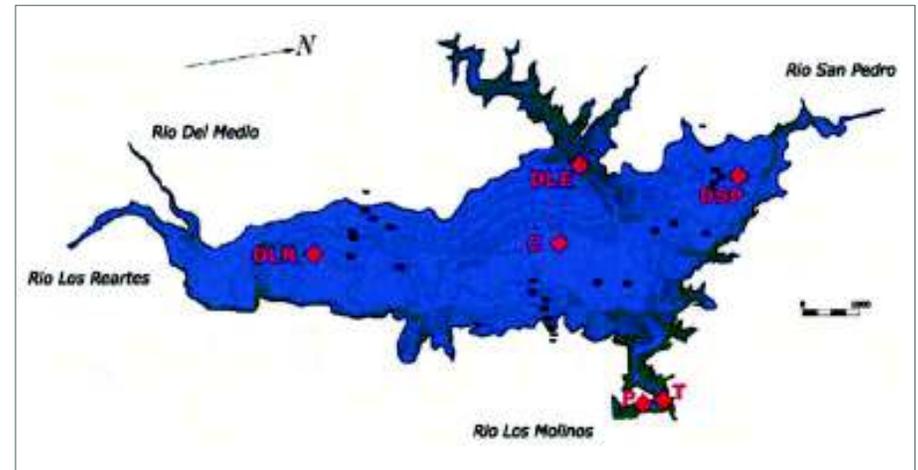


Figura 1. Distribución de sitios de muestreo.

El procedimiento incluye la extracción de muestras de agua en 3 ó 4 profundidades de la columna de agua según el comportamiento térmico del embalse.

En cada sitio de muestreo del embalse se mide *in situ* temperatura ambiente, profundidad de disco de Secchi, temperatura del agua, conductividad, turbiedad y oxígeno disuelto utilizando sondas multiparamétricas U-10, U-23 y W-22XD. Se toman muestras de agua para la determinación de parámetros físico-químicos y biológicos tales como nutrientes, iones mayoritarios, clorofila-a, fitoplancton, microcistinas, coliformes totales, coliformes termotolerantes y *E. coli*. En las muestras de sedimentos se analiza materia orgánica y fósforo total.

Se aforan los cuatro tributarios principales, con mediciones *in situ* de pH, conductividad, turbie-

dad y oxígeno disuelto utilizando sonda multiparamétrica U-10. Se toman muestras de agua para la determinación de iones mayoritarios y nutrientes. Los lineamientos para la metodología de toma de muestra y técnicas analíticas se toman de APHA, AWWA y WEF (2000) y de las normas internacionales ISO 5667/2 e ISO 5667/3.

### Resultados alcanzados

1. Se clasifica al embalse como un cuerpo de agua eutrófico, monomítico cálido, con mayor deterioro de su calidad en primavera-verano, con floraciones alternas de cianobacterias y *Ceratium hirundinella*. Las causas de esta alternancia podrían atribuirse a condiciones ambientales del fitoplancton (luz, temperatura, nutrientes y turbulencia) manifestándose el predominio de una sobre la otra por exclusión com-

petitiva. El deterioro de la calidad del agua se refleja en la disminución de la transparencia, anoxia hipolimnética, floraciones de algas y cianobacterias (potencialmente tóxicas), disminución del valor estético del espejo de agua (provocado por coloraciones intensas, natas y olores desagradables), eventual mortandad de peces, etc.

2. El predominio mensual de algas y cianobacterias se representa en la Figura 2. Se aprecia que en primavera y verano hubo dominancia de cianobacterias, en otoño dominaron o codominaron con las Pirrófitas y Crisófitas. Durante el invierno hubo predominio de Crisófitas. Clorófitas aparecen frecuentemente pero con escaso recuento.

La distribución de la comunidad fitoplanctónica del embalse muestra la sucesión propia de la-



gos productivos y con período de mezcla en la estación seca y estratificación térmica en la estación húmeda.

3. La concentración de microcistina total encontrada varió entre 7 y 736 µg/g de cianobacteria liofilizada. Estos valores son similares a los reportados en lagos y embalses de otros países como Canadá y Japón, y del mismo orden que los reportados para el embalse San Roque. No se observa correspondencia entre la concentración de cianotoxinas y abundancia de algas. Se detectan como sectores particularmente críticos la desembocadura de los Reartes y presa del embalse.

4. Índice de Carlson de la Clo-a mostró cambios en su estado trófico a lo largo del periodo en estudio, denotando condiciones que varían de mesotrofia a eutrofia (Figura 3).

5. Se realizó un modelo de distribución espacial de Clo-a que permite obtener el valor de Clo-a superficial en cualquier punto del embalse. Se utilizaron datos de imágenes satelitales LANDSAT, adquiridas durante el periodo 1999-2005 y valores de clorofila-a dentro del rango de 0-15 mg/L. En la Figura 4 se presenta un modelo correspondiente a la simulación de Clo-a para el día 18/08/00.

6. La carga externa de fósforo al embalse durante la década de estudio ha sido de aproximadamente 30 tn/año. La Figura 5 muestra que la carga de fósforo en el año 2002 ingresaba mayo-

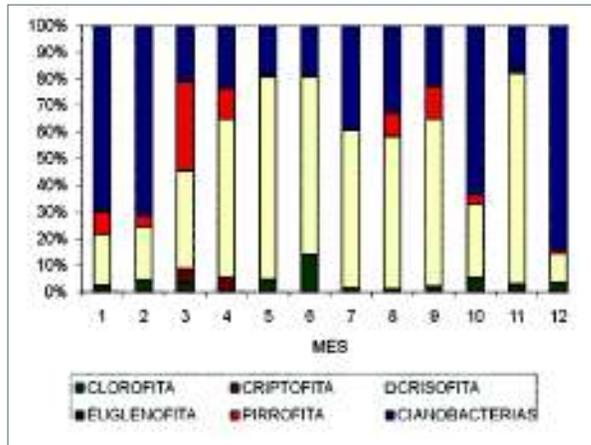


Figura 2: Sucesión mensual del fitoplancton en el embalse Los Molinos, periodo 2001-08.



Figura 3: Variación anual del Índice de Carlson de Clorofila-a.

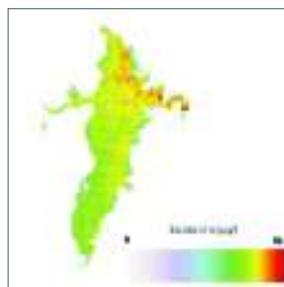


Figura 4. Clasificación de Clo-a sobre imagen satelital del 18/08/00. Rango [0-150 mg/L]

ritariamente por los ríos, siendo el mayor aporte del río los Espinillos, seguido por la descarga animal directa. En el año 2009 el mayor aporte proviene de las descargas cloacales directas seguido de las descargas animales.

7. Lo expresado en el punto 6 del presente artículo encuentra su justificación en los últimos resultados que muestran un cambio en el uso del suelo de agropecuario a urbanizado con una creciente oferta turística y recreacional en las localidades colindantes al embalse (Figura 6). No obstante, es común observar de 100 a 200 cabezas de ganado vacuno y equino en el perillago, dado que los animales utilizan al embalse como abrevadero.

8. Mediante análisis de resistencia a antibióticos se determinó el origen de la contaminación fecal para el periodo 2003-2005. Se comprobó que el 83 % de las cepas aisladas del agua respondieron a perfiles de resistencia a antibiótico que coincidieron con los registrados en las ceras de origen animal y el 17 % con cepas de origen humano. Si bien las concentraciones de coliformes termotolerantes no fueron elevadas (menores a 200 NMP/100 mL), las precipitaciones pluviales en algunos sitios de muestreo hicieron aumentar el número hasta 100 veces en relación a lo registrado durante las condiciones estables del sistema. Estos resultados llevaron a la recomendación de restringir el acceso de animales a la zona del perillago y líneas de ribera ya que las variaciones anuales de la cota del embalse,

dan lugar a áreas expuestas que se inundan y el fósforo y la materia fecal animal del perillago es una nueva fuente de aporte al cuerpo de agua.

9. Durante el primer año de monitoreo se analizó la composición de los sedimentos y la concentración de fósforo en los mismos, debido a su importancia como posible fuente interna de nutrientes

bajo condiciones de anoxia. Las concentraciones máximas de fósforo total registradas fueron de 1277 mg/g en la zona de la presa y de 777 mg/g en el centro del embalse. En la actualidad se realizan las mediciones de fósforo para determinar la evolución del sistema. Los resultados preliminares muestran un incremento de 45 % aproximadamente en la concentración del mismo.

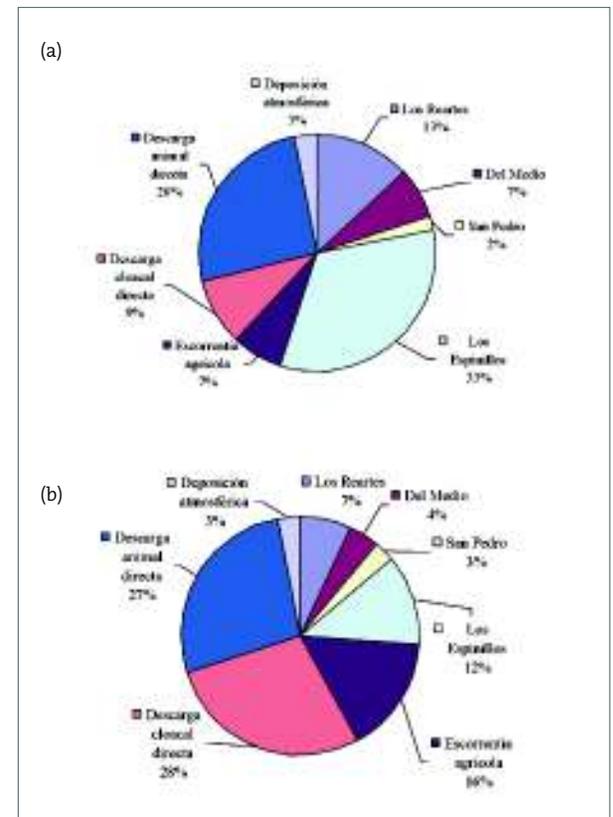


Figura 5: Carga de fósforo. (a) año 2002 y (b) año 2009.



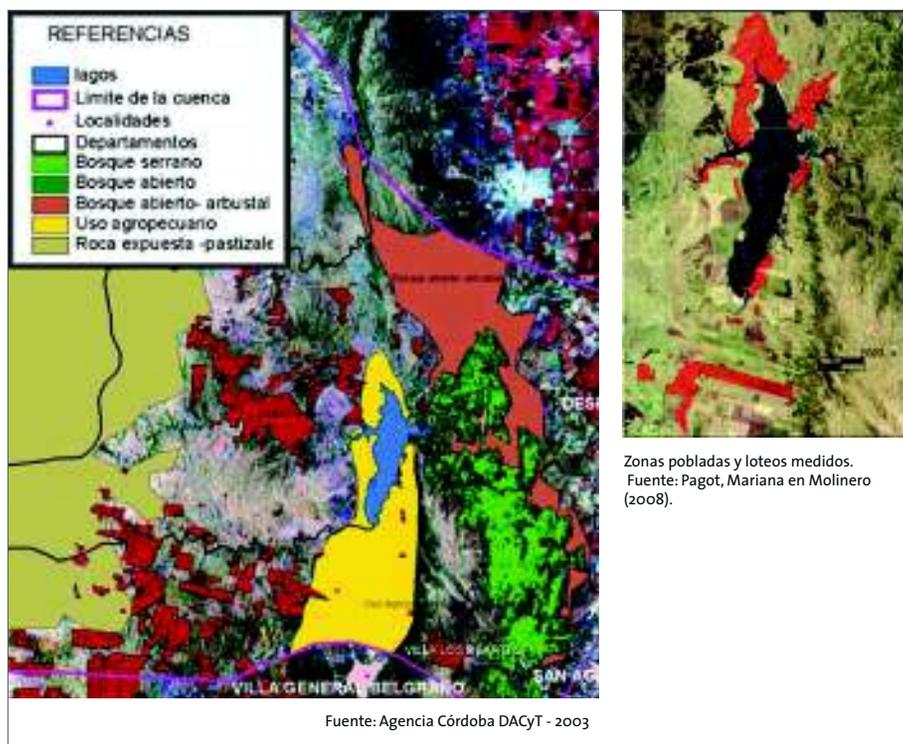


Figura 6. Uso del suelo en el área de influencia del Embalse Los Molinos.

10. Por último, en un estudio sobre el impacto del turismo en la cuenca del embalse se observó que desde el año 2001 a la fecha la población permanente se triplicó sin que exista un plan de ordenamiento territorial. Esto sería más grave aún si se considera que la población temporaria llegaría a triplicarse en época estival. Se observa entonces la necesidad de planificar los nuevos asentamientos urbanos en relación al uso de la tierra y factibilidad de agua y cloacas.

### Conclusiones

Este monitoreo se ha convertido en una herramienta fundamental para el Plan de Gestión de la cuenca Los Molinos. Los resultados obtenidos son el primer estudio a largo plazo que generó bases sólidas para una planificación adecuada de la gestión del recurso hídrico superficial.

El trabajo muestra la suma de esfuerzos de instituciones públicas, privadas y particulares que ha ofrecido el marco para el desarrollo de tareas académicas,

de investigación y el desarrollo de numerosas tesis de Maestría como consecuencia de la capacitación y formación del personal participante. Esta valiosa experiencia y articulación institucional alcanzada pueden trasladarse a otros cuerpos de agua importantes de la región que aún no han sido estudiados. §



Embalse Los Molinos

### Equipo de Trabajo

#### Responsables Técnicos período 1999-2001

Mgter. Ing. Ana Cossavella (DiPAS y FCEF y N)  
Dr. Andrés Rodríguez (FCEF y N)

#### Responsables Técnicos período 2002-2004

Mgter. Ing. Mariano Corral (FCEF y N)  
Mgter. Ing. Raquel Bazán (FCEF y N)

#### Responsables Técnicos período 2005-2009

Mgter. Ing. Nancy Larrosa (FCEF y N)  
Mgter. Ing. Raquel Bazán (FCEF y N)  
Mgter. Ing. Ana Cossavella (Subsecretaría Provincial de Recursos Hídricos, FCEfyN)

### Integrantes

Docentes y alumnos de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales  
Mgter. Ing. Mariana Pagot, Mgter. Ing. Claudia Oroná, Mgter. Susana del Olmo, Mgter. Ing. Gerardo Hillman, Mgter. Ing. Gonzalo Moya, Mgter. Ing. Edgar Castelló, Mgter. Ing. Cecilia Pozzi, Ing. Héctor Muratore, Mgter. Patricia Carranza, Biólogo. Mercedes Demmel, Ing. Fernando Cerminato,

Ing. Daniel Glatstein, Marcelo Baldissone, Pablo Turelli, Laura Primo, Fernando La Torre, Florencia Nadal, Camila Oviedo.

#### Docentes de la Facultad de Ciencias Químicas

Dr. Marcelo Avena  
Dra. Valeria Amé

#### Alumnos de la Universidad Politécnica de Valencia

Aina Molinero Rodríguez  
Adrián Langa Sánchez

#### Personal de la Subsecretaría de Recursos Hídricos (Ex. DiPAS)

Tec. Fernando Monarde, Ing. Patricia O' Mill, Ing. Gerardo Grisolia, Ing. Silvia Oviedo Zabala, Ing. Cecilia Negretti, Tec. Paolo Depiante, Tec. Ricardo Britos, Arminio Ludueña. Personal de Aguas Cordobesas S.A.: Biolg. Fanny Busso, Lic. Enzo Bonfanti, Lic. Estela Murad, Tec. Marcelo Rodríguez, Tec. Claudio Bustos, Tec. Gerardo Castro, Tec. Franco Ontivero, Ing. Juan Rojas, Tec. Alejandro Segovia.

#### Ente Intercomunal Los Molinos

Guillermo Ceballos, Enrique Tonón, Daniel López, Raúl Oliva y Renzo Urbano.

Instituto Nacional del Agua y Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires (UBA): Ariana Rossen.

#### Referencias Bibliográficas

APHA, AWWA, WEF. (2000). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th edition, Washington, D. C.

MOLINERO RODRIGUEZ, A. (2008). *Impacto del turismo en la cuenca del embalse Los Molinos, Córdoba, Argentina*. Trabajo final de carrera, Universidad de Valencia, Campus de Gand, España.



## Arsénico en las Aguas Subterráneas de la provincia de Córdoba

Magalí E. Carro-Pérez y Franco M. Francisca

La provincia de Córdoba es una de las regiones que presenta arsénico en forma natural en sus aguas subterráneas. Su presencia proviene de la disolución de la fracción de vidrio volcánico encontrada en los sedimentos loésicos de la llanura Pampeana.

A través de proyectos de investigación, trabajos finales de grado e investigaciones de postgrado se ha realizado una evaluación y relevamiento de la situación de los acuíferos de la provincia. Los trabajos llevados a cabo se encuentran relacionados con la distribución espacial y temporal de las concentraciones de arsénico en el agua subterránea, su correlación con otros elementos químicos y la evaluación de los límites aplicables para consumo humano.

### Metodología de estudio

Las fuentes de información utilizadas fueron: (a) Valores históricos de concentración de arsénico publicados por Obras Sanitarias de la Nación (OSN, 1942); (b) Información provista por la DiPAS correspondiente a pozos y análisis químicos realizados entre los años 1970 y 2006; (c) datos publicados por Nicolli *et al.* (1985) y (d) datos publicados por Cabrera *et al.* (2005). Con esta información se confeccionaron mapas de isoconcentración de arsénico en las aguas subterráneas, a escala regional y para distintos períodos de tiempo.

### Análisis desarrollados

#### 1. Distribución espacial y temporal del arsénico en las aguas subterráneas de la provincia de Córdoba.

La provincia de Córdoba puede dividirse en tres regiones hidrogeológicas denominadas: región de los Llanos Riojanos y Salinas Asociadas, región de las Sierras Pampeanas y sus Valles y región Chaco-Pampeana. Cada una de éstas pueden a su vez zonificarse en subregiones y/o cuencas hidrogeológicas. Los acuíferos encontrados a distintas profundidades, y que suelen ser de extensión regional, en muchos casos se comunican entre sí formando sistemas denominados multicapas. Tanto la permeabilidad del medio poroso como la calidad del agua subterránea varían lateralmente, acorde a la litología que atraviesan y las estructuras que las condicionan. Un detalle de estos mapas puede encontrarse en Francisca *et al.* (2006).

A partir de los mapas generados de isoconcentraciones se determinó la distribución espacial de las concentraciones y las áreas afectadas por el arsénico en cada una de las regiones estudiadas. Los resultados arrojaron que en una muy extensa área de la provincia es posible encontrar al menos un acuífero con concentraciones de As superiores a 0,01 mg/l. Las regiones hidrogeológicas denominadas Llanos

Riojanos y Salinas Asociadas y Sierras Pampeanas y sus Valles presentan concentraciones de As con valores que en general no superan los 0,06 mg/l. Además, en estas regiones la variabilidad en las concentraciones es poco significativa. La región Chaco-Pampeana ubicada en el este y sureste de la provincia de Córdoba presenta concentraciones muy altas de As en agua subterránea, que en general están muy por encima de los límites permitidos por las normativas internacionales (0,01 mg/l). Esta región presenta además una muy alta variabilidad espacial (horizontal y vertical) en las concentraciones de As (Figura 1).

#### 2. Correlación del As con otros elementos químicos

El flúor (F) y el vanadio (V) son dos elementos naturalmente encontrados en las aguas arsenicales y que en muchos casos se encuentran asociados a la presencia de As. A nivel regional, se observa que las concentraciones de vanadio y flúor aumentan junto con las del arsénico. Si bien las correlaciones fueron positivas en ambos casos, las mismas mostraron además una dispersión significativa, lo que implicaría que en algunos acuíferos es posible encontrar elevadas concentraciones de F y V y bajas concentraciones de As.

En relación al F, las mayores concentraciones se presentan en la región sur. En el caso del V, las mayores concentraciones se presentan en la región sur y centro de la provincia, con focos dispersos con mayores concentraciones puntuales. Se obtuvo una gran variabilidad espacial de las concentraciones de ambos elementos. Además, respecto de la distribución espacial y temporal, la variabilidad espacial es más significativa que la temporal (Carro Pérez *et al.* 2007a).

#### 3. Límites de concentración de As para consumo humano.

El As y sus compuestos son clasificados por la Agencia Internacional de Estudios del Cáncer (IARC) como Grupo I o cancerígenos para el ser humano. El nivel máximo de As en aguas para consumo humano sugerido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA) es un nivel de contaminante máximo (MCL) de As de 0,01 (mg/l) para el agua de bebida. Este MCL está basado en el arsénico total incluyendo formas orgánicas e inorgánicas. Este mismo valor fue adoptado para Argentina en el Código Alimentario Argentino (CAA) a partir del año 2007.

La información epidemiológica publicada por Hopenhayn-Rich *et al.* (1998) basada en valores de SMR (índice de mortalidad estandarizado) para cáncer de pulmón, hígado, piel y riñón, se correlacionó con la relación entre la concentración media del acuífero en cada departamento de la provincia normalizada res-

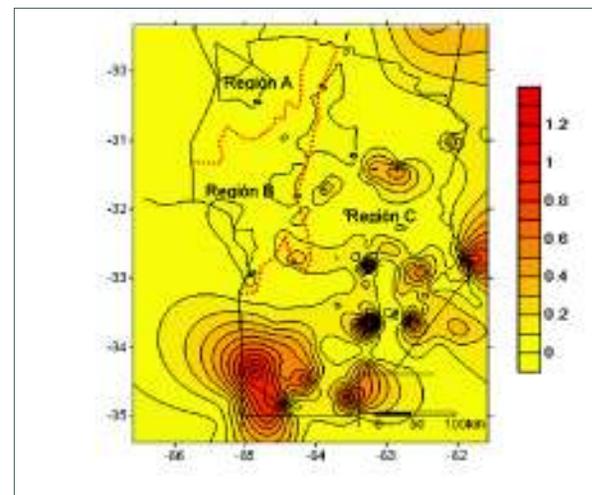


Figura 1: Distribución espacial de la variabilidad de las concentraciones de As entreacuíferos en la provincia de Córdoba (mg/l). Regiones Hidrogeológicas: (A) Llanos Riojanos y salinas (B) Sierras Pampeanas y sus valles (C) Chaco-Pampeana.

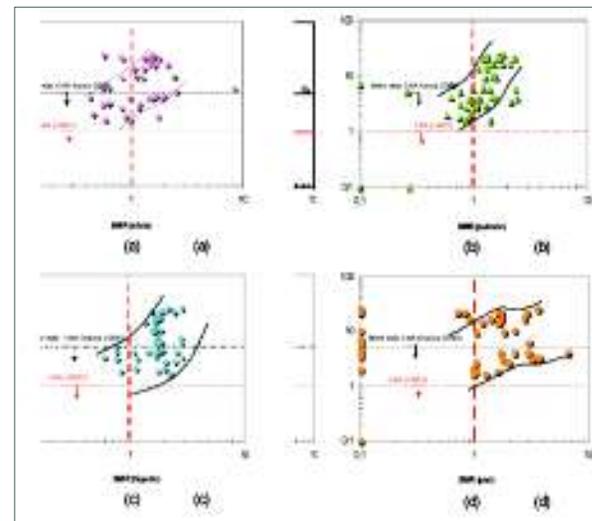


Figura 2: Relación entre la concentración normalizada de As y el SMR para cáncer de riñón (a), pulmón (b), hígado (c) y piel (d). Datos en mujeres y hombres para todos los departamentos de la provincia de Córdoba (Carro Pérez *et al.* 2007)



pecto de 0,01 mg/l (Figura 2). Los resultados muestran que existe una clara tendencia de que a mayores concentraciones de As en el agua subterránea se observan mayores casos de cáncer (cuando la misma es utilizada como agua de bebida) (Carro Pérez et al. 2007b).

La concentración máxima permisible recientemente adoptada por el CAA de 0,01 mg/l resulta en

un nivel altamente exigente. Con este nuevo límite recientemente adoptado, gran parte de los sistemas acuíferos no podrían ser aprovechados para el consumo, sin previos tratamientos o adopción de nuevos sistemas de remediación para las aguas arsenicales. Por otro lado, los límites aplicables para el agua de consumo deberían estar acordes a cada región, relacionados con condi-

ciones climatológicas, sanitarias, nutricionales, entre otras.

Con el propósito de poder adoptar como regulación un valor límite superior, no tan restrictivo como el establecido por el CAA y OMS, resulta necesario disponer de mayores registros epidemiológicos además de una mejor caracterización hidrogeoquímica para toda la región. §

#### Referencias Bibliográficas

CABRERA, A.; BLARASIN, M.; CABRERA, S.; MATTEODA, E.; GÓMEZ, M.L.; VILLALBA, G., HILDMAN, F.; BETTERA, A. (2005). *Arsénico y flúor en el acuífero freático en el sur de Córdoba: línea de base hidroquímica y problemática ambiental vinculada. Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento*, IV Congreso Hidrogeológico Argentino, Río Cuarto, Argentina, 41-52.

CARRO-PÉREZ, M.; CEBOLLADA-VERDAGUER, P.; FRANCISCA, F. M.; RODRÍGUEZ, A. (2007a). *Arsénico, vanadio y flúor en el agua subterránea de Córdoba*. XXI Congreso Nacional del Agua CONAGUA 2007, Tucumán, Argentina.

CARRO-PÉREZ, M.E. FRANCISCA F.; CEBOLLADA-VERDAGUER, M.P. (2007b). *Discusión de los límites de concentraciones de arsénico en las aguas subterráneas para la provincia de Córdoba*. V Congreso Argentino de Hidrogeología- II Taller sobre Arsénico en aguas. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

FRANCISCA, F.; CEBOLLADA-VERDAGUER, P.; CARRO-PÉREZ, M. (2006). *Distribución espacial del arsénico en las aguas subterráneas de la provincia de Córdoba*, Argentina. VIII Congreso de ALHSUD, Asunción, Paraguay.

Hopenhayn-Rich, C.; Biggs, M. L. y Smith, A. H. (1998). *Lung and kidney cancer mortality associated with arsenic in drinking water in Córdoba, Argentina*. International Journal of Epidemiology, 27, 561-569.

NICOLLU, H.B.; O'CONNOR, T.E.; SURIANO, J.M.; KOUKHARSKY, M.M.L.; GÓMEZ PERAL, M.A.; BERTINI, L.M., COHEN, I.M.; CORRADI, L.I., BALEAN, O.A.; ABRIL, E.G. (1985). *Geoquímica del arsénico y de otros oligoelementos en aguas subterráneas de la Llanura sudoriental de la provincia de Córdoba*. Miscelánea Nº 71, Academia Nacional de Ciencias. Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales, Córdoba, Argentina, 112 pp.

OSN. (1942). *El problema del agua potable en el interior del país*. Tomo II Análisis Químicos, Buenos Aires, Obras Sanitarias de la Nación, Ministerio de Obras Públicas, Argentina.

#### Grupo de Trabajo

##### Director

Dr. Ing. Franco Matías Francisca (CONICET-UNC)

##### Integrantes

Mgter. Ing. Magali E. Carro Pérez (Becaria CONICET)  
Geol. Pilar Cebolladas Verdaguer (DiPAS)

#### Patrocinantes de las Investigaciones

Las principales agentes de financiación de las investigaciones realizadas y en curso son:

CONICET

Agencia Córdoba Ciencia  
Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba (SECYT-UNC)

FONCYT

## Detección de contaminantes orgánicos en agua por microextracción en fase sólida, seguida de cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (SPME-GC-MS)

Ana Noemí Santiago\*

Desde la antigüedad el hombre ha generado un vínculo de dependencia con el agua y constituye un elemento primordial en su actividad diaria. Así se observó la necesidad de asentarse en zonas de fácil acceso a este recurso, tales como costas de ríos, lagos, etc. Estos primitivos asentamientos, hoy ciudades, generan un fuerte impacto sobre la calidad de los recursos hídricos de una región, provocando un deterioro de origen antropogénico.

Por otra parte, los usos que el hombre le ha dado al agua son innumerables ya que es utilizada como agua de bebida, en la preparación de alimentos, higiene, riego, procesos industriales, transporte, recreación, producción de energía, etc.

Así, el progreso y los avances logrados por el hombre han llevado a producir miles de productos químicos con diferentes finalidades que, en muchos casos, han contribuido a mejorar la calidad de vida pero que, por otro lado, son introducidos directa o indirectamente en el agua, causando serios problemas de contaminación. Dejando de lado los metales pesados, puede decirse que la contaminación con compuestos orgánicos (agroquímicos, derivados de hidrocarburos, etc.) es uno de los principales grupos de contaminantes de recursos hídricos, tanto por la variedad de

compuestos encontrados en cursos de agua, como por sus niveles de toxicidad y persistencia ambiental.

En los ríos, una parte de la contaminación con compuestos orgánicos procede de las escorrentías producidas por la lluvia en las tierras labradas. Estas escorrentías llevan consigo desechos animales, fertilizantes y pesticidas. En zonas urbanas, los agentes contaminantes provienen desde fosas sépticas hasta de estacionamientos de vehículos. La contaminación con compuestos orgánicos también puede proceder de fábricas, centrales eléctricas y plantas depuradoras que arrojan efluentes incorrectamente tratados al río.

Muchos de estos contaminantes orgánicos son compuestos xenobióticos (extraños a la biota), perdurables y recalcitrantes (matan a los microorganismos que podrían biodegradarlos). Estas características hacen que muchos compuestos xenobióticos se acumulen en recursos hídricos usados para la obtención de agua potable, recreación, etc. Por esta razón, los compuestos xenobióticos son los que presentan el principal interés en campañas de monitoreo y control ambiental, ya que son contaminantes cuya presencia en el agua representa un importante riesgo para la salud debido a sus características

**En los ríos una parte de la contaminación con compuestos orgánicos procede de las escorrentías producidas por la lluvia en las tierras labradas.**



tóxicas (para humanos o para la biota propia del recurso hídrico en estudio).

Diversos organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, entre otros, han establecido la necesidad de controlar la presencia de xenobióticos en agua. El Código Alimentario Argentino (CAA) ha tomado algunas de las recomendaciones de estos organismos internacionales, e incorporado la exigencia de un estricto control sobre algunas familias de compuestos orgánicos como ser: compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y pesticidas (organoclorados y organofosforados).

La Asociación de Químicos Analíticos Oficiales de U.S.A. (AOAC), y la Asociación Norteamericana para la Salud Pública (APHA), citan una serie de métodos validados para la determinación de contaminantes orgánicos en agua. Algunos compuestos presentes en una muestra por cromatografía gaseosa (GC), seguida de distintas formas de detección según las características del compuesto que se desea determinar.

Para poder realizar un estudio sobre presencia de tóxicos orgánicos en agua por GC se requiere de varios pasos previos (etapa pre-analítica). Entre las distintas etapas pre-analíticas podemos citar la toma de muestra, su preservación hasta llegar al laboratorio, la limpieza (clean-up) de la muestra, que conlleva la extracción de los compuestos de interés para su posterior análisis. Tanto la limpieza, como la extracción de

los compuestos van a depender de la matriz en estudio (agua, sedimento, biota, etc.) y del tipo de compuesto a analizar (VOCs, organoclorados, etc.). Puede decirse que mientras mayor cantidad de fases presente una muestra, mayor será la dificultad para su preparación. Una vez concretada la limpieza y extracción se procede con el análisis propiamente dicho. En este último paso se procede a identificar la presencia de los contaminantes (análisis cualitativo) y a establecer su concentración en la muestra en estudio (análisis cuantitativo). Cada uno de estos pasos es crítico para obtener resultados exactos y precisos que sirvan para preservar la salud de la población y del ambiente.

El paso de limpieza y extracción es de vital importancia para aislar el compuesto que buscamos desde la matriz de la muestra. En este paso se purifican y concentran los compuestos presentes que serán objeto de análisis posterior.

En la actualidad existen varios métodos de limpieza y extracción, los más ampliamente utilizados son: extracción líquido-líquido (LLE), purga y trampa (purge-and-trap) y, más recientemente, extracción en fase sólida (SPE). Los métodos clásicos de preparación de muestra como LLE, utilizan procedimientos con varios pasos, que a menudo resultan en la pérdida del compuesto que se quiere analizar, en especial cuando éste se encuentra a niveles de traza (muy baja concentración). Además los métodos LLE requieren del uso de solventes orgánicos (éter, cloroformo,

tolueno, etc.) con lo que se aumenta el riesgo de producir contaminación como resultado del proceso de análisis.

Esto trajo como consecuencia la aplicación de una nueva alternativa analítica, que permite el análisis de contaminantes orgánicos mediante un método más simple, eficiente y de bajo costo, que adicionalmente permite lograr resultados rápidos y satisfactorios en el monitoreo ambiental. Esta nueva alternativa fue desarrollada a partir de la década de los 90', se denomina Micro-Extracción en Fase Sólida (SPME) y plantea, una alternativa a otros métodos tradicionales para extracción y concentración, como son la SPE o la LLE.

SPME utiliza una fibra de sílice, recubierta por un material absorbente, que es introducida en la muestra a analizar (muestras líquidas), o colocada por sobre ella en un recipiente cerrado (muestras líquidas o sólidas). La muestra en condiciones adecuadas se coloca en un vial de vidrio y se sella con un septum (tapón de silicona), posteriormente la fibra es liberada en el interior del vial en suspensión en el espacio de cabeza (HS-SPME), o en inmersión (IN-SPME). De esta forma la fibra absorbe los analitos a analizar y luego se transfiere rápidamente al inyector del cromatógrafo donde la temperatura del inyector permite la desorción de los analitos. Esta metodología consta de dos procesos: la partición del analito entre la fase estacionaria selectiva que recubre la fibra y la muestra; y su posterior desorción en un instrumento analítico (GC), para proceder a su

separación y cuantificación. Esta técnica, presenta las ventajas de eliminar totalmente el uso de solventes, es simple, de bajo costo, eficiente, razonablemente selectiva y compatible con un amplio rango de métodos de separación.

De este modo en dos pasos relativamente sencillos se procede con la limpieza, extracción y análisis de la muestra sin necesidad de usar solventes u otros compuestos potencialmente tóxicos para el ser humano o el ambiente. A su vez, SPME es capaz de extraer y concentrar simultáneamente los componentes en estudio, con lo que se consigue una preconcentración *in situ* previa al análisis, lo que permite detectar compuestos presentes aún en muy bajas concentraciones (típicamente menos de 1µg/L o 1µg/Kg. del tóxico).

Varios son los parámetros necesarios de optimizar cuando se desarrolla un método basado en SPME. Sin embargo, una vez optimizado el método permite un análisis sencillo y rápido de la muestra. Así es necesario por ejemplo tener en cuenta el volumen de muestra (en especial para IN-SPME) y el volumen de espacio en cabeza (para HS-SPME). Se conoce que una disminución del volumen de espacio en cabeza produce un aumento en la sensibilidad del método por un efecto de concentración al disminuir el volumen de fase gaseosa en donde difunden los analitos. Otro de los parámetros necesarios de optimizar es el pH de la muestra. Según se ha observado especies cargadas no serán extraídas por la fibra de SPME ya que tendrán mayor afinidad por

el medio acuoso. De modo que debemos asegurar que las especies a analizar puedan ser adecuadamente extraídas por la fibra. Dentro de los parámetros a tener en cuenta es importante la temperatura de extracción porque contribuye de diferentes formas en el proceso de SPME. Por un lado, los coeficientes de difusión de los analitos en la muestra aumentan al incrementar la temperatura, por lo que aumenta la cantidad de analito extraído. En HS-SPME, al aumentar la temperatura aumenta la velocidad de transferencia de los analitos a la fase vapor en el espacio de cabeza, por lo que la extracción es también más eficiente. Sin embargo en IN-SPME ocurre lo contrario ya que a menor temperatura los analitos se encuentran preferentemente en la fase líquida. Por otro lado, un aumento de la temperatura disminuye los coeficientes de partición del analito entre la muestra y el recubrimiento de la fibra por lo que la eficacia de la extracción se ve afectada negativamente. Otro de los parámetros a tener en cuenta es el tiempo de extracción ya que se debe determinar el tiempo necesario para llegar al estado de equilibrio que es característico de cada dupla analito-fibra. Según se conoce, el tiempo de equilibrio es aquél a partir del cual la cantidad de analito extraída se mantiene constante. Para algunos compuestos el tiempo necesario para llegar a esta situación es muy elevado por lo que generalmente se opta por trabajar en condiciones de no equilibrio.

Así, en los últimos años, las fibras de SPME han demostra-

**Diversos organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, entre otros, han establecido la necesidad de controlar la presencia de xenobióticos en el agua.**



do ser una técnica rápida y poco costosa para la cuantificación y monitoreo de compuestos volátiles y semi-volátiles en agua, sedimento, aire etc. La técnica SPME puede ser fácilmente automatizada y no requieren de modificaciones costosas en los cromatógrafos gaseosos y, al eliminar el uso de solventes orgánicos durante el pre-tratamiento, permite visualizar la presencia de estos solventes en muestras ambientales (que de otro modo pueden ser enmascarados por el pre-tratamiento). Cuando la cromatografía gaseosa se acopla con detectores de masas (GC-MS), se consigue la separación de los compuestos presentes en una muestra y también la determinación o verificación de la estructura química de cada uno de ellos. Cuando desconocemos qué compuestos pueden estar presentes en una muestra, podemos realizar un "barrido" (screening). Para ello, primero se extraen los compuestos de la matriz por SPME, separándolos por cromatografía gaseosa, e identificándolos por espectrometría de masas (SPME-GC-MS). Una vez determinado el patrón de compuestos presentes en la muestra, se procede a determinar en qué cantidad se encuentra cada uno (cuantificación). Los detectores de masas comunes pueden ser de cuadrupolos o de trampa de iones, siendo este último el indicado para el análisis de trazas.

En el ámbito de la Universidad Nacional de Córdoba se pueden realizar estos análisis, en el ISIDSA (Instituto Superior de Investigación, Desarrollo y Servicios en Alimentos), ya que posee un cro-

matógrafo de gases Varian 3800, acoplado a un detector de masas de trampa de iones tipo Varian 2000, muy sensible para permitir el análisis de diferentes componentes orgánicos a nivel de trazas en muestras de agua, sedimento, biota (tejidos animales, vegetales, etc.). Además, este equipo permite la identificación de componentes desconocidos de una muestra mediante comparación de los respectivos espectros de masas con bibliotecas de compuestos NIST107 y NIST21. El equipo permite trabajar en dos modos diferentes de adquisición de datos. El modo "Full Scan" (FS) para búsqueda e identificación de compuestos desconocidos en una muestra, y otro modo de Monitoreo de un Ion Seleccionado (SIM) que permite mejorar la sensibilidad en análisis de contaminantes conocidos que puedan estar presentes en una muestra. La elección de un método u otro va a depender de las características del estudio que se esté realizando.

Como corolario, podemos decir que el uso de SPME-GC-MS permitió mejorar el monitoreo de contaminantes xenobióticos en agua y sedimento, disminuyendo los tiempos y costos de análisis, aumentando la versatilidad para detectar nuevos contaminantes, y reduciendo los límites de detección y cuantificación en comparación con otros métodos convencionales. Al no utilizar solventes de extracción, este método también contribuye a la mejora del ambiente laboral, reduciendo el nivel de desechos tóxicos generados por laboratorios de análisis. §

#### Referencias Bibliográficas

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1995). *Official Methods of Analysis of the AOAC*. 16th Ed.
- APHA (American Public Health Association). (1995). *Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater*. (USA) 19th Ed.
- ARTHUR, C.; PAWLISZYN, J. (1990). *ANAL CHEM*, 62, 2145. PAWLISZYN, J. (1999). *Applications of Solid phase microextraction, theory and practice*. Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- HUYBRECHTS, T.; DEWULF, J.; VAN LANGENHOVE H.. (2004). *WATER RES.* 38, 3241.
- SIMOES, N.G.; CARDOSO, V.V.; FERREIRA, E.; BENOUEI, M.J.; ALMEIDA, C.M.M. (2007). *Chemosphere*, 68, 501.

**\*Ana Noemí Santiago**  
Docente e investigadora de la Facultad de Ciencias Químicas de la UNC. Se desempeña en el Departamento de Química Orgánica de la mencionada Facultad y en el Instituto de Investigaciones en Físico Química de Córdoba (INFIQC-CONICET).

## La importancia de los factores hidráulicos en el diseño de puentes sobre cursos de agua

Héctor Daniel Farías\*

El diseño de puentes que atraviesan cursos de agua exige la consideración adecuada y detallada de los denominados "factores hidráulicos", ya que éstos son las principales causas de los problemas operativos y en ocasiones de fallas o averías en estas estructuras. De acuerdo a reseñas estadísticas mundiales, aproximadamente entre un 68% y 82% de los problemas relacionados con la operación de puentes sobre ríos están vinculados a factores asociados al escurrimiento de las aguas y a los procesos de erosión y sedimentación asociados.

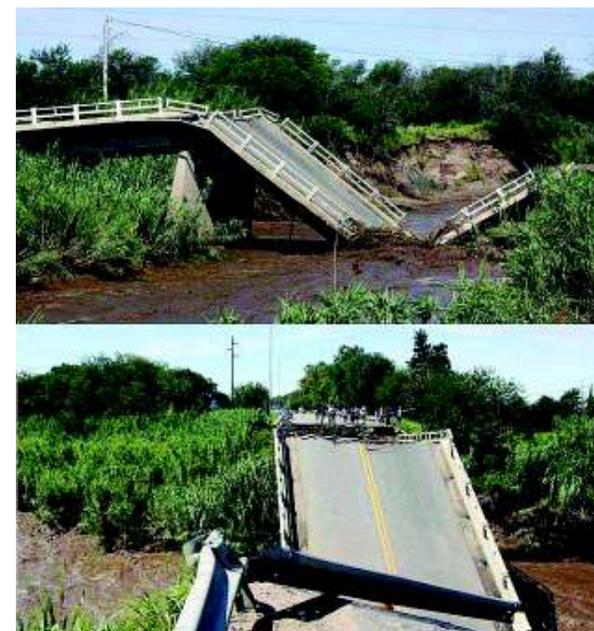
Por lo tanto, podría afirmarse que en tres de cada cuatro casos los problemas observados en puentes guarda relación con los factores hidráulicos.

#### Los factores hidráulicos

Durante mucho tiempo los criterios hidráulicos para la definición de la sección de emplazamiento de un puente se basaron en la selección de un tramo casi-rectilíneo del cauce, con taludes laterales y pendientes longitudinales razonablemente estables (e.g., Richardson *et al.*, 1975; Farraday y Charlton, 1983; Franceschi, 1984). Si bien es cierto que esos criterios siguen siendo válidos, actualmente las políticas se han modificado en función de diferentes factores, entre los que se pueden enumerar: el aumento de la presencia del esvía en los cruces, el

aumento del ancho del tablero, la altura libre y por lo tanto un aumento en el costo, lo que induce a buscar los cruces más cortos. Otro factor importante es la demanda pública de vías de flujo de transporte rápido a toda hora, lo que implica aumentar los periodos de retorno de las crecidas de diseño para limitar el sobrepaso de las aguas por el puente.

*El éxito de la inversión realizada en la construcción de puentes depende de un buen diseño hidráulico y del seguimiento de la misma a través del tiempo.*  
(Melville y Coleman, 2000; May *et al.*, 2000)



Das vistas de un puente destruido (Enero 2010) sobre la Ruta Nacional 9, entre Sinsacate y Jesús María, correspondiente al Río Jesús María. Apparently, the failure was produced as a consequence of the local subsidence that affected the central pier of the bridge, with the consequent sinking of its foundation.



Colapso de un puente sobre la Ruta Nacional N° 11 en el cruce con el Arroyo Colastiné (marzo 2007). Las escasas dimensiones del puente hicieron que se produzca un rebasamiento del flujo sobre la estructura del puente, generando una falla generalizada del mismo ante el empuje hidrodinámico y los procesos de erosión general y local.

En la práctica, estos cambios de criterios se ven plasmados en una suerte de “invasión” por parte de la estructura dentro de los cursos de agua. Los terraplenes de aproximación a un puente se construyen en la planicie de inundación, estando expuestos a la acción erosiva del agua. Esta interacción marca la necesidad de considerar al comienzo del proyecto de un puente los factores hidráulicos.

Si en una etapa preliminar el ingeniero en puentes puede analizar los efectos de las crecidas sobre el puente en términos de profundidad de socavación, niveles de agua, de hielo, transporte de sedimentos, etc., su proyecto ejecutivo será más seguro y permitirá un funcionamiento óptimo de la vía.

El conjunto de operaciones y trabajos necesarios para que una obra se mantenga con las características funcionales, resistentes

e incluso estéticas con las que fue proyectada y construida, se puede dividir en tres fases: Inspección, Evaluación y Mantenimiento.

Al ser un puente parte fundamental en el desarrollo socioeconómico de una región, su funcionamiento eficiente y sostenido en el tiempo es tan importante como el éxito de su diseño y ejecución. De lo anterior se deduce que el éxito de la inversión realizada en la construcción de puentes depende de un buen diseño hidráulico y del seguimiento de la misma a través del tiempo (Melville y Coleman, 2000; May et al., 2002).

Numerosos puentes del territorio nacional presentan daños importantes, como consecuencia de la acción antrópica, por ejemplo, la extracción en exceso de material granular (arena y grava) aguas arriba de un puente, acciones propias de la naturaleza (con-

**Numerosos puentes del territorio nacional presentan daños importantes, como consecuencia de la acción antrópica.**

templadas o no en el Proyecto) como es el caso de crecidas con recurrencias superiores a las previstas, detalles que tienen que ver con la concepción del proyecto (diferencias entre el diseño original y el construido) como es el caso de crecimiento de las cargas dinámicas, del parque automotor, vicios en la construcción, etc. A ello se suma la falta de conservación que, en muchos casos, se debe a la escasez de recursos o carencia de cultura de mantenimiento, entre otros.

Los factores “hidráulicos” contemplan varios aspectos: 1) Hidrológicos; 2) Geomorfológicos; 3) Geotécnicos; 4) Hidrodinámicos. La “vulnerabilidad hidráulica” de un puente resulta de una combinación de cada una de las cuatro categorías previamente enunciadas, y se define como la susceptibilidad del mismo a sufrir daños en su estructura como resultado de los procesos fluviales de erosión (en sus distintas formas) y, en menor medida, la posibilidad de ser desbordado por el flujo, lo cual también induciría daños en su estructura. Otro aspecto a tener en cuenta, es la posibilidad de que la estructura pueda sufrir daños ocasionados por el impacto de cuerpos flotantes arrastrados por la corriente (por ejemplo, troncos, grandes bloques o, eventualmente, embarcaciones, en el caso de ríos navegables).

Los procesos de erosión en un cauce fluvial, en relación a los problemas que afectan a los puentes, pueden clasificarse en los siguientes tipos: 1) Erosión General; 2) Erosión Transversal; 3) Erosión por Contracción; 4) Erosión Local.

**Geomorfológicos / Hidrológicos**

Características de la Cuenca	Precipitación
	Características Físicas: topografía, pendiente, tamaño, forma.
	Vegetación
	Suelos: tipo, erodabilidad
Características del Curso Fluvial	Valle Fluvial
	Cauce: variabilidad del ancho a nivel de desborde, extensión de la planicie inundable, forma de la sección transversal, pendiente del cauce, grado de incisión.
	Controles Hidráulicos
	Forma en Planta: recto, sinuoso, trenzado, etc.
	Contornos del cauce: material de márgenes, estabilidad de márgenes, cobertura vegetal.

**Transporte del Flujo en Crecidas**

Frecuencia de Caudales	Función de distribución de probabilidades
Hidrograma	Forma
	Caudal Pico
	Duración (tiempo base)
Velocidad del Flujo	Media
	Distribución Lateral
	Corrientes secundarias
Profundidad del Flujo	Tirante en el cauce principal
	Distribución Lateral
Transporte de Sedimentos	Tasa de transporte de sedimentos
	Magnitud de las formas de fondo (rizos, dunas, antidunas, etc.)
	Moadilidad del transporte sólido: carga de lecho, suspensión, total.
Conducción de materiales flotantes	Presencia de árboles, troncos, ramas, vegetación acuática, residuos, etc.



Geometría del Puente	
Apertura del Puente	Grado de contracción
	Sumergencia de la super-estructura
Pilares del Puente	Tipo
	Posición respecto al flujo dominante
	Forma
	Tamaño, longitud, ancho
	Alineamiento
Estribos del Puente	Tipo
	Posición respecto al flujo dominante
	Forma
	Tamaño, longitud
Ubicación planimétrica del Puente	Alineamiento
	Posición respecto a meandros, islas, etc.
Medidas de protección contra la erosión	Revestimientos, retardos, espigones, encauzamientos, terraplenes, traviesas, etc.

### Diseño hidráulico de puentes

Los parámetros de diseño que se obtienen directamente a partir de la consideración de los factores hidráulicos son: a) Luz del Puente, b) Altura de las super-estructura en relación al lecho fluvial, c) Profundidades de fundación; d) Geometría (forma y dimensiones) de pilas, estribos y otros elementos estructurales, e) Dispositivos de control de erosión. Existen otros elementos secundarios.

En las tablas siguientes se presenta una síntesis de los factores hidráulicos en puentes y su interrelación con los elementos de diseño.

En cuanto a las herramientas tecnológicas para evaluar cuantitativamente cada uno de los factores, generalmente se aplican estrategias metodológicas basadas en la utilización combinada de modelos matemáticos, experimentos en laboratorio y observaciones en prototipo.

En Argentina se está empujando a tomar conciencia de la importancia de este tema a través de proyectos de investigación financiados por los organismos nacionales (e.g. ANPCyT) y a través de programas puestos en marcha a nivel nacional, tales como el SIGMA-P encarado por la Dirección Nacional de Vialidad.

Sedimento del Lecho Fluvial	
Tamaño	Valores del d50 (gravas, arenas, limos, etc.)
Distribución Granulométrica	Desviación estándar, moda, uniformidad, dispersión, ...
Propiedades Mecánicas	Cohesión, ángulo de fricción interna, etc.
Estratificación vertical	Presencia de capas de diferente resistencia.
Distribución Areal	Presencia de barras, barcos, islas, ...
Lecho de Roca	Profundidad, erodabilidad.

### Conclusiones y recomendaciones

En general, casi tres cuartas partes de la problemática vinculada con la falla o avería de puentes emplazados sobre cursos fluviales tiene alguna relación con los denominados “factores hidráulicos”.

Éstos se refieren fundamentalmente a los procesos erosivos inducidos por el flujo de crecidas e incluyen en rigor a una serie de aspectos enmarcados en cuatro jerarquías fundamentales: Hidrológicos, Geomorfológicos, Geotécnicos e Hidráulicos propiamente dichos, que son interdependientes entre sí.

Resulta necesario “cambiar la cultura” del diseño de puentes, admitiendo la importancia de los aspectos hidráulicos como factores tan o más relevantes

que los estructurales, geotécnicos y viales.

Las dimensiones fundamentales de los puentes sobre ríos (luzes, alturas y profundidades de fundaciones) dependen esencialmente de los factores hidráulicos.

Se recomienda llevar a cabo acciones tendientes a “instaurar” la “cultura de la importancia de los aspectos hidráulicos” en la práctica ingenieril relativa al diseño y conservación de puentes sobre ríos. Es imprescindible continuar con los estudios e investigaciones tendientes a mejorar el conocimiento de la “Hidráulica de Puentes” e incentivar a los organismos competentes (por ejemplo, la DNV en Argentina) a constituirse en receptores de los productos de investigación y desarrollo en esta especialidad. §

\* Ing. Héctor Daniel Farias. Director del Instituto de Recursos Hídricos de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, Secretario del Comité Regional Latinoamericano de la International Association of Hydraulic Engineering and Research.

### Referencias Bibliográficas

BREUSER, H.N.C. y RAUDKIVI, A.J. (1991). *Scouring. Hydraulic Structures Design Manual (IAHR)*. A.A.Balkema, Rotterdam, The Netherlands.

FARRADAY, R.V. y CHARLTON, F.G. (1983). *Hydraulic Factors in Bridge Design*. Hydraulics Research Station Limited, Wallingford, Oxfordshire, England.

FRANCESCO, L.E. (1984). *Drenaje Vial*. Ed. Fundación J. J. Aguerrevere, Fondo Editorial del Colegio de Ingenieros de Venezuela, Caracas, Venezuela.

MAY, R., ACKERS, J., KIRBY, A. (2002). *Manual on scour at bridges and other hydraulic structures*. CIRIA Publication C551, Construction Industry Research and Information Association, London, U.K.

MELVILLE, B.W. y COLEMAN, S.E. (2000). *Bridge Scour*. Water Resources Publications LLC, Littleton, Colorado, USA.

NEILL, C. R. (Editor) (1975). *Guide to Bridge Hydraulics. Project Committee on Bridge Hydraulics of RTAC*. University of Toronto Press, Toronto, Canada.

RICHARDSON, E.V., SIMONS, D.B., KARAKI, S., STEVENS, M.A., and MAHMOOD, K. (1975). *Highways in the River Environment-Hydraulic and Environmental Design Considerations*.

U.S. (Department of Transportation). (1993). *Evaluating Scour a Bridges*. Hydraulic Engineering Circular N° 18, report FHWA-IP-90-017, Federal Highway Administration. Washington, DC, US A.

RICHARDSON, E.V., SIMONS D.B., and LAGASSE, P.F. (2001) *River Engineering for Highway Encroachments Highways in the River Environment*. Federal Highway Administration, Hydraulic Design, Series N° 6, Washington, D.C., USA.

RICHARDSON, E.V. y BRIAUD, J.L. (2001). *United States Practice for Bridge Scour Analysis. XV International Conference on Soil Mechanics and Geotech Engineering, ISSMGE*, Istanbul, Turkey.

U.S. (Department of Transportation) (1993)...



## Sistemas de Radar Meteorológico

Giorgio M. Caranti\*

### I. Introducción

El radar meteorológico se ha convertido en una herramienta imprescindible para meteorólogos e hidrólogos. Su concepción es simple: iluminar una región del espacio con radiación electromagnética y analizar la radiación que vuelve para interpretar qué hay en esa región. No es muy distinto a lo que hace un caminante nocturno al iluminar su camino con una linterna. Sin embargo, en el caso de los radares más comunes la comparación más apropiada sería la de iluminar el camino con una luz estroboscópica, es decir, con una luz intermitente.

Para cada aplicación del radar se necesita tomar diversas decisiones, tales como cuál será la frecuencia de la iluminación más adecuada al objeto que se pretende observar y, también, conocer la posición y velocidad del objeto, o sólo uno de estos parámetros. No existe un único radar, sino más bien un radar para cada aplicación. Nos detendremos en la clase de radar llamado meteorológico, y algunos de sus tipos. También analizaremos lo que ellos miden.

### A. Radar de onda continua

Históricamente se pueden encontrar radares meteorológicos de los más variados diseños. Por ejemplo, los radares de onda continua y frecuencia modulada. Estos radares emiten una señal cuya frecuencia varía en el tiempo linealmente entre dos valores, como una función tipo diente de

sierra, de modo que sin tener que interrumpir la emisión y, según la frecuencia que retorna respecto a la del comienzo del diente de sierra, se sabe dónde está el objeto iluminado, normalmente llamado el blanco. La intensidad de la señal que retorna da información de la reflectividad del mismo. Por supuesto, el rango de variación de la frecuencia es limitado para no causar interferencias a los sistemas de comunicación. Para este radar, si la frecuencia varía entre  $f_1$  y  $f_2$  en un tiempo de barrido  $t_b$  la distancia  $R$  al blanco se calcula como

$$R = \frac{c}{2} \frac{f_2 - f_1}{f_2 - f_1} t_b,$$

donde  $c$  es la velocidad de la luz y  $f_R$  es la frecuencia del eco. La división por 2 se debe a que hay que contar la ida y la vuelta. Este tipo de radar si bien tiene algunas ventajas, como el utilizar menor potencia, no se ha generalizado al uso meteorológico más allá de la fase de investigación.

### B. Radar pulsado

La otra gran división de los tipos de radar es el radar pulsado. Este tipo de radar utiliza una sucesión de pulsos temporalmente cortos y angularmente angostos de gran potencia para iluminar la región a estudiar. Si la duración del pulso es  $\tau$ , la extensión radial de la región iluminada es  $c\tau/2$  y por lo tanto el volumen iluminado será esa distancia por  $R^2 \Delta\Omega$  siendo  $\Delta\Omega$  el ángulo sólido del haz electromagnético y  $R$  la dis-

tancia al objeto deducida a partir del tiempo de retardo  $t_r$  entre la emisión y la recepción como

$$R = \frac{1}{2} c t_r.$$

Claramente, las coordenadas naturales del radar son las esféricas,  $R$  es una de ellas, las otras dos son el azimut y la elevación, mientras que el origen de coordenadas está en la antena. Una antena de un radar meteorológico típico emite un haz cónico de alrededor de un grado de ancho angular, de manera que el sistema de motores de la antena debe ser capaz de apuntar a la región de interés con una precisión bastante mejor a ese ancho. Por lo tanto, la posición angular la dan los codificadores de ángulo de la antena y la radial el tiempo de ida y vuelta. Mas abajo se verá que la intensidad del haz no es uniforme dentro del cono con el máximo en el centro y se hace más débil a los lados, tal como en el ejemplo de la linterna del caminante.

El radar pulsado adolece del problema de presentar alias, es decir, puede estar recibiendo simultáneamente ecos de dos pulsos emitidos sucesivos, de dos regiones alejadas entre sí a lo largo de la línea de visión. La distancia máxima no ambigua,  $R_{\max}$ , tiene entonces que ver con la frecuencia de repetición de pulsos (PRF)

$$R_{\max} = \frac{1}{2} \frac{c}{PRF}$$

Si se emiten, por ejemplo, 500 pulsos por segundo, la distancia no ambigua será 300 km. y por lo

tanto un objeto a 350 km. parecerá estar a 50 km. Este defecto del radar pulsado se puede corregir si los pulsos sucesivos se “marcan” de alguna manera para distinguirlos a su regreso. Es decir, sólo mediante una codificación adecuada de los pulsos se puede distinguir a qué pulso pertenece la señal que vuelve en un determinado instante, pudiéndose extender notablemente el rango de observación no ambiguo. En los radares modernos la señal se digitaliza, es decir, no se almacena una variable continua sino una discreta. Esto se consigue tomando muestras de la señal a intervalos regulares iguales a  $\tau$ , así se divide cada haz de radar en “compuertas de rango” sucesivas. Es decir, la señal se divide en un valor por cada volumen iluminado contiguo, muestra que luego de convertirla en un número binario se almacena en computadora. Siguiendo con el ejemplo, si  $\tau = 1 \mu s$  habría 2000 muestras por pulso correspondientes a “compuertas” separadas 150 m. cada una dando los 300 km.

### C. La reflectividad

La propiedad física del objeto que refleja o reemite, que se intenta medir con el radar, se llama “reflectividad”  $Z$  y está relacionada a la potencia recibida

$$Z = \frac{2^{10} \ln(2) c^4}{\pi^3 |R|^2} \frac{1}{f P_r \tau} \frac{L_{\text{ant}}}{G_r} \frac{1}{G^2 \Delta\Omega} R^2 L_w^2 P_t$$

donde se han separado las contribuciones de constantes, del

transmisor, del receptor y de la antena.  $f$  es la frecuencia usada,  $P_t$  la potencia transmitida,  $G$  la ganancia de la antena supuesta, la misma para transmisión que para recepción, y  $G_r$  la ganancia del receptor total.  $L_w(R)$  es la inevitable pérdida atmosférica, tomada sólo para el viaje de ida. El ángulo sólido de haz emitido se mide respecto de los 3dB del máximo y para esta expresión se supuso una dependencia angular de tipo Gaussiana para la intensidad del haz. En esta fórmula se toma el módulo de  $K$ , ya que se trata de un número complejo que depende de la constante dieléctrica del material que refleja  $\epsilon = \epsilon' - i\epsilon''$  con  $\epsilon'$  y  $\epsilon''$  las partes real e imaginaria de  $\epsilon$ .  $|K|$  es también función de la frecuencia, pero para la región de microondas toma valores de 0.93 para agua líquida y de 0.2 para hielo.

Se demuestra que la mejor relación señal-ruido en el receptor se consigue haciéndolo funcionar como filtro apareado es decir con la misma respuesta en frecuencia que la del pulso emitido. Esto trae la penalidad de que se pierde parte del contenido espectral dando lugar al factor de corrección  $L_{\text{atm}}$ .

Entre los aspectos a tomar en cuenta, especialmente en estudios atmosféricos, está la posibilidad de que dentro de cada volumen iluminado no se tenga un único objeto que refleje, sino colecciones de partes que constituyen el “objeto” a detectar. En el

aire claro, serán bandadas de pájaros o de insectos y en las nubes son colecciones de gotas líquidas, cristales de hielo, granizos, copos de nieve, etc. Cada uno con su movimiento propio, de manera que la señal recibida es el resultado de la interferencia de todas las ondas individuales provenientes de cada objeto, dando una suma altamente fluctuante. Pulsos sucesivos dirigidos a la misma región del espacio dan en una misma “compuerta” valores diferentes de eco, aun sabiendo que por la rapidez de emisión dada por la PRF se trata de los mismos objetos. Se puede ver que estos valores están estadísticamente distribuidos de manera de tener un ancho de la distribución del mismo orden del promedio. Esto obliga a enviar un gran número de pulsos (alrededor de  $M=100$ ) para extraer la información estadística. En definitiva, la reflectividad asociada a una compuerta de rango será el promedio de estas muestras. Esto limita la velocidad de barrido de la antena para que permanezca iluminando aproximadamente en la misma dirección durante las  $M$  muestras. Una mejora en la rapidez de adquisición se consigue, aprovechando lo visto para el radar de onda continua, al codificar cada pulso por frecuencia modulada. De esta manera, se necesitan valores de  $M$  menores.



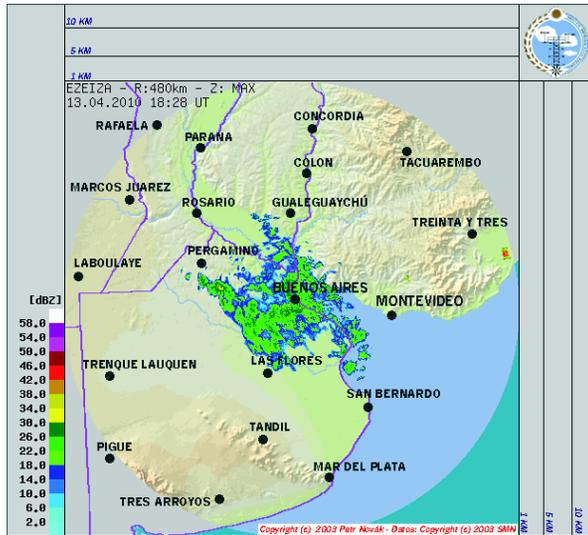


Figura 1. Reflectividad Z tomada por el radar del SMN en Ezeiza con un radio de 480 km. La codificación es por colores con la escala en decibeles a la izquierda.

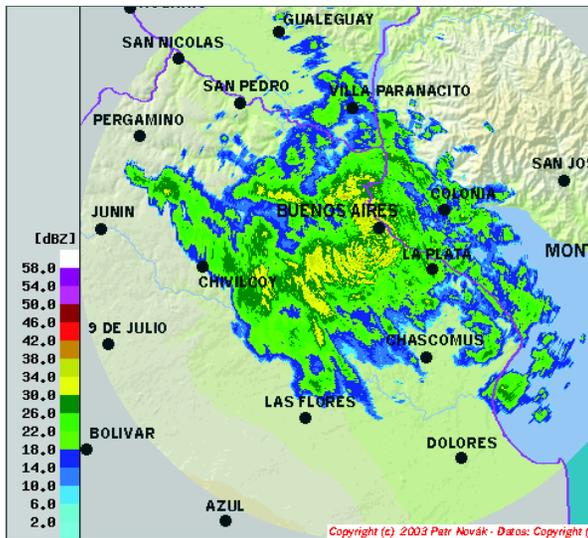


Figura 2. Imagen tomada por el radar del SMN en Ezeiza, con un radio de 240 km. aproximadamente al mismo tiempo de la Figura 1, mostrando también la estructura vertical. En cada punto del plano se coloca el máximo de reflectividad medido a lo largo de la línea normal al mismo, vertical para la vista en planta y horizontal para las otras dos.

**D. Radar Doppler**

Para obtener información de la velocidad de un objeto, por ejemplo de una porción de una nube, se necesita información relacionada del desfase de la señal recibida respecto de la enviada (efecto Doppler). Si se envía un pulso  $E_T$  dado por:

$$E_T = a(t) \exp(i\omega t),$$

y la distancia al objeto varía en el tiempo como

$$R(t) = R_0 - vt,$$

correspondiente a una velocidad  $v$  radial hacia el radar, tendremos a la recepción

$$E_R = a \left( t - \frac{2R(t)}{c} \right) \exp \left[ i\omega_r \left( t - \frac{2R(t)}{c} \right) \right] = a \left( t - \frac{2R_0}{c} \right) \exp \left( -i \frac{4\pi c}{\lambda_r} R \right) \exp \left[ i 2\pi \left( \frac{2v}{\lambda_r} \right) t \right] \exp(i\omega_r t),$$

donde  $\omega_r$  y  $\lambda_r$  son la frecuencia angular y longitud de onda transmitidas. La frecuencia instantánea es la derivada temporal de la fase dando claramente  $\omega = \omega_r + 2\pi f_D$  con  $f_D$  la frecuencia Doppler.

$$f_D = \frac{2v}{\lambda_r},$$

Por lo tanto, midiendo el corrimiento de frecuencia por efecto Doppler se deduce la velocidad del blanco. El signo positivo cambia a negativo si el objeto se aleja, es decir, se cambia  $-v$  por  $v$  en  $R(t)$ .

En un radar para obtener la frecuencia Doppler la señal se lleva por dos canales y se mezcla (multiplica) con la onda del oscilador local a  $\omega_r$  en un canal y con ésta desfasada en el otro canal. De esta manera, se obtienen, luego de un filtro que deja pasar sólo las bajas frecuencias, las componentes en fase I y en cuadratura

Q necesarias para distinguir si el desfase significa alejamiento o acercamiento. Mas aún, después de un adecuado procesamiento se obtiene también el ancho espectral Doppler, que da información de la distribución de velocidades en el volumen iluminado y, en particular para nubes, es una medida de la turbulencia. Además de blancos en tiempo malo, se pueden “ver” ecos en tiempo bueno. Éstos se originan en la variación del índice de refracción del aire debido a variaciones de temperatura causados por la turbulencia. De esta manera, a pesar de ser ecos débiles, se puede medir la velocidad del viento en tiempo bueno.

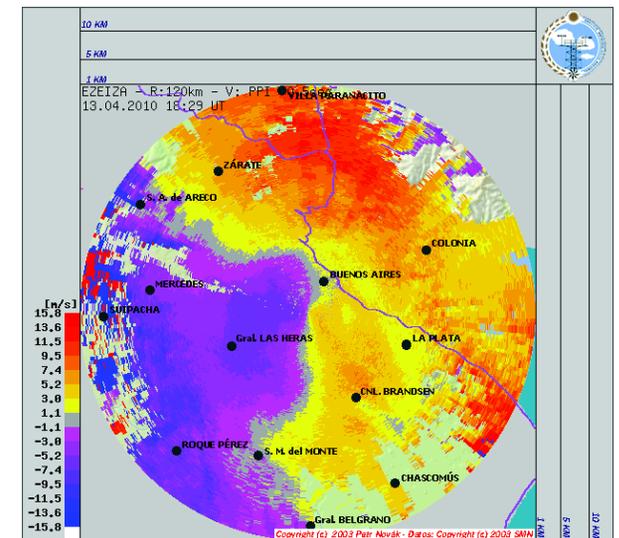


Figura 3. Velocidad Doppler vista por el radar del SMN en Ezeiza. Notar que se trata de una vista de 120 km. Violetas significan acercamiento y naranjas alejamiento.



**E. Radar polarimétrico**

Las ondas electromagnéticas al ser transversales permiten agregar a los parámetros ya vistos: reflectividad, velocidad Doppler y ancho Doppler, otros parámetros relativos a la polarización. Enviando alternadamente pulsos polarizados horizontalmente y verticalmente, se consigue determinar la matriz de polarización

$$\begin{bmatrix} E_{RH} \\ E_{RV} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{RH} & T_{RV} \\ T_{VH} & T_{VV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{RH} & S_{RV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{TH} \\ E_{TV} \end{bmatrix}$$

donde se ha explicitado la contribución de la transmisión al estado de polarización recibido tanto en el viaje de ida como de vuelta. La matriz S contiene el detalle del objeto iluminado y se puede demostrar que es simétrica. En general, se considera que la matriz T solo distorsiona un poco la información de S.

Un radar polarimétrico “ágil” se llama aquel que cambia rápidamente el vector transmitido de

$$\begin{bmatrix} E_{TH} \\ 0 \end{bmatrix} \text{ a } \begin{bmatrix} 0 \\ E_{TV} \end{bmatrix}$$

y permite medir la componente copolar y la componente cruzada de Z. Estos datos procesados conducen a los siguientes parámetros:

$$Z_H, Z_V, Z_{DR}, \rho_{HV}, \phi_{DP}, K_{DP}$$

y LDR, las reflectividades horizontal y vertical, la reflectividad diferencial, la correlación copolar, la diferencia de fase, la diferencia de fase específica y la tasa de despolarización lineal, respectivamente. Estos parámetros se pueden usar para identificar la precipitación observada.

La figura 4 muestra un caso particular. En la figura 4a se ob-

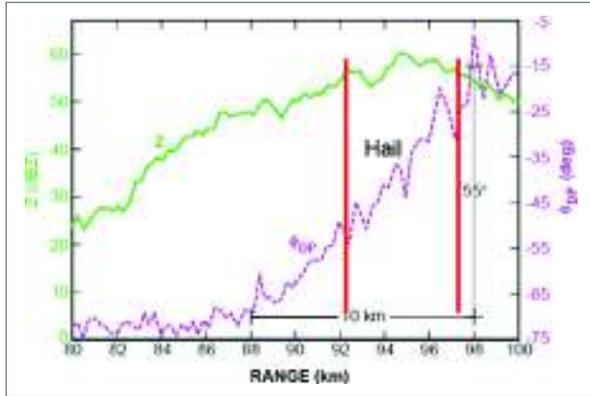


Figura 4a: La reflectividad Z y la diferencia de fase  $\phi_{DP}$  a lo largo de un haz.

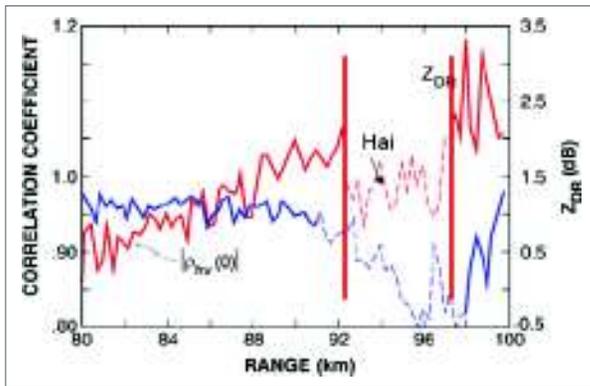


Figura 4b: La reflectividad diferencial  $Z_{DR}$  y el coeficiente de correlación cruzada  $\rho_{HV}$  a lo largo del mismo haz de la figura 4a.

serva una región de alta reflectividad posiblemente causada por granizo. Esto se confirma en la figura 4b donde se observa para la misma área una disminución de la reflectividad diferencial. Como se verá, los granizos se muestran como esféricos en promedio y por lo tanto no contribuyen a  $Z_{DR}$ . No obstante, la fase  $\phi_{DP}$  cambia

notablemente lo que indicaría la presencia de gotas líquidas. Se trataría entonces de una región mezclada de agua y granizo.

**II. Estimación de la precipitación**

El factor de reflectividad depende de la geometría de los objetos reflectantes. Cuando el tamaño de

cada partícula es menor a  $\lambda_p$ , éstas ven a la onda incidente como un campo eléctrico esencialmente uniforme (aproximación de Rayleigh). Si el dieléctrico que las constituye (agua o hielo) responde a la frecuencia incidente, entonces se puede ver que cada partícula se comporta como un dipolo eléctrico radiante de momento dipolar proporcional al volumen. Por esa razón, y recordando que la potencia radiada es proporcional al cuadrado del momento dipolar, la reflectividad será  $Z = N D^6$  donde N es el número por unidad de volumen y D el diámetro. Si no tenemos una distribución monodispersa, Z será  $Z = \int N(D) D^6 dD$ .

Por otro lado, la tasa de precipitación será

$$\mathfrak{R} = \frac{\pi}{6} \int N(D) V(D) D^3 dD,$$

con V(D) la velocidad de caída de las partículas de diámetro D. Vemos entonces que para estimar la precipitación a partir de la reflectividad hacen falta conocer la distribución de tamaños y la velocidad de caída para cada tamaño. Sin embargo, una práctica usual es, viendo que tanto Z como  $\mathfrak{R}$  dependen de las mismas variables, poner a una en función de la otra  $Z = a \mathfrak{R}^b$

Las constantes a y b se deben ajustar empíricamente. La más conocida de éstas es la llamada de Marshall y Palmer con  $a=220$  y  $b=1.4$ . Esta expresión ajustada a cada zona geográfica se ha estado usando para estimar la precipitación a partir de los datos de radar. Es claro que la posibilidad de tener más parámetros asocia-

dos a la precipitación, como lo son los polarimétricos, permitiría obtener mejores estimaciones. En este sentido podemos comenzar por la diferencia de fase entre las componentes vertical y horizontal  $\phi_{DP} = \phi_V - \phi_H$ .

Esta diferencia proviene de la clase de partícula que refleja. Por ejemplo, las gotas de agua se aplastan en su caída en el sentido vertical, luego la velocidad de propagación de la onda electromagnética es menor en la polarización horizontal. Esto significa que  $\phi_{DP}$  es positivo y creciente si hay lluvia en el paso de la onda. La cantidad específica

$K_{DP} = \partial \phi_{DP} / \partial R$  será la más afectada por la lluvia. En efecto, los granizos que en su caída rotan sobre sí mismos, en promedio, son esféricos, no producen cambio de fase apreciable. Se propone también una expresión del tipo

$$\mathfrak{R} = A K_{DP}^B$$

con  $B \approx 0.8$ .

Una relación parecida propuesta más apropiada para radares en banda C ( $\lambda_T \approx 5\text{cm}$ ) es

$$\mathfrak{R} = 93.8 [K_{DP} / f]^{0.777}$$

con f en GHz,  $\mathfrak{R}$  en mm./h y  $K_{DP}$  en grados por km. Como se ve en la figura 4  $K_{DP}$  vale unos  $5.5^\circ/\text{km}$ , lo que daría una tasa de precipitación, en ese ejemplo, de unos 94 mm/h.

Esta relación tiene algunas ventajas tales como ser inmune a la atenuación del haz en su propagación. Sirve incluso en haces parcialmente bloqueados, por ejemplo, por montañas. Además, en cuanto función del diámetro,

la teoría pone a  $K_{DP}$  como dependiente del cuarto momento de la distribución de tamaños y así se parece más a  $\mathfrak{R}$  que a Z. Además, la  $\phi_{DP}$  da la precipitación integrada sobre toda el área de la cuenca.

**III. Posibilidades**

La posibilidad de tener datos de radar en tiempo real permite “asimilar” éstos en modelos dinámicos que conducen a un pronóstico más preciso del tiempo y cotejar luego los resultados de la predicción. Es muy importante en este contexto contar con más de un radar para cubrir grandes áreas y seguir la marcha de grandes eventos meteorológicos.

Además de los usos operacionales, el radar Doppler polarimétrico permite estudiar las nubes en detalle y, como se vio arriba, se puede inferir el tipo de microfísica que está operando en la nube.

Un avance en el sentido de conocer los movimientos internos en las nubes es el llamado radar biestático. Se rodea a este último con dos o más receptores, ubicados a distancias convenientes, que reciben el eco de la misma región que ve el radar principal, aunque desde distinto ángulo. Esto permite construir el vector velocidad Doppler completo dando una imagen 3D del campo de vientos dentro de la nube. La simultaneidad de la toma de las componentes de v otorga mayor confiabilidad a los resultados. Además, la intensidad registrada en cada receptor también sirve para caracterizar mejor los objetos ya que permite ajustar una distribución angular de la radiación dispersada.



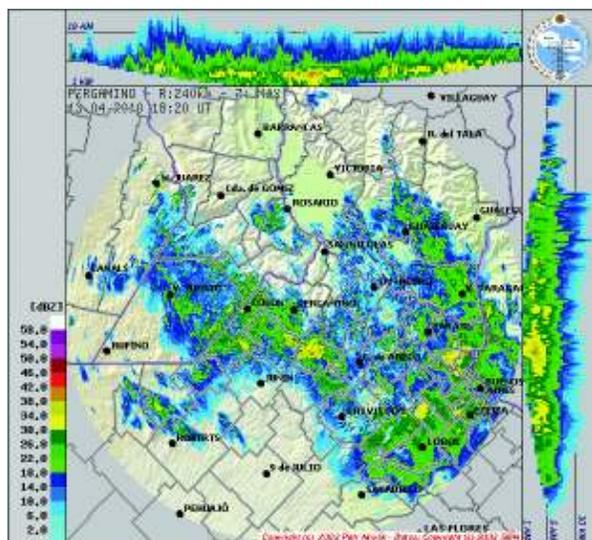


Figura 5. Imagen de radar contigua y simultánea a la Figura 2, con bastante superposición producida por el radar de Pergamino. Notar, por ejemplo, que la columna de precipitación en el centro del triángulo formado por Pergamino, Junín y S.A. de Areco es vista con distintas intensidades por los dos radares.

En cuanto a las relaciones entre precipitación y los parámetros del radar, hay todavía mucho por hacer. En particular, técnicas como redes neuronales y lógica difusa comienzan a usarse con éxito en la estimación de la precipitación permitiendo correlacionar lo medido por el radar con mediciones de precipitación en tierra. Además, el avance en la computación permite hacer los cálculos de interpolación entre barridos en tiempo real y realizar correcciones de lo que precipita por el viento medido por el propio radar.

La posibilidad de conocer en detalle el tipo de objeto que refleja permite otros productos como cálculos de la erosión del suelo por gotas y granizos, información que, junto a la medición del agua caída, es de gran interés para el sector agropecuario.

Como ejemplo de la sinergia que se consigue con otras técnicas, los objetos de origen biológico también se estudian en sus movimientos con radar Doppler polarimétrico agregando otra técnica a las ya usuales de sensor remoto, como por ejemplo, la satelital. §

#### Referencias Bibliográficas

BACHMANN, S.M. y ZRNIC D.S. (2007). Spectral densities of polarimetric variables for retrieving winds and determining scatterer types. Preprints. The 23d Conference on Interactive Information Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, San Antonio, TX, USA, AMS., 2-13.

GIANGRANDE, S. E., A. V. RYZHKOV, (2005). Calibration of Dual-Polarization Radar in the Presence of Partial Beam Blockage. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 22,1156-1166.

ILLINGWORTH, A. (2004). Improved Precipitation Rates and Data Quality by Using Polarimetric Measurements. *Weather Radar*, Meischner P. ed., 131-166.

NOVÁK, P., BREZKOVÁ, L., FRUK, P. (2009). Qualitative Precipitation Forecast Using Radar Echo Extrapolation, *Atmospheric Research*, 93, 328-334.

ZRNIC, D.(2007). *Rain Characteristic Revealed with the Polarimetric Radar*. International Symposium on Rainfall Rate and Radio Wave Propagation, Jaiswal, R.S. and Uma, S. ed.,10-28.

§*Giorgio Caranti*  
Docente e investigador de la Facultad de Matemática, Astronomía y Física (FAMAF), Universidad Nacional de Córdoba-CONICET.

## Sequía y escasez de agua en Argentina

Juan Carlos Bertoni\*, Leticia Vicario\* y Andrés Rodríguez\*

La sequía es un fenómeno natural recurrente derivado de la disminución significativa de lluvia en relación a los valores normales. Por lo general suele afectar regiones geográficas relativamente extensas. La escasez se produce cuando el consumo de agua sobrepasa los recursos disponibles. Por lo tanto, aunque la escasez se evidencia primordialmente en periodos de sequías, para un tratamiento correcto de ambos conceptos es importante diferenciarlos claramente.

En Argentina, debido a la extensión de su territorio, coexisten diversos climas: subtropical, templado y frío, con permanente influencia de las condiciones meteorológicas reinantes entre ellos. Desde el punto de vista climático, se caracteriza por la alternancia de periodos húmedos y secos, que identifican al sector pampeano central, y por la ocurrencia, a su vez, de condiciones extremas que suelen ocurrir, en forma concomitante en el tiempo, en distintas regiones de su territorio. Ejemplos de esto son las serias inundaciones sufridas por la región húmeda perteneciente a la Cuenca del Plata (provincias de Chaco, Santa Fe, etc.) y el contraste con sequías reiteradas observadas en el resto del territorio.

Un hecho llamativo es que Argentina, dentro del contexto de América del Sur, es el país que presenta, en términos relativos, el mayor porcentaje de áreas semiáridas y áridas del continente

(66 % de su territorio posee estas características). Por otra parte, se destaca por poseer uno de los porcentajes más altos de urbanización a nivel de Latinoamérica (89 % en la actualidad, con una previsión de alcanzar el 94 % para el año 2015). Todo ello permite presuponer el gran número de habitantes que es afectado cuando condiciones hídricas extremas afectan a las áreas urbanas y sus regiones colindantes. El abastecimiento humano, la generación hidroeléctrica y las actividades agropecuarias se listan entre las actividades más afectadas en los periodos de sequías.

#### Aridez, desertificación y sequías

Los fenómenos de aridez, desertificación y sequías poseen complejas interacciones entre sí y con el resto de los problemas ambientales.

En Argentina las sequías causan importantes pérdidas económicas en la agricultura y la ganadería, afectan amplias zonas del país, son de recurrencia e intensidad variable, potencian la degradación de los suelos, la pérdida de biodiversidad y están muy asociadas a los procesos de desertificación.

La erosión eólica y la desertificación afectan particularmente a las regiones áridas y semiáridas, como son las de Patagonia, Cuyo y Región Semiárida Pampeana

(entre otras. Según Michelena (2008), en la región de la Patagonia, que posee una superficie de alrededor de 786 millones de hectáreas, la erosión eólica y la desertificación son de gran importancia, especialmente en las provincias de Santa Cruz y Chubut. En la provincia de Santa Cruz, la meseta central árida tiene una superficie de 14 millones de hectáreas y está muy afectada por la desertificación en distintos grados, con formación de "lenguas" de médanos y pavimentos de erosión de varios cientos de hectáreas. Estos fenómenos producen el abandono de los campos y la migración de la población rural hacia las ciudades.

Las causas de estos procesos de desertificación y alteración profunda del sistema suelo-vegetación son el excesivo uso de las pasturas naturales (sobrepastoreo) y la alta susceptibilidad de las tierras por los frecuentes e intensos vientos y la fuerte aridez.

La erosión hídrica y eólica constituyen uno de los fenómenos de degradación física más importante. Según destaca Michelena (2008), en un estudio realizado por la Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura (FECIC) en 1988, sobre el 80% de la superficie del país, se determinó que existían 22 millones de hectáreas con erosión hídrica y 21 millones de hectáreas con erosión eólica. En base a esta información y considerando la restante se estimaba que exis-

tían alrededor de 50 millones de hectáreas con erosión en el país. En la actualidad se estiman que hay aproximadamente 60 millones de hectáreas con erosión por agua (hídrica) y por viento (eólica) en la Argentina. Las Figuras 1 y 2 ilustran acerca del avance del fenómeno ya en la década de los años 80. En los últimos años el problema se ha agravado en gran parte debido al empleo de técnicas

inadecuadas de explotación agrícola.

En la Región Pampeana Semiárida de Argentina la erosión eólica es un fenómeno importante con la formación de médanos y tormentas de polvo. Esto se debe a la susceptibilidad de las tierras por su textura arenosa, bajo contenido de materia orgánica y pobre estructura, y fuertes vientos en primavera. Las pérdidas eco-

nómicas producidas por la erosión en las tierras agrícolas de la Subregión "Pampa Ondulada", la más importante de la Región Pampeana y una de las más importantes del país, son de 250-300 millones de dólares anuales. Estas pérdidas tienen en cuenta el efecto de la erosión sobre el rendimiento de los cultivos de trigo, soja y maíz (Iruirtia, 1995).

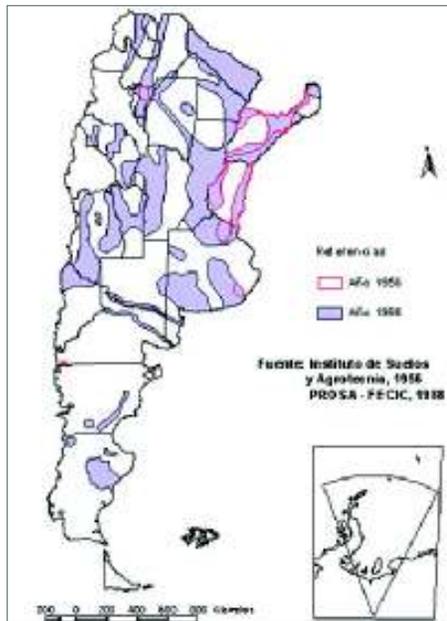


Figura 1. Superficie afectada por erosión hídrica en Argentina



Figura 2. Superficie afectada por erosión eólica en Argentina

La provincia de Córdoba ha tenido en los últimos años enormes pérdidas económicas por sequías en el sector agropecuario (Figura 3) y problemas en distintos sectores de la población por la escasez de agua potable. Particularmente, las recientes sequías experimentadas en las temporadas estivales de 2008 y 2010 han desnudado problemas derivados de la falta de planificación, falencias históricas en la toma de decisiones en relación a la realización de obras relevantes y un comportamiento social inadecuado frente al problema de la escasez de agua.

Entre los trabajos que destacan la importancia de las sequías para el área metropolitana de Córdoba (referenciada como Gran Córdoba) se destaca el realizado por Castelló *et al.* (2000). En su artículo, el autor da cuenta de los impactos negativos sobre el abastecimiento de agua. Por su parte, Moya (2004) analizó y generó las series de aportes (mensuales) a los embalses del sistema del Gran Córdoba, identificando los períodos de déficit hídrico. Este trabajo brinda un panorama general de los períodos de escasez de agua en regiones de importancia hídrica de la provincia de Córdoba.



Figura 3. Aspectos de la erosión hídrica y eólica en la región central de Córdoba, Argentina.

### Clasificación de las sequías

Wilhite y Glantz (1985) clasifican a las sequías según cuatro grupos:

- Meteorológicas: basadas en datos climáticos, es una expresión de la desviación de la precipitación, respecto del valor promedio durante un período de tiempo determinado.
- Agrícolas: ocurren cuando no hay suficiente humedad en el suelo para permitir el normal desarrollo de un determinado cultivo en cualquiera de sus fases de crecimiento.
- Hidrológicas: resulta de una deficiencia en el caudal o volumen de aguas superficiales o subterráneas (ríos, lagos, vertientes, etc.).
- Socio-económicas: se produce cuando la disponibilidad de agua disminuye hasta el punto de producir daños (económicos o personales) a la población de una zona afectada por la escasez de lluvias.



**Identificación y evaluación de sequías**

Existen diversas metodologías para la evaluación de sequías, entre ellas se destacan:

- Análisis estadístico: basado en test de calidad de las series, en estadística descriptiva y en estudios de frecuencias.
- Establecimiento de relación de variables en las sequías.
- Determinación de valores de los "Índices de Sequías": se trata de funciones continuas que relacionan los valores de precipitación y otras variables hidrometeorológicas, de tal manera de caracterizar a las sequías, a través de la comparación con umbrales predeterminados para el método. En estos casos resulta importante tener en cuenta la escala de tiempo y espacial utilizada. Entre estos índices se destacan:

*Índice de Palmer (1965), PDI:* se basa en las anomalías hídricas del balance hídrico seriado y permite, entre otras aplicaciones, determinar periodos de sequías y excesos hídricos. Los datos fundamentales para la determinación de este índice son la precipitación, la evapotranspiración potencial y el contenido de agua disponible (CAD) del suelo.

*Índice de Sequía Estandarizado (McKee et al.,1993), SPI:* considera las probabilidades de ocurrencia de precipitación para un período dado y se calcula comparando la precipitación acumulada total para una estación o región, en particular,

durante un intervalo de tiempo específico, con el promedio de la precipitación acumulada para ese mismo intervalo a lo largo de toda la serie de registros. Posibilita la medición de la sequía en distintas escalas temporales, tales como 3, 6, 12 y 24 meses, según el objetivo del estudio donde se aplica este índice. Una de las ventajas es que puede ser usado para indicar la ocurrencia de sequías hidrológicas.

*Índice Normalizado de Vegetación (NDVI).* Es obtenido de información satelital y puede usarse para relacionar el estado de la vegetación y la ocurrencia de sequías.

Ravelo (2009) presentó valores del Índice de Palmer aplicada a la pradera central de Argentina (Figura 4). El autor también analizó el Índice NDVI, obtenido con base en imágenes SPOT-V, a los fines de caracterizar la situación en agosto 2008 en relación al promedio del periodo 2000/07 (Figura 5).

Vicario et al. (2009) analizaron los valores de los índices de Palmer (PDI) y de Precipitación (SPI) para el periodo (1943-1999) en una estación representativa de la cuenca del Embalse San Roque, manantial principal de abastecimiento del Gran Córdoba (Figuras 6 y 7 respectivamente).

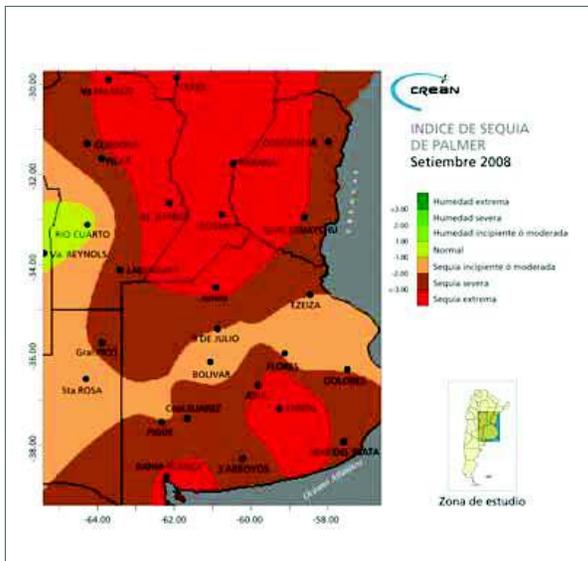


Figura 4. Índice de Palmer aplicado a la pradera central de Argentina (Ravelo, 2009).

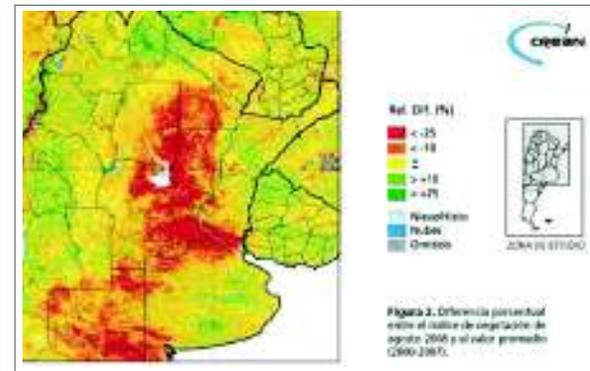


Figura 5. Diferencia porcentual entre el Índice de vegetación (08/08) y el promedio (2000-07). Pradera central de Argentina (Ravelo, 2009).

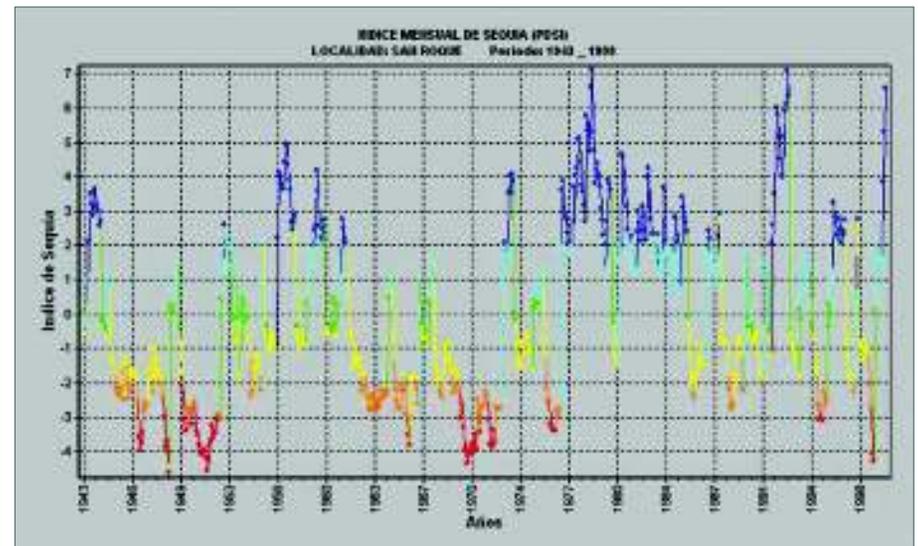


Figura 6. Índice de sequía (Palmer) aplicado a la estación San Roque (Córdoba, Argentina) (Vicario, 2008)



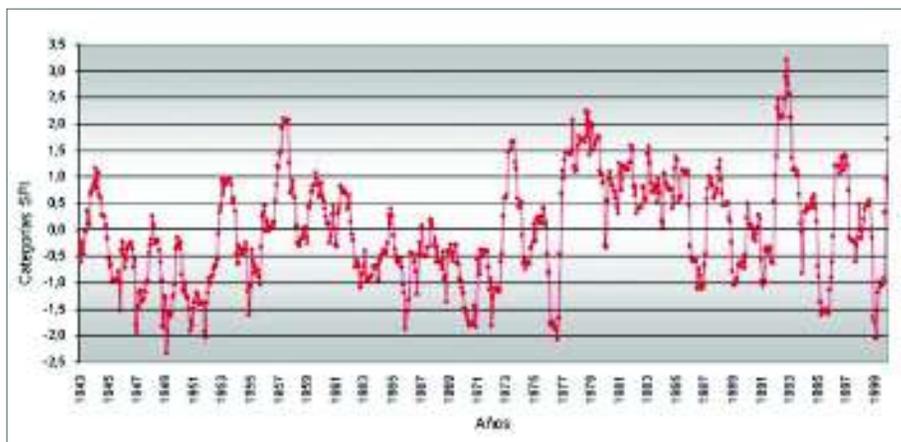


Figura 7. Índice de sequía estandarizado aplicado a la estación San Roque (Córdoba, Argentina) (Vicario, 2008)

En este último trabajo, se consideró que el índice PDI es más representativo del fenómeno de sequía, ya que contempla otras variables hidrológicas, además de la precipitación, para la evaluación de dicho fenómeno. Esto permite un análisis más amplio de las condiciones hidrológicas del sistema estudiado. La zona de estudio presentó distintos tipos de sequías y se observó que los valores mínimos de precipitaciones presentan una mayor frecuencia de ocurrencia. Del análisis de frecuencias de las categorías de índice PDI, se estimó que el tiempo de recurrencia (Tr) de un mes con sequía severa en la cuenca del dique San Roque es de 13,2 meses o 1,1 años. Mientras que para la ocurrencia de un mes con una sequía extrema de 3 a 4 años, aproximadamente.

Se observaron varios períodos plurianuales con sequías se-

veras y extremas que alternan con períodos normales a húmedos, de manera cíclica y cada 10 años, aproximadamente. Los períodos de sequías más intensos y prolongados sucedieron en la segunda mitad de la década del '40 y entre fines de la década del '60 y principio de los '70; a partir del cual existieron extensos períodos húmedos y muy húmedos. Desde la década del '80 existieron eventos de sequías aislados y menos severos.

Los autores concluyeron que para favorecer el desarrollo de estudios certeros sobre el tema de la sequía y debido a la escasez de registros meteorológicos e hidrológicos en el país, es recomendable mejorar la red hidrometeorológica en la zona de estudio, a fin de lograr la toma de datos de manera sistemática, generando así una base de datos ordenada que contenga dicha información.

### Pronóstico de sequías

En Argentina, el Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN), unidad de investigaciones aplicadas perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba, ha desarrollado un sistema de monitoreo de las sequías utilizando datos actualizados provistos por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). El pronóstico de sequías se realiza con redes neuronales y se encuentra en una etapa experimental.

### Necesidad de un nuevo enfoque en la gestión de sequías

Los problemas ambientales y de gestión asociados a las sequías no son menores. Por lo general las sequías son de difícil predicción y difícil definición temporal y espacial, y sus daños no son repentinos. Para lograr un conocimiento acabado de la situación es importante el esfuerzo interdisciplinario entre hidrólogos, agrónomos, operadores hidroeléctricos, generadores, reguladores, etc.

Wilhite (1997) considera que las sequías generan falta de decisiones y acciones por parte de los administradores y funcionarios políticos. Desde esta perspectiva es relevante la realización y ejecución de un Plan Director para el estudio y evaluación de las sequías y el desarrollo de pautas para la mitigación de sus efectos, como parte de una decisión política dentro de los distintos ámbitos públicos, además de implementar la infraestructura necesaria para llevar a cabo dicho plan.

En los últimos años la región central de Argentina se ha visto afectada por reiteradas sequías estivales, que se suman a las estacionales de otoño, invierno y primavera. En el verano (Diciembre 2009-Febrero 2010) se han vivido momentos dramáticos especialmente en Córdoba, asociados al abastecimiento humano y la producción agropecuaria. Cuando la sequía se solapa con la escasez del agua, se produce un estrés generalizado que puede amenazar todos los usos prioritarios y la biodiversidad de los

ríos. Pese a que la primera solución que suele plantearse en períodos de escasez es la búsqueda de nuevos manantiales (siendo el típico para el abastecimiento humano), las claves reales para la minimización de los problemas se asientan en el planteo prioritario de una planificación alternativa, tendiente a la optimización de los recursos disponibles. En la práctica se observa que los recursos hídricos, escasos en períodos de sequías, son cotidianamente aprovechados de manera incorrecta (o, en definitiva, desaprovechados). En otras palabras, para poder afrontar de mejor manera la sequía, es necesario mejorar la gestión del agua a través de un mayor control de su uso y de los vertidos.

La alternativa es el planteo de opciones de desarrollo diferentes, con vistas a lograr el aprovechamiento sustentable de los recursos. El uso eficiente del agua es una muestra de compromiso con los impactos y afectaciones a otros sectores que poseen menor prioridad relativa y, especialmente, con el medio ambiente.

Desde el punto de vista de la hidrología y de la ingeniería, es esencial contar con una base de datos y estudios que ofrezcan el material necesario para poder generar las obras de contención, distribución y tratamiento de los recursos hídricos involucrados, ante una sequía. Monitorear y evaluar sequías, permite elaborar estrategias de mitigación de los efectos negativos que trae aparejada la falta de agua en una comunidad y su entorno. Frente a los preocupantes signos de variabilidad climática que se obser-

van en los últimos años, destacan en innumerables informes técnicos y artículos científicos, es imprescindible aunar esfuerzos para mejorar el monitoreo de los recursos hídricos y, particularmente, de las condiciones climáticas y meteorológicas reinantes. El manejo criterioso de los recursos hídricos, concebido a partir de un análisis integrado de las cuencas hídricas involucradas, implica, como condición de base, el conocimiento del recurso y de los fenómenos naturales asociados. Asimismo, los indicios de cambio climático global y el progresivo proceso de variabilidad climática exacerba la necesidad de las tareas de prevención, monitoreo y control de los recursos hídricos. §

*Juan Carlos Bertoni*  
*Andrés Rodríguez*  
Dirección Nacional de Conservación y Protección de Recursos Hídricos, Subsecretaría de Recursos Hídricos, Secretaría de Obras Públicas, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios (MinPlan), Buenos Aires, Argentina.

*Leticia Vicario*  
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.



## Referencias Bibliográficas

CASTELLÓ, E. (2000). *Simulación para la Optimización de los Recursos Hídricos Superficiales en el Área del Gran Córdoba, Argentina*. FCEfyN-UNC, Argentina.

IRURTIA, C. (1995). *Influencia de los procesos de degradación en la productividad del suelo*. Informe anual Plan de Trabajo. INTA, Instituto de Suelos, Castelar, Argentina.

McKEE, T. B., N. J., DOESKEN and KUIEST, J. (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA. American Meteorological Society. Boston, MA. 179-184.

MICHELENA, R. (2008). *La Degradación de las Tierras en la Argentina*. Informe del INTA. Castelar, Argentina.

MOYA, G. (2004). *Análisis para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de los Ríos Suquia y Xanaes, provincia de Córdoba*. FCEfyN-UNC, Argentina.

PALMER, W. C. (1965). *Meteorological drought*. U. S. Department of commerce. Weather bureau. Research paper N° 45.

RAVELO, A. (2009). *Monitoreo y evaluación de sequías en Argentina*. Seminario Internacional sobre Sequías y Gestión del Riesgo Climático. La Serena, Chile.

VICARIO, L. (2008). *Evaluación de las sequías hidro-meteorológicas en la cuenca del dique San Roque, Córdoba*. Tesis de Maestría. FCEfyN-UNC, Argentina.

VICARIO, L.; RAVELLO, A.; BERTONI, J. C. y RODRIGUEZ, A. (2009). Análisis de frecuencia de intensidades de sequías en la cuenca del dique San Roque. Provincia de Córdoba, Argentina. *Memorias del XXII Congreso Nacional del Agua*. Chubut, Argentina.

WILHITE, D. A. and GLANTZ, M. H. (1985). Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international*, Vol. 10, 111-120.

WILHITE, D. (1997). *Improving Drought Management in the West: The Role of Mitigation and preparedness*. National Drought Mitigation Center. Universidad de Nebraska, Estados Unidos, 56 p.



## Una revisión a la problemática de las inundaciones urbanas

Juan Carlos Bertoni\*

La urbanización representa una de las manifestaciones más significativas de la actividad humana. En América del Sur la concentración urbana en las principales ciudades tiene el ritmo de crecimiento más alto entre todas las regiones del mundo y, a su vez, el mayor de todos los tiempos. El proceso de urbanización está conduciendo, entre otros efectos, a la sobreexplotación de los recursos naturales, a la contaminación incontrolada y a la ocupación de áreas especialmente vulnerables (áreas amenazadas por inundaciones, laderas con riesgo de desprendimiento de tierras, etc.).

La ocupación de áreas naturalmente inundables, el crecimiento no controlado de superficies impermeables y la falta de espacio para el manejo eficiente de las aguas pluviales originan escenarios complejos en relación al drenaje urbano. Los efectos multiplicativos de estos y otros factores conducen en muchos casos a situaciones dramáticas en relación a las inundaciones urbanas, implicando la pérdida de vidas humanas, cuantiosos daños sobre el patrimonio público y privado y serias consecuencias sociales.

Los problemas socioeconómicos que vive América Latina no contribuyen a la solución simple de este tipo de problemas. En efecto, existe una estrecha relación entre el riesgo de desastres y el nivel de desarrollo de

un país. La pobreza generalizada aumenta la vulnerabilidad de la población debido a sus limitadas posibilidades de prevención y autoayuda como también a la falta de seguridad social y financiera.

Los gobiernos y las administraciones de los países en desarrollo carecen en la mayoría de los casos de los recursos económicos y humanos, de las organizaciones y del marco legal necesarios para reducir el riesgo de desastres a través de la prevención y de la protección efectiva.

De acuerdo al Banco Mundial (2000), dentro del contexto mundial, Argentina se encuentra entre los 14 países más afectados por catástrofes de inundaciones rurales y/o urbanas, alcanzando pérdidas superiores al 1,1 % del PIB nacional. CEPAL (2003) estimó en 255 millones de dólares las pérdidas producidas en la ciudad de Santa Fe por la crecida del río Salado, ocurrida en abril-mayo de 2003.

## El proceso de urbanización en el mundo

La urbanización representa una de las manifestaciones más significativas de la actividad humana. La universalización de la urbanización es un fenómeno reciente en la historia del planeta. En el año 1800 sólo el 1% de la población vivía en ciudades. Desde mediados del siglo XVIII, donde se expandiera como efecto asociado a la revolución industrial,

la urbanización se ha incrementado a nivel mundial a un ritmo cada vez más acelerado.

Según Guglielmo (1996), durante la primera mitad del siglo XX la población total del mundo se incrementó en el 49% y la población urbana en el 240%. En la segunda mitad del siglo esta evolución se aceleró: la población urbana pasó de 1.520 millones de habitantes en 1974 a 1.970 millones en 1982. La Tabla 1 ilustra acerca del crecimiento constante tanto observado como previsto para el período 1955-2015. En la actualidad la población mundial es de aproximadamente 6.100 millones y la población urbana alcanza a 2.850 millones, es decir, el 46,7%. En poco tiempo más, por primera vez en la historia el número de habitantes de las ciudades habrá superado al de las zonas rurales. En lo que se refiere a la distribución geográfica de la población urbana en el mundo, América del Sur encabeza esta tendencia (Tabla 2).

En nuestro continente, la concentración urbana en las principales ciudades tiene el ritmo de crecimiento más alto entre las regiones del mundo y el mayor de todos los tiempos, con una marcada tendencia de concentración de funciones socioeconómicas y administrativas en pocas ciudades importantes por país. Esta propensión metropolitana está ocurriendo en el marco de un lento ritmo de crecimiento

Crecimiento anual de la población urbana				
Año	1955	1975	1995	2015
[%]	32	38	45	54

Tabla 1. Crecimiento anual de la población urbana (período 1955-2015).  
(Fuente: Fondo de las Naciones Unidas de Asistencia de Población, FNUAP).

Distribución de la población urbana en el mundo							
Continente	América del Sur	América del Norte	Oceania	Europa	América Central	África	Asia
[%]	77	76	75	74	53	35	35

Tabla 2. Distribución de la población urbana por continentes.  
(Fuente: Fondo de las Naciones Unidas de Asistencia de Población, FNUAP).

*No todas las crecidas (naturales o artificiales) provocan inundaciones. La inundación es un concepto de afectación del medio natural, producto de la ocupación o utilización del terreno.*

económico y con una estructura de distribución del ingreso crecientemente desigual, que conduce a un proceso de urbanización de la pobreza.

El proceso de urbanización muestra algunas diferencias entre los países desarrollados, localizados fundamentalmente en el Hemisferio Norte y los países emergentes y subdesarrollados del Hemisferio Sur (Figura 1).

**Impacto hidrológico de la urbanización**

La urbanización produce un marcado impacto sobre el ciclo del agua, provocando numerosos efectos. Entre ellos, Chocat (1997a) destaca cinco:

- (a) la impermeabilización del suelo,

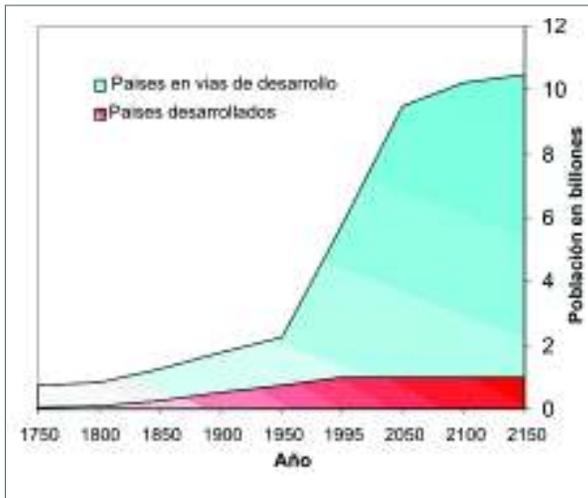


Figura 1. Evolución de la población de los países desarrollados y en desarrollo.

- (b) la aceleración de los escurrimientos,
- (c) la construcción de obstáculos al escurrimiento,
- (d) la “artificialización” de las acequias, arroyos y ríos en áreas urbanas y,
- (e) la contaminación de los medios receptores.

Los tres primeros tienen una influencia significativa sobre el aumento de la frecuencia de las inundaciones en los medios urbanos (Figura 2).

La suma de un sistema de alcantarillado pluvial con cordones y cunetas colecta más escurrimiento y lo dirige a cauces, lagos o humedales. Esta acción produce un gran volumen de escurrimiento con altos y frecuentes caudales picos (Figura 3), que por lo general generan daños a la integridad física y biológica del cauce receptor.

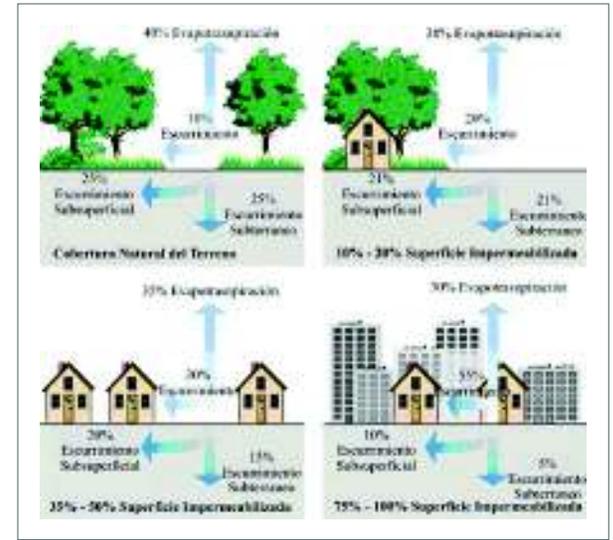


Figura 2. Relación entre impermeabilización y aumento del escurrimiento superficial.  
(Fuente: Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practice; FISRWG, 2001).

**Medidas estructurales y no estructurales**

Existen dos tipos básicos de medidas consagrados por la literatura para lograr el manejo y control del drenaje pluvial urbano: estructurales y no estructurales (Figura 4).

Las medidas estructurales se relacionan con la ejecución de obras hidráulicas (presas, diques laterales, canales, etc.), tanto en la cuenca hidrográfica como sobre los cursos de agua que actúan de colectores principales del sistema. Las medidas no estructurales son de tipo preventivo (zonificación de áreas inundables, planes de alerta y seguros contra inundaciones) y presuponen una convivencia razonable de la población con los problemas de-

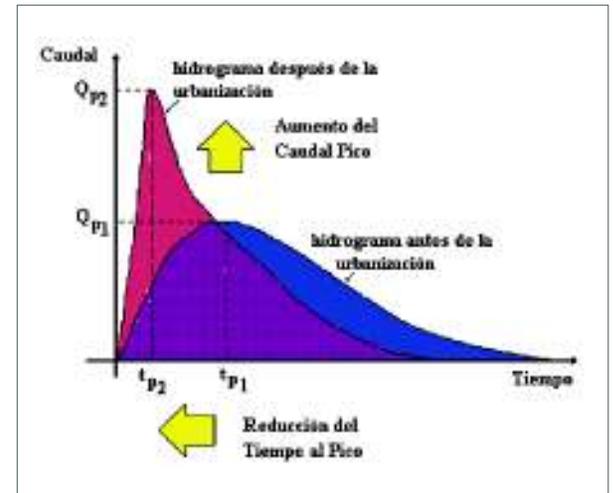


Figura 3. Impacto hidrológico de la urbanización: variaciones en el hidrograma.



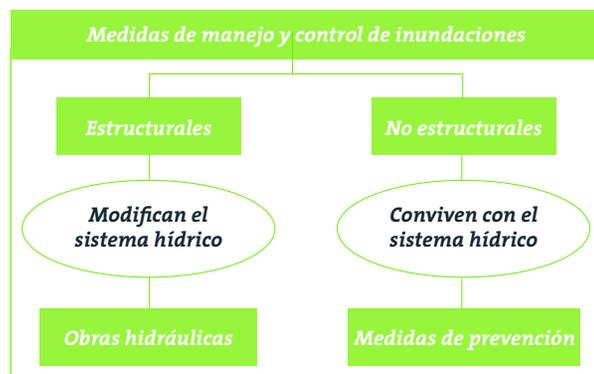


Figura 4. Medidas de manejo y control de inundaciones.

rivados de los procesos naturales. Las mismas intentan compatibilizar los costos de obras a ejecutarse con los recursos realmente disponibles. Por lo general, las medidas estructurales envuelven mayores costos en relación a las medidas no estructurales. La tendencia actual es realizar una combinación de ambos tipos de medidas objetivando el logro de la mejor solución posible.

### Evolución histórica del drenaje urbano

En su concepción tradicional el saneamiento urbano es considerado como el conjunto de acciones que objetivan la evacuación rápida de las aguas pluviales y de los desechos industriales y domésticos. Esta visión de la circulación del agua urbana no es más aceptable en una época donde se proponen acciones respetando el medio ambiente.

La filosofía básica del manejo del agua pluvial en residencias y toda clase de urbanización, está abierto actualmente a discusión

y revisión. Las anteriores filosofías establecían simplemente la conveniencia de actuar en un sitio con la máxima rapidez posible para eliminar el exceso de escurrimiento pluvial. El efecto de las técnicas basadas en estas filosofías ha sido una de las principales causas del incremento de la frecuencia con que se verifican inundaciones aguas abajo.

El proceso de manejo del escurrimiento pluvial está actualmente sufriendo un significativo redireccionamiento, que hasta puede ser considerado una verdadera revolución. Esto está evidenciado por un nuevo énfasis en el deseo de detener o almacenar temporalmente una parte de la lluvia donde ella cae.

### Etapas fundamentales: comparación entre los países desarrollados y Sud América

A lo largo de la historia la hidrología y el drenaje de medios urbanos han pasado por diferentes etapas. Desbordes (1987) identifica tres períodos esenciales de la

hidrología urbana en los países desarrollados:

- Etapa sanitarista (o higienicista): etapa inicial del drenaje de las ciudades.
- Etapa de racionalización y parametrización: etapa transitoria caracterizada por la racionalización del cálculo hidrológico-hidráulico y la definición de normas para los estudios y proyectos.
- Etapa científica y ambientalista: etapa actual del drenaje urbano.

Desde sus orígenes el proceso de urbanización debió hacer frente a graves problemas epidemiológicos resultantes de la concentración de la población. Ello explica la concepción *sanitarista* (o higienicista) inicial de la hidrología urbana (Bertoni, 2004). Según Lopes da Silveira (1998), las características de las dos primeras etapas han facilitado la transferencia tanto de los métodos de cálculo como de la concepción de obras desde los países desarrollados hacia los países más pobres. Siendo una antigua colonia europea, países como Argentina y Brasil han recibido desde la segunda mitad del siglo XIX la influencia del progreso registrado en los países desarrollados. Actualmente es difícil afirmar que los países de América del Sur han accedido efectivamente a las tres etapas antes indicadas para los países industrializados (Bertoni y Chevallier, 2001). La deficiencia más importante está asociada a la tercera etapa, concerniente al enfoque científico y ambientalista. Entre otras causas, la falta crucial de datos hidrológicos en áreas urbanas ha conducido

a una limitación notable de los progresos de las investigaciones científicas.

**Etapa sanitarista (o higienicista):** en los inicios de la segunda mitad del siglo XIX el ingeniero francés Eugène Belgrand creó en París el concepto del drenaje moderno. Belgrand inició en 1854 la construcción de aproximadamente 400 km. de alcantarillado sanitario de concepción totalmente novedosa. Para ello, él mismo desarrolló los materiales y las técnicas de explotación y mantenimiento. El nuevo sistema implicaba el escurrimiento conjunto (unitario) de las aguas pluviales y de las aguas negras. Designado por la expresión francesa “tout à l’égout”, este método continuo de circulación ocupó rápidamente un espacio en toda Europa. En países como Brasil y Argentina estos conceptos se difundieron rápidamente, iniciándose obras de drenaje urbano aproximadamente a partir de 1853.

**Etapa de racionalización y parametrización:** incluyó la definición de parámetros para el empleo del Método Racional, como por ejemplo, la estimación de curvas intensidad-duración-frecuencia (i-d-f) para diversas ciudades. En Europa estos estudios datan de la primera mitad del siglo XX; en Brasil y Argentina se iniciaron a fines de la década del 50. Durante esta etapa los países desarrollados experimentaron también hasta la mitad de los años 70 los problemas derivados del crecimiento de la urbanización y de la utilización sistemática del concepto *sanitarista* (Chocat, 1997a y b). Sin embargo, los frecuentes desbordes de las redes

impuso la puesta en marcha de un nuevo concepto para la gestión del drenaje pluvial urbano. Este último, calificado por el grupo *Eurydice 92* (Chocat, 1997 b) de “*hidráulico*”, posee como objetivo el retardo del flujo a fin de reducir la magnitud de los caudales de punta del escurrimiento superficial.

En Francia, la “*Instrucción Técnica Interministerial*” de 1977, que es ejemplo de la existencia de una política nacional en materia de planificación y drenaje urbano, propuso por primera vez una alternativa a la red de conductos: *los reservorios reguladores y retardadores de flujo*. En Argentina y Brasil este concepto *hidráulico*, opuesto al concepto *sanitarista* tradicional, inició su difusión en la década de los 80 (Figura 5).

**Etapa científica y ambientalista:** en los países desarrollados esta etapa es caracterizada por el vigor de la conciencia ambientalista. En consecuencia de ello se intensifican:

- Los estudios de modelación matemática que tienen por objeti-

*El proceso de manejo del escurrimiento pluvial está actualmente sufriendo un significativo redireccionamiento, que hasta puede ser considerado una verdadera revolución.*



Figura 5. Reservorio o cuenco de detención ejecutado en un centro comercial privado. Ciudad de Córdoba, Argentina (Fuente: Bertoni, 2004).



vo cuantificar los impactos de la urbanización sobre el ciclo del agua.

- Los aspectos ligados a la calidad del conjunto de desechos urbanos.
- El desarrollo de técnicas alternativas.
- Los aspectos legales relativos al escurrimiento pluvial en los documentos de urbanismo. La mayor parte de estos estudios se basan en un desarrollo destacado de la meteorología hidrológica e hidráulica en áreas urbanas.



Figura 6. Resultado típico de la aplicación exclusiva del enfoque sanitarista. Inundación en la ciudad de Buenos Aires, Argentina, en enero de 2001 (Fuente: Bertoni, 2001).

La situación actual de los países sudamericanos es el resultado de una mezcla de acciones no coordinadas, donde coexisten algunos objetivos inalcanzados de la etapa anterior y de esfuerzos, mayormente aislados, que se inscriben en esta tercera etapa de enfoque científico y ambientalista.

**Enfoque sanitarista del drenaje urbano: consecuencias a mediano y largo plazo**

Desde hace mucho tiempo las soluciones al drenaje urbano se vienen apoyando exclusivamente en la ejecución de proyectos y obras de conducción, que objetivan drenar de la forma más rápida posible las aguas en exceso. La experiencia internacional y nacional de los últimos años demuestra, sin embargo, que este enfoque del problema no asegura una salida eficaz y sustentable para los problemas del drenaje urbano (Figura 6). Al no actuar sobre las causas del problema exige el aumento progresivo y permanente de los sistemas de

conducción, los que se tornan cada vez más onerosos y técnicamente más complejos.

Este enfoque prevalece hoy en día en la mayoría de las ciudades de América Latina, existiendo varios factores que explican este comportamiento. Entre ellos merecen destacarse:

- legítima presión de la población por la búsqueda inmediata de soluciones al problema;
- falta de comprensión de la problemática integral del drenaje urbano por parte de los profesionales dedicados a la planificación urbana, hecho motivado generalmente por falencias arrastradas desde el periodo de formación universitaria;
- asesoramiento incompleto de los niveles técnicos a los niveles políticos de las administraciones municipales;
- falta de un trabajo interdisciplinario entre técnicos y comunicadores sociales que permita con creatividad, simplicidad y adecuación, educar a la pobla-

ción sobre aspectos ligados al quehacer de la ciudad;

- interés del nivel político por obtener rápidos réditos a través de la ejecución de obras.

*Para alcanzar soluciones eficientes y sustentables a los problemas ligados a las inundaciones urbanas es necesario actuar sobre las causas. Ello exige una comprensión más integrada del ambiente urbano y de las relaciones entre los sistemas que lo componen.*

Conforme Porto et al. (1993), el término drenaje urbano actualmente es entendido en un sentido más amplio, como “el conjunto de medidas que objetivan minimizar los riesgos a que las poblaciones están sujetas, disminuir los perjuicios causados por las inundaciones y posibilitar el desarrollo urbano de forma armónica, articulada y sustentable”.

En consecuencia, los estudios técnicos recientes sobre el drenaje urbano apuntan, por una parte, a la definición de obras de conducción y regulación que tratan de dar solución a los problemas existentes y, por otra parte, a la elaboración de instrumentos técnicos y legales cuyo propósito es el de armonizar las características naturales de las cuencas involucradas con el crecimiento de la ciudad. Es decir, se apunta a controlar la generación del escurrimiento.

Figura 7. Visión integrada de la planificación de los aspectos asociados al agua en el medio urbano (Fuente: Tucci, 2001).



**Visión integrada del manejo de los recursos hídricos en el medio urbano**

Los aspectos relacionados con la infraestructura de agua por lo general han sido encarados en forma sectorial y se encuentran en diferentes estados de desarrollo.

Gran parte de los problemas actuales están relacionados con la forma sectorial de cómo los mismos son tratados. El desarrollo de la planificación en áreas urbanas envuelve principalmente:

- planificación del desarrollo urbano;
- transporte;
- abastecimiento de agua y saneamiento;
- drenaje urbano y control de inundaciones;
- residuos sólidos;
- control ambiental.

La planificación urbana debe considerar los aspectos relacionado con el agua, el uso del suelo y la definición de las tendencias de los vectores de expansión de la ciudad. Considerando todos los aspectos relacionados con el agua, existe una fuerte interrelación entre los mismos. En la Figura 7 se puede observar la forma figurada de integración de la planificación de los sectores esen-

ciales relacionados con el agua en el medio urbano.

**Plan Director de Drenaje Urbano**

Para alcanzar soluciones eficientes y sustentables a los problemas ligados a las inundaciones urbanas es necesario actuar sobre las causas, abarcando todas las relaciones entre los diversos procesos involucrados. Uno de los aspectos que caracteriza al problema es que aunque la causa primaria (impermeabilización del suelo) es el resultado de la acción de cada uno de los individuos que ocupa la cuenca hidrográfica, el problema siempre se transfiere políticamente a la esfera pública.

Uno de los objetivos de la planificación del drenaje urbano es minimizar, y de ser posible, impedir el aumento sistemático del hidrograma de áreas urbanas. Para ello es necesario cuantificar el impacto de las diferentes condiciones de urbanización sobre el escurrimiento y establecer una reglamentación del uso del suelo.

El instrumento que debe contemplar dicha reglamentación es el *Plan Director de Drenaje* de la ciudad. La elaboración de este



Plan debe objetivar la concordancia entre el sistema de drenaje urbano y los restantes sistemas que componen el ambiente urbano.

El Plan Director de Drenaje Urbano tiene por objetivo crear los mecanismos de gestión de la infraestructura urbana relacionada con el escurrimiento de las aguas pluviales y de los ríos en las áreas urbanas. La meta es compatibilizar el desarrollo urbano y el de su infraestructura con las restricciones que imponen los distintos sectores de la ciudad en función del riesgo real o potencial. Las principales líneas de acción son:

- estudiar toda la cuenca hidrográfica y, consecuentemente, llegar a soluciones de mayor alcance en el espacio y en el tiempo;
- establecer normas y criterios de proyecto uniformes para toda la cuenca;
- elaborar mapas o planos de zonificación de áreas inundables;
- identificar áreas a ser preservadas o adquiridas por el poder público antes de que sean ocupadas y que sus precios las tornen prohibitivas;
- establecer un escalonamiento temporal en la implantación de las medidas necesarias de acuerdo a los roles previstos y a los recursos disponibles;
- posibilitar el desarrollo urbano de forma armónica por la articulación del Plan de Drenaje con otros existentes en la región (planes Vial, de Desarrollo Industrial, de Transporte Público, de Servicios Básicos, etc.);
- esclarecer a la comunidad en relación al origen y magnitud

de los problemas del drenaje urbano y a las formas propuestas para su solución;

- dar respaldo técnico a la acción política de tramitación de recursos, y
- privilegiar la adopción de medidas preventivas de menor costo y mayor alcance temporal. §

**\*Dr. Ing. Juan Carlos Bertoni.** Profesor Titular de la Cátedra de Hidrología y Procesos Hidráulicos de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.

#### Referencias Bibliográficas

Banco Mundial. (2000). *Argentina, Gestión de los recursos hídricos. Elementos de política para su desarrollo sustentable en el siglo XXI*. Volumen I-Informe Parcial. Informe N° 20729-AR.

BERTONI, J. C. (1996). *Inundaciones Urbanas: La necesidad de conjugar acciones municipales, provinciales y nacionales*. XVI Congreso Nacional del Agua, Neuquén, Argentina.

BERTONI, J. C. y CHEVALLIER, P. (2001). *Histoire de l'Hydrologie et l'Assainissement Urbain en Argentina. Període 1850-2000*. Colloque des Origines et Histoire de l'Hydrologie, IAHS/AISH, PHI International, Dijon, France.

BERTONI, J. C. (ORG.) (2004). *Inundaciones Urbanas en Argentina*. Ed. GWP-SAMTAC. 270 p.

CEPAL (2003). *Evaluación del Impacto de las Inundaciones y del Desbordamiento del Río Salado en la provincia de Santa Fe, República Argentina*. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe -CEPAL- LC/BUE/R. 246.

CHOCAT, B. (1997). *Aménagement urbain et hydrologie. La Houille Blanche*, N° 7, 12-18.

CHOCAT, B. (coord.) (1997). *Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement*, Eurydice 92, Ed. Lavoisier, Paris, Francia, 124 p.

DEPETTRIS, C. A. y PILAR, J. V. (2001). *Uso de medidas no estructurales para controlar el aumento de las áreas impermeables en la ciudad de Resistencia*, 1º Seminario de drenagem urbana do Mercosul, P. Alegre, Brasil. Livro de resumos, 229-232.

DESBORDES, M. (1987). *Contribution à l'analyse et à la modélisation des mécanismes hydrologiques en milieu urbain*. Thèse, Académie de Montpellier, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Francia, 242 p.

GUGLIELMO, R. (1996). *Les grandes métropoles du monde et leur crise*, Ed. A. Colin, Paris, Francia, 268 p.

LOPES DA SILVEIRA, A. L. (1998). *Hidrologia urbana no Brasil*. Chap. 1. *Braga, B.; Tucci, C. & Tozzi, M., Drenagem urbana, gerenciamento, simulação, controle*. Ed. ABRH, Porto Alegre, Brasil, 203 p.

RADOVANOVIC, E. y TARTARINI, J. (1999). *Agua y Saneamiento en Buenos Aires 1580-1930*, Proyecto Patrimonio Histórico CONICET-Aguas Argentinas, Buenos Aires, Argentina.

PORTO, R.; ZAHLE, K.; TUCCI, C. y BIDONE, F. (1993). *Drenagem Urbana*. Cap. 21. Tucci, C.E.M. (org.), *Hidrologia: Ciencia e Aplicacao*, Ed. UFRGS, P. Alegre, Brasil, 590 p.

TOYA, M. A.; RAHMANE, I.; OLIVERA, B.; BERTONI, J. C. y ESTEVE, J. (2003). *Gestión de cuencos de retardo en el sistema de drenaje pluvial urbano de Córdoba*. XIII Congreso Argentino de Ingeniería Sanitaria y Medio Ambiente, AIDIS, Buenos Aires, Argentina.

TUCCI, C.E.M. (1994). *Enchentes Urbanas no Brasil, Revista da Associação Brasileira de Recursos Hídricos*, Vol. 12, N° 1, 117-136.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. (2001). *Storm Hydrology and Urban Drainage*, Cap. 4. Tucci, C. *Humid Tropics Urban Drainage*, UNESCO.

## La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos: el aporte de la Universidad a su proceso de construcción

Mario I. Schreider y Marta Paris\*

### El contexto

El mundo enfrenta muchos cambios al inicio de este nuevo siglo. Un incremento de cerca de 2600 millones de la población mundial dentro del primer cuarto de siglo y sus implicancias en el desarrollo económico, salud humana y producción de alimentos amenazan el ya frágil y estresado ecosistema del planeta. El agua ha emergido como uno de los aspectos más vitales frente a la sociedad y está fuertemente inserta en la Agenda Global. Otros aspectos como salud pública, pobreza, clima, cambio climático, biodiversidad, deforestación y desertificación están íntimamente ligados al agua, su uso y administración. La no sustentabilidad del recurso del agua está marcada por el hecho de que al menos 1100 millones de personas adolecen de acceso al abastecimiento de agua y casi 2500 millones al saneamiento. La disminución de la disponibilidad de agua por habitante se reduce al doble del ritmo con que aumenta la población. Se estima que esta tendencia empeorará en los próximos 25 años, creando un serio déficit de agua, altas cargas contaminantes, aumento de los problemas de salud y serios daños a los ecosistemas. Si bien se ha logrado algún progreso en la última década, la competencia creciente por los escasos recursos del agua para usos industriales, domésticos y agrícolas, y el crecimiento inevitable en el costo del suministro de agua y servicios de saneamiento, constituyen los principales desafíos para el futuro. Para lograr este propósito resulta indispensable encarar una administración efectiva y eficiente de los recursos de agua. Sin ello las metas globales propuestas para la reducción de la pobreza y logro de un crecimiento sostenible serán solamente una utopía.

### El agua en la Agenda Mundial

Como se estableció en la Agenda de las Naciones Unidas (Río de Janeiro, 1992), la gestión integrada de los recursos de agua está basada en la percepción del agua como una parte integral del ecosistema, un recurso natural y un bien económico y social, cuya cantidad y calidad determinan la naturaleza de su utilización. Con ello, los recursos del agua deben ser protegidos, teniendo en cuenta no sólo la disponibilidad del recurso y las necesidades del agua en las actividades humanas, sino también considerando la demanda requerida para la sustentabilidad de los ecosistemas. Además, esta gestión con una visión holística del agua dulce como un recurso finito y vulnerable, y la integración de los planes y programas sectoriales de agua dentro de las políticas nacionales económicas y sociales, son de primordial importancia para las acciones a futuro.

**Las presiones que resultan de las variadas demandas del agua con lo limitado del recurso hace cada vez más urgente la necesidad de encontrar un enfoque nuevo e innovador.**



La necesidad y urgencia de acciones fueron reafirmadas reiteradamente en sucesivas reuniones internacionales: II Foro del Agua y Conferencia Ministerial Mundial (La Haya, 2000), Conferencia Internacional del Agua Dulce (Bonn, 2001) conocida como “Dublin+10”, la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (Johannesburgo, 2002), III Foro Mundial del Agua (Kyoto, 2003), IV Foro Mundial del Agua (México, 2006), cuyo lema fue “Acciones Locales para un Reto Global” y el V Foro Mundial del agua (Estambul, 2009) con el lema “Conciliando las Divisiones por el Agua” reafirman los compromisos asumidos y resalta la necesidad de apropiarse localmente las concepciones generales que hoy plantea la gestión de este elemento. La meta de proveer seguridad de agua en el siglo XXI se refleja en el proceso sin precedentes de amplia participación y discusión de expertos, actores y funcionarios de gobierno en muchas regiones del mundo. Este proceso ha aprovechado además las importantes contribuciones del Consejo Mundial del Agua, que dio comienzo al proceso de Visión Mundial del Agua del I Foro Mundial (Marruecos, 1997) con la formación de la Comisión Mundial del Agua en el siglo XXI y el desarrollo de la Estructura de Acción por la Asociación Global del Agua.

Las presiones que resultan de las variadas demandas del agua con lo limitado del recurso hace cada vez más urgente la necesidad de encontrar un enfoque nuevo e innovador. La comunidad internacional ha reconocido esta necesidad y se ha generado un consenso en los últimos diez años señalando a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) como el enfoque adecuado para dar cuenta de las amenazas a las que está sometida el recurso.

#### Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH)

Debido a que el agua es uno de los elementos vitales que sustentan la vida, su crecimiento y desarrollo, la gestión de este recurso finito debe tomar en cuenta el amplio espectro de factores sociales, económicos y ecológicos. La GIRH -que no es un producto sino un proceso por medio del cual dichos factores se enlazan-, permite la toma de decisiones a todos los niveles dentro de la planificación global y coordinación entre los distintos sectores de la sociedad.

En el marco de la GIRH, las acciones reclamadas por la comunidad internacional están basadas en conceptos y principios que reconocen la importancia de proteger la cantidad y calidad de las fuentes de agua (superficial y subterránea), distinguiendo a la vez las peculiaridades de los distintos destinatarios promoviendo la asignación equitativa y eficiente de los recursos, en un marco de equilibrio entre agua para la naturaleza y agua para el sistema social.

El éxito de la GIRH -es decir la continuidad del proceso y el logro de las metas planteadas-, dependerá de la colaboración y asociación a todos los niveles, desde ciudadanos individuales hasta organizaciones internacionales, basadas en compromisos políticos y mayor conciencia social respecto de la necesidad de agua segura y administración sustentable de los recursos hídricos. Para ello existe una clara

*Debido a que el agua es uno de los elementos vitales que sustentan la vida, su crecimiento y desarrollo, la gestión de este recurso finito debe tomar en cuenta el amplio espectro de factores sociales, económicos y ecológicos.*

necesidad de contar con políticas nacionales coherentes, que permitan evitar la fragmentación y contar con instituciones transparentes y responsables a todo nivel.

#### La GIRH y la gobernabilidad del agua

En repetidas oportunidades se ha señalado que la crisis del agua es una crisis de gobernabilidad, y que en ello juega un papel preponderante la disociación que en el tratamiento del problema ha sido objeto el sistema natural del sistema social. Tratar el problema del agua como el problema de una única disciplina ha llevado a visiones fragmentadas y limitadas y a soluciones parciales que no pudieron dar verdadera cuenta de la dimensión transversal del tema. El cambio de paradigma que la GIRH propone, supone un cambio de concepción que implica profundizar, mejorar y perfeccionar el conocimiento. Es decir, encarar y lograr un proceso de convergencia temática que atraviese el problema y reúna a las componentes disciplinarias en un ejercicio de participación y percepción global. Esto conducirá a soluciones apropiadas, es decir, acordes al conocimiento de la realidad, a las posibilidades de implementación y al sentido de pertenencia de la comunidad.

#### El rol de la Universidad

El conocimiento como clave del desarrollo es un concepto que se aplica a todos los campos de la ciencia. Pero particularmente en el problema del agua, el conocimiento del sistema natural como base conceptual para delimitar las instancias de decisión del sistema social resulta determinante de la sustentabilidad del recurso. En efecto, en la integración de los sistemas naturales y sociales, el concepto de resiliencia del sistema natural requiere del conocimiento como instrumento para apoyar la toma de decisiones que promuevan el desarrollo social, pero sin comprometer las prestaciones básicas del sistema natural como soporte de la vida. En este sentido, “agua para la vida” y “agua para el desarrollo social” son dos facetas del problema que deben abandonar un esquema competitivo y posibilitar una alianza estratégica que respalde el desarrollo sustentable.

La búsqueda de este equilibrio está presente en la formación de ingenieros especializados en recursos hídricos que desde hace 40 años lleva adelante la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL). Para tal fin se promueve la incorporación de visiones amplias que excedan el campo meramente metodológico de la solución técnica de los problemas que se plantean. Su oferta de carreras de posgrado redobla esta apuesta, orientando propuestas específicas que atiendan a los nuevos paradigmas. Dentro de ellas la Maestría en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (MGIHR), resultado del acuerdo interinstitucional entre las Universidades Nacionales de Cuyo, Córdoba y Litoral, en el marco de la Red Argentina de Capacitación y Fortalecimiento de la GIRH (Arg Cap-Net), es un claro ejemplo que plasma la transversalidad disciplinar y



el concepto de área-problema como eje vertebrador de la estructura curricular de la carrera. Sin lugar a dudas, estas propuestas marcan el comienzo de un proceso de cambio, y no son concebidas como un producto acabado. Por el contrario, la formación y la capacitación resulta dinámica y producto del mismo proceso que constituye la GIRH.

La MGIRH es una carrera de posgrado única en su tipo en Latinoamérica y primera en habla hispana. Se trata de un programa transdisciplinario e interdisciplinario dirigido a graduados universitarios de diferentes disciplinas: abogados, contadores, ingenieros, educadores, médicos, economistas, sociólogos, comunicadores, etc. Pretende fortalecer la formación de profesionales que sean capaces de promover un cambio en la concepción actual de la gestión del agua, facilitando el desarrollo de una nueva visión que favorezca la convergencia de ideas y el diálogo de distintos especialistas vinculados a la preservación y aprovechamiento del recurso, pero sin que ello implique pérdida alguna de la identidad temática de los protagonistas.

El Plan de estudios ha sido estructurado de acuerdo a los lineamientos que en este sentido establecen las reglamentaciones para la enseñanza de posgrado de las tres Universidades, y en total correspondencia con las normativas que al efecto fija el Ministerio de Educación de la Nación Argentina. Se resalta que la propia formulación de esta carrera de posgrado dio lugar al inicio de un verdadero proceso de integración –en forma concordante con la definición de GIRH– entre las Instituciones de Enseñanza e Investigación, involucradas en la misma.

El carácter asociativo del postgrado y el contexto social y natural en el que se encuentran cada una de las Universidades, promueve la optimización de los recursos disponibles (humanos, económicos, edilicios, etc.), planteando así una estrategia dirigida a potenciar sus fortalezas y salvar sus debilidades. Con este espíritu ha comenzado en 2009 la primera cohorte de esta carrera. Así los cursos del ciclo de formación básica fueron impartidos colaborativamente en las tres sedes por profesores de las Universidades Nacionales del Litoral, Córdoba y Cuyo e incluso con la participación de especialistas de otras Universidades e Instituciones que integran Arg Cap-Net.

En la FICH revisten 20 alumnos formales. Ingenieros en recursos hídricos, civiles, mecánicos, abogados, biólogos, bioquímicos, analistas en sistema, economistas con un importante equilibrio de género, provenientes de diferentes provincias de Argentina e incluso de otros países del continente. Estos profesionales –que laboran en organismos provinciales encargados o vinculados al manejo de los recursos hídricos y/o al ambiente, empresas prestadoras del servicio de agua potable y cloacas, universidades, consultoras, municipios, organizaciones no gubernamentales, etc.–, han dado inicio a las distintas actividades que involucra el desarrollo de la carrera. Se espera que como resultado de ello se elaboren propuestas de tesis orientadas a proveer soluciones originales a problemas particulares de acuerdo a los principios de eficiencia, equidad y sustentabilidad ambiental que

**“Agua para la vida” y “agua para el desarrollo social” son dos facetas del problema que deben abandonar un esquema competitivo y posibilitar una alianza estratégica que respalde el desarrollo sustentable.**

son característicos de la GIRH. De este modo, a través de la MGIRH se espera contribuir a que, en el mediano plazo, se produzca un cambio conceptual y operativo en el manejo del agua en la Argentina y Latinoamérica.

Indudablemente este esfuerzo académico dirigido al desarrollo de capacidades requiere acciones en otros ámbitos y niveles. Es por ello que la FICH mantiene su compromiso con la temática y promueve el fortalecimiento de un ambiente propicio que dé marco a la enseñanza de grado y postgrado. La organización de talleres, cursos para capacitación de capacitadores, seminarios, jornadas de concientización y otros eventos, en donde sus especialistas encaran una participación activa y dan cuenta de otras herramientas igualmente válidas y necesarias para avanzar hacia la GIRH. Asimismo, la identificación y promoción de líneas de investigación que contemplen la visión de este nuevo paradigma para los recursos hídricos, se señala como la fuente de conocimiento que permitirá consolidar instancias de capacitación sustentadas en el saber científico del tema.

En síntesis, ante un problema que requiere de un enfoque integrado, y donde el conocimiento se constituye en un instrumento indispensable para brindar respuestas acordes, la FICH ha adoptado una posición pro activa, participando de redes y otras estructuras de asociación que promueven el desarrollo de la GIRH. Asimismo, ha recurrido a estrategias innovadoras en la formulación y desarrollo de sus propuestas académicas, con el convencimiento de que no se podrá resolver el problema si no se modifican conductas y procedimientos, y si no se nutre a esos procedimientos de un sustento metodológico que refleje adecuadamente las características y complejidades que hoy plantea la gestión del agua.

En todo este proceso, la FICH ha sido conciente de la necesidad de que las propuestas a realizar, conlleven una participación amplia, de los actores involucrados. En efecto, tanto en las acciones de capacitación de capacitadores, como en aquellas que son propias del dictado de la Maestría, se promueve la incorporación de organismos gubernamentales, no gubernamentales, y otras organizaciones de la sociedad civil, quienes al tiempo de sumarse en muchas de las actividades que desde la FICH se proponen, en ocasiones incorporan sus recursos humanos al desarrollo de las mismas, facilitando una sinergia positiva entre todos los participantes, y sumando experiencias locales que enriquecen los contenidos que conforman la actividad.

Sin lugar a dudas el desafío es muy grande. El esfuerzo que se deberá poner en ello también. Pero la importancia de lo que está en juego, “la vida misma”, bien lo vale. §

*\*Ing. Mario Schreider. Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral. Presidente de la Red Argentina de Capacitación y Fortalecimiento de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (Arg Cap-Net).*

*\*Ing. Marta del Carmen Paris. Coordinadora Académica de la Maestría en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral.*



## La gestión de aguas. Trabajo en red y planificación integrada

Por Jorge Pilar \*

La gestión de aguas es una actividad analítica y creativa, cuyo objetivo es la formulación de principios, directrices, normas y, también, la estructuración de sistemas gerenciales y de toma de decisiones sobre el uso, control y protección de los recursos hídricos. Debería estar integrada por los siguientes elementos:

- Política de aguas: formada por un conjunto coherente de principios y doctrinas que reflejen los deseos y expectativas de la sociedad y de las esferas gubernamentales sobre el uso de las aguas.
- Plan director: es un estudio prospectivo que busca adecuar el uso y control de los recursos hídricos a las expectativas sociales y/o gubernamentales, expresadas formal o informalmente en la Política de Aguas. La actividad de elaboración de estos planes se denomina, naturalmente, planificación o planeamiento.
- Gerenciamiento de las aguas: es el conjunto de acciones gubernamentales destinadas a regular y reglamentar el uso de las aguas.

El gerenciamiento, como acción de gobierno, debería estar constituido por:

- un modelo de gerenciamiento, que establezca la organización legal e institucional, y
- un sistema de gerenciamiento, que reúna los instrumentos para la ejecución de los planes directores.

Se esté o no de acuerdo con las definiciones y enunciaciones anteriores, lo cierto es que es muy complejo manejar un tema con tantas facetas diferentes como lo es el agua: alimento, insumo de procesos industriales, medio de transporte y es también un factor de riesgo, entre otras tantas. Muchas veces, esa complejidad implica conflictos. Vale la pena recordar que la palabra que hoy utilizamos para definir personas en conflicto tiene su etimología relacionada con el agua: “rival” proviene del latín “rivalis”, vocablo que era usado para referirse a personas que vivían en las márgenes de un río y tenían derecho a usar sus aguas.

### El trabajo en red

Una red es, en esencia, un sistema de contención. En ese sentido, es interesante asociar el concepto de red, y más precisamente el trabajo en red, a la gestión de un recurso vital y vulnerable como el agua y que, por lo tanto, obliga a no equivocarse.

*Es necesario instalar en la sociedad la necesidad de contar con una gestión integral e integrada de sus recursos hídricos, que sea, además, descentralizada y participativa.*

Las redes conectan personas y grupos de personas con diferente bagaje de experiencias, positivas o no positivas, en algún tema. Por lo tanto, el trabajo en red podría ser muy beneficioso, tanto en la fase de planificación estratégica (plan director), como en el gerenciamiento.

En Argentina la utilización de redes está más difundida en los ámbitos académicos y de investigación científica que en los de gestión. ¿Por qué? Tal vez, la explicación esté relacionada con el hecho de que en nuestro país la gestión integrada de los recursos hídricos no está muy difundida. La gestión integrada contempla que los múltiples usos del agua son interdependientes, teniendo en cuenta los efectos de cada uno de ellos sobre los demás y considerando globalmente las metas sociales y económicas, en un contexto de desarrollo ambientalmente sostenible.

Por otra parte, pareciera que es una costumbre argentina preferir “malo conocido” a “bueno por conocer”, por lo que, desde esa perspectiva, no habría terreno suficientemente fértil para el intercambio de experiencias y, por lo tanto, tampoco para la interacción a través de redes.

Es notorio que en los encuentros, jornadas y congresos referidos a la gestión integrada de los recursos hídricos siempre se vean los mismos participantes. Un tema de tanta importancia estratégica no debería transformarse en algo parecido a una “misa entre curas”; ¡hay que salir a predicar fuera del templo! Es necesario (¿imprescindible?) instalar en la sociedad la necesidad de contar con una gestión integral e integrada de sus recursos hídricos, que sea, además, descentralizada y participativa.

### Planificación integrada, ¿la solución a problemas comunes?

Argentina es muy extensa geográficamente hablando, con climas y relieves muy variados, lo que hace que la problemática de sus recursos hídricos sea compleja. Por otra parte, entre provincias y regiones existen diferencias en lo relacionado a la normativa legal referida a sus aguas e, inclusive, diferencias de tipo culturales.

En el país existen varios casos de conflictos potenciales (y también algunos conflictos reales), por causa de recursos hídricos compartidos, como ríos y cuerpos de agua interjurisdiccionales. Pero para la solución de estos conflictos no debería recurrirse a “trasplantar” experiencias extranjeras sin analizar previamente si ellas son o no adaptables a nuestra realidad legal, social, económica y cultural.

Una red fuerte, orientada a la gestión integral e integrada de nuestros recursos hídricos debería estar articulada por el Consejo Hídrico Federal –COHIFE–, que reúne a las autoridades hídricas de las provincias, que son las que cotidianamente se enfrentan con los problemas relacionados con el agua.

Los 49 Principios Rectores de la Política Hídrica de la República Argentina, elaborados por el COHIFE, abarcan íntegramente la complejidad hídrica. Ponerlos plenamente en práctica sería un primer gran paso orientado hacia la gestión integral e integrada de nuestros recursos hídricos. §

*En el país existen varios casos de conflictos potenciales (y también algunos conflictos reales), por causa de recursos hídricos compartidos, como ríos y cuerpos de agua interjurisdiccionales.*

*\*Dr. Ing. Jorge Pilar.  
Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste. Ex Presidente del COHIFE*



## Instituto de Investigaciones Hidráulicas de la UNSJ. Una experiencia de gestión

Jorge A. Orellano Pelle\*

Actualmente, sostener la misión social de la Universidad implica servir a la comunidad mediante la tarea docente, la investigación científica, la extensión y la transferencia de servicios, con el impulso de políticas y programas de investigación y de extensión, y de actuaciones críticas sistemáticas. Esto implica un sentido de pertinencia de la Universidad que obliga a conocer la realidad que la circunda, con suficiente precisión, intentando cumplir un rol activo en pro de un mejoramiento de las condiciones generales de vida de la sociedad argentina, apuntando a la realización de su gente, particularmente de los jóvenes.

En el Instituto de Investigaciones Hidráulicas venimos desarrollando intensamente en la práctica concreta y en el contexto de la Fundación de la Universidad, desde hace muchos años, el concepto de pertinencia, lo cual ha implicado una identificación de la Universidad con lo que realmente la sociedad ve o espera de esta Casa de Estudios, propiciando una mayor comprensión entre ellas. Esto ha tendido a lograr una integración efectiva, accionando programas vinculados con la realidad social.

Dentro de este complejo que constituye la pertinencia, la sociedad considera a la excelencia como inherente e indivisible del “qué hacer” de la Universidad, de lo que se desprende una merecida confianza puesta en ella, en todos los planos.

Por otra parte, la Universidad tiene la obligación de formar profesionales del mejor nivel, y para ello sus distintos estamentos, particularmente docente y estudiantil, deben ser generadores de avances del conocimiento. Para conseguirlo, hay que estar convencido de que se trata de una cuestión natural a la vida universitaria: impulsar, en el ámbito académico-científico, todos los componentes imprescindibles para lograr la generación de conocimiento. Y esto supone incorporar, como instrumentos esenciales, la formación de recursos humanos, el logro de capacidades de dirección reconocida y liderazgos académicos, la producción de flujos de información, vinculados a centros de investigación relevantes en todo el mundo, y la organización de estructuras operativas eficientes. Constituyen también aspectos esenciales el estímulo a los jóvenes para que se integren en la actividad de creación del conocimiento, motivándolos a comprometerse con proyectos y liderazgos académicos.

De este modo, docentes e investigadores, manteniendo sus particularidades, es posible que se sumen a proyectos con alto impacto científico-social.

La movilidad social, la pertinencia, la autonomía y la excelencia universitaria, están estrechamente ligados. Los programas relaciona-

dos a la generación de conocimiento y los proyectos de investigación deben responder a las necesidades de cambio de la propia sociedad, contribuyendo a que ésta sea más autónoma y soberana, mejorando las posibilidades de desarrollo personal, comunitario y empresarial y, también, del nivel de vida de la población. Para ello, la interacción con el medio es de especial relevancia, en el marco de respeto de la actividad de nuestros egresados y de la actividad privada.

### Instituto de Investigaciones Hidráulicas

El IDIH es una unidad académica de investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan, con una aguilada experiencia adquirida durante los 60 años en la actividad de investigación, desarrollo, asesoramiento y asistencia técnica vinculados al conocimiento y manejo racional de los Recursos Hídricos.

Los objetivos apuntan a:

- Propender al conocimiento científico e integral de los Recursos Hídricos.
- Aportar al conocimiento de las estructuras hidráulicas, mediante la experimentación en modelos físicos a escala reducida.
- Estudiar, evaluar, investigar y desarrollar sistemas no tradicionales de provisión de agua, adecuados a las condiciones de la región.
- Evaluar sistemas de uso conjunto de los recursos hídricos para su óptima operación.
- Investigar soluciones para los problemas de operación y conservación de las áreas de bajo riego.
- Analizar la contaminación hídrica y el impacto de las obras hidráulicas en el ambiente.
- Formar y actualizar permanentemente los Recursos Humanos, mediante el dictado de cursos de grado y postgrado, becas, pasantías, etc.
- Propender al desarrollo y utilización de metodologías e instrumentación de medición para una adecuada transferencia de conocimientos y tecnologías al medio, asegurándose que éstas se adecuen a las Normas ISO 17.025.

Para el logro de sus objetivos el IDIH debió evaluar permanentemente sus carreras de grado y postgrado y programas a través de CONEAU, contrastándolos con las necesidades y requerimientos previstos para el desarrollo del país y de nuestro medio. Esto permitió decidir si se mantenían o se modificaban, suprimían o se creaban, nuevas carreras o programas. Para estos propósitos se debió atender a las tendencias que indicaban las perspectivas del desarrollo provincial y nacional, las políticas gubernamentales al respecto, el futuro empresarial e industrial, el avance científico-tecnológico y la propensión organizacional de la sociedad, orientados fundamentalmente a los emprendimientos agrícolas y mineros.

La formación especializada de recursos humanos se concreta actualmente, mediante la carrera de grado con sesenta años de vida, a

*Estudiar, evaluar, investigar y desarrollar sistemas no tradicionales de provisión de agua, adecuados a las condiciones de la región.*



través de la carrera de especialización en Tecnologías del Agua (usos urbanos, industrial, rural y minero) y, a partir del año 2006, se ha puesto en marcha la Maestría en Hidrología Matemática e Hidráulica. Además, se dictan cursos regulares de postgrado y capacitación y perfeccionamiento para empresas.

La intensa actividad de transferencia se fundamenta en las investigaciones aplicadas, cuyos resultados se dan a conocer mediante informes a los comitentes, publicaciones en congresos y revistas especializadas nacionales e internacionales.

La Fundación Universidad Nacional de San Juan (FUUNSA) proporciona al Instituto de Investigaciones Hidráulicas el marco administrativo necesario para la concreción de sus actividades de transferencia al sector productivo.

El IDIH también ha trabajado como consultor de constructoras y proyectistas privados, al igual que con organismos públicos, comprometidos en la materialización de grandes obras de infraestructura hídrica, permitiendo a nuestra Universidad competir en licitaciones nacionales e internacionales. Esto ha inducido a que todos los recursos humanos, en las áreas estratégicas de la ciencia y la tecnología, manejen modernos métodos altamente competitivos.

Asimismo, el Instituto está desarrollando estudios hidrológicos que permitan determinar la disponibilidad de los recursos hídricos de los ríos y arroyos de la zona de influencia, con el objeto de lograr la caracterización de las cuencas, como también, de cuerpos de agua superficiales, basándose en investigaciones específicas del sitio, por medio de campañas de campo que incluyen tareas tales como aforos, determinación de geometrías de escurrimiento y delimitación de cuencas.

Para cuantificar la cantidad y calidad del recurso, se vienen realizando campañas de aforo y toma de muestras para análisis en laboratorio.

Además, se están diseñando, construyendo y calibrando estructuras de aforo, las cuales son instaladas en los cauces de la zona, para obtener un registro continuo de caudales.

También, se están realizando análisis de las variables climatológicas, como evaporación y precipitaciones pluviales y nivales, datos éstos necesarios para el diseño de obras de infraestructura.

Otro de los estudios desarrollados se refiere a la optimización del diseño de las áreas de infiltración de los líquidos residuales tratados (disposición final) para los campamentos Veladero, Sepultura y Peñasquito, y para las plantas de tratamiento de los residuales de otras áreas del proyecto.

También, se realiza un análisis de la información obtenida bianualmente en el monitoreo ambiental en la zona de influencia del proyecto minero Veladero, con el objeto de detectar posibles desvíos respecto a la línea de base ambiental establecida por la DIA.

Como un aporte al sistema de riego de Jachal, la empresa encomendó al Instituto de Investigaciones Hidráulicas la actualización de los

## *Propender al desarrollo y utilización de metodologías e instrumentación de medición para una adecuada transferencia de conocimientos y tecnologías al medio.*

costos para las Alternativas del Proyecto "Sistematización de Riego, Drenaje, Defensas de Crecientes" del Departamento de Jachal, ejecutado por el Departamento de Estudios y Proyectos del Departamento de Hidráulica de la provincia de San Juan.

Nuestra Universidad se propone continuar apostando a sostener y profundizar el soporte normativo y financiero que se impuso desde el Consejo Superior, a partir de 1990 y que fue ajustándose hasta nuestros días. Esto permitió enmarcarse sin dificultades, y en muchos casos en forma preferencial, en las distintas ofertas del Ministerio de Cultura y Educación.

Los proyectos de investigación, ya ejecutados o en vías de realización, que superan los 1.200, son muestra clara de una eficaz política de estímulo a la producción científica, humanística y artística.

### **Profesionales y Científicos**

La Universidad, para el logro de sus objetivos, deberá evaluar los actuales instrumentos de transferencia de conocimientos a sus educandos, contrastándolos con las necesidades y requerimientos que se visualicen para el desarrollo de nuestro medio y del país. Lo que permitirá decidir si se mantienen, modifican, suprimen o se crean nuevas carreras o programas. Como en toda institución educacional y, en especial, aquellas que tienen entre otras metas la formación de profesionales como la nuestra, es necesario, analizar en qué medida sus egresados, reconocen haber alcanzado un buen nivel de formación, respondiendo, también, a las exigencias que les impone el medio laboral y propiciando, además, la protección del ambiente.

Es posible plantear el crecimiento haciendo hincapié, prioritariamente, en el desarrollo de las ciencias básicas, vinculando a docentes-investigadores al mundo científico nacional e internacional, apoyando su perfeccionamiento y participación en reuniones científicas, como también, incorporando redes de información eficientes y publicaciones científicas periódicas en todas las áreas. §

*\* Ing. Jorge Orellano Pelle  
Director del Instituto de Investigaciones Hidráulicas, IDIH,  
de la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Nacional de San Juan.*

### *Aportes al Sector Productivo*

La modernización tecnológica del sector productivo regional requiere de manera imprescindible de la Universidad. Sin la producción continua de conocimiento científico, no es posible modernizar los procedimientos y mejorar los productos, exigencia insoslayable de nuestro mercado consumidor.

### *Proyectos*

- Veladero y Pascua Lama (oro) y su influencia en el embalse Cuesta del Viento y el agua en la cuenca del río Jachal.
- Gualcamayo (oro) y su influencia en el agua en la cuenca del río Gualcamayo.
- Pachon, (cobre) y casposo (oro) y su influencia en los embalses Caracoles y Ullum y el agua en la cuenca del río San Juan.

### *Estudios*

- Información hidrológica de base para el IIA para los proyectos antes citados.
- Efecto de la extracción de agua sobre los usuarios en los valles aguas abajo y mitigación del impacto de extracción de agua.
- Cursos de capacitación en hidrometría al personal.
- Estudios del impacto ambiental.
- Estudios de manejo de los residuos sólidos.
- Obtención en base a los derechos de agua que se posee sobre los cauces en la zona de influencia.



## La legislación ambiental y algunos problemas para su ubicación en el actual Sistema Jurídico Argentino

\*Marta Susana Julia

Para quienes deben enfrentar situaciones ambientales asociadas a los recursos hídricos, en un lugar y tiempo determinados, necesitan conocer el marco normativo al que están sujetos o el sistema jurídico en el que se encuentran insertos.

En muchos casos, conocer o identificar el marco normativo se reduce a elaborar un listado de leyes vigentes con el criterio de quien las releva y se presenta como “el marco normativo vigente en materia ambiental” o el “marco normativo vigente en materia de recursos hídricos”. Esto supone una visión primitiva y riesgosa de delimitar el material normativo a una situación ambiental o hídrica determinada, no explicitando, en muchos casos, el criterio sobre el cual se ha desarrollado.

A continuación, se establecen algunos aspectos a tener en cuenta para abordar la legislación ambiental en un sistema jurídico y poder acercarnos al contexto normativo que debemos tener en cuenta en relación a un análisis de situaciones ambientales concretas, como aquellas vinculadas a los recursos hídricos.

El sistema jurídico, sus principios y reglas, y su funcionamiento, responden al orden establecido en la Constitución Nacional y en un conjunto de leyes de diversa jerarquía que se encuentran vigentes formando parte del sistema. Esta referencia parece obvia. No obstante, en muchos casos se realizan enfoques incorrectos porque se parte de un análisis que no reconoce los principios básicos y las reglas establecidas en la propia Constitución. Se complementa este primer acercamiento al sistema, con las características particulares de la estructura federal argentina, la cual implica tres niveles de gobierno: nacional, provincial y municipal, con jurisdicciones y competencias propias. En consecuencia, podemos observar el sistema jurídico integrado por 23 subsistemas diferentes y la ciudad Autónoma de Buenos Aires (con su particularidad).

A su vez, el subsistema de cada provincia se subdivide en los municipios y comunas que lo conforman. En este simplificado formato se formulan normas, en el marco de las competencias y jurisdicciones de cada ámbito, generando un importante y numeroso material normativo en el cual debemos indagar su pertenencia ambiental y la de la situación objeto de estudio, que en este caso, se vincula a los recursos hídricos.

El primer obstáculo es determinar en el marco del sistema donde empieza y termina lo ambiental y establecer un recorte que permita distinguir cuál es la legislación aplicable. Considerando este aspecto, diversos autores han clasificado las leyes ambientales (Brañes, 2000),

(Martín Mateo, 1992), entre otros. Algunos, han creado nomencladores temáticos para poder llevar a cabo la identificación de las leyes de acuerdo a los temas que se “suponen” ambientales (Zeballos de Sisto, 1994) o el propio nomenclador internacional ELIS).

Si bien estos intentos logran ordenar y sistematizar la búsqueda, hoy tenemos una legislación que puede describirse como difusa y dispersa, que proviene de épocas diversas y ha sido dictada con objetivos diferentes.

En la actualidad, existe una enorme producción de normas ambientales en los distintos sistemas jurídicos, distinguiéndose temáticas propiamente ambientales: las relativas a los distintos elementos que forman parte del ambiente (aire, agua, suelo), al uso de instrumentos de evaluación de impacto ambiental y auditorías ambientales, para citar sólo algunas. Determinar el material normativo aplicable a los recursos hídricos, implica distinguir, en primer lugar, las normas específicamente ambientales del sistema y, en segundo lugar, también, la legislación de fondo o sustancial, las leyes especiales y las leyes de procedimientos, en tanto sean aplicables, ya que también forman parte del sistema.

Asimismo, se debe tener en cuenta que en la distribución de competencias que realiza la Constitución Nacional, las provincias tienen el dominio de sus recursos naturales, por lo tanto, la mayor parte de la regulación hídrica es provincial. La regulación de los recursos hídricos, en cuanto a su uso y administración, en relación a los aspectos propios de la gestión, tiene su propio perfil en cada provincia.

Debe considerarse que:

- Las provincias han regulado a través de los Códigos de aguas y las leyes de aguas, mediante los cuales establecen el uso y administración de sus aguas.
- La extensión de sus cuencas, muchas veces, supera el límite de sus jurisdicciones generando la necesidad de establecer acuerdos interjurisdiccionales y el diseño de instancias legales que permitan su regulación, coordinación y gestión de los recursos hídricos.

### Las leyes de presupuestos mínimos y la situación jurídica ambiental a partir de la reforma constitucional de 1994

En esta aproximación al sistema un importante acontecimiento se produjo con la reforma de la Constitución Nacional (Art. 41), en 1994, que incorporó la denominada cláusula ambiental, estableciendo un cambio en el orden jurídico-ambiental dentro del sistema argentino. Las normas de presupuestos mínimos que puede dictar la Nación conforman una categoría nueva, que se suma a las leyes de fondo y a la legislación especial, y constituye una legislación típicamente ambiental.

La reforma constitucional habilitó a la Nación al dictado de las leyes de presupuestos mínimos en materia ambiental, lo que inició una discusión doctrinal y de especialistas muy interesante desde distintas perspectivas. Se replanteó el concepto mismo de presupuestos mínimos ambientales, su alcance, significado, consecuencias y modifi-

*El primer obstáculo es determinar en el marco del sistema donde empieza y termina lo ambiental y establecer un recorte que permita distinguir cuál es la legislación aplicable.*



caciones al actual sistema jurídico. También, ha sido muy importante la incorporación de la temática ambiental realizada por el artículo citado, ya que incluye un concepto de ambiente amplio, en el contexto de un desarrollo sustentable, donde quedan inmersos el uso racional de los recursos naturales, la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, la educación ambiental e información ambiental, como también, las obligaciones de proveer este derecho de las autoridades.

Las nuevas leyes de presupuesto mínimo vienen a incorporar al sistema no solo las temáticas que se han sancionado, tales como: ley general del ambiente, de gestión ambiental de aguas, de gestión de los residuos provenientes de actividades industriales y de actividades de servicios, de acceso a la información ambiental, de gestión de residuos domiciliarios, sino también se agrega el hecho de modificar el propio orden ambiental.

La ley general del ambiente es una ley de orden público a la cual debe adaptarse todo el sistema y se establece como prioridad en la interpretación del sistema jurídico, como lo es, también, la aplicación de los principios que incorpora y los objetivos de política ambiental que fija.

Es por lo anteriormente considerado que cuando observamos el Sistema Jurídico Argentino y lo que representa en características y tipos de normas que lo conforman (leyes de presupuestos mínimos, leyes de fondo, leyes especiales), estamos solamente dimensionando un nivel de análisis nacional. A todo ello, debe sumarse la legislación provincial y municipal existente en el área o sector de que se trate o el tipo de problemática que sea el objeto de estudio de una situación determinada.

En el caso de los recursos hídricos, debe destacarse que cada provincia usa, administra y gestiona de acuerdo a sus propias pautas los recursos de su territorio.

Desde este punto de vista, es importante destacar la complejidad del sistema, como también, la construcción que, desde el Derecho Ambiental o la perspectiva ambiental del Derecho, se ha ido elaborando para resolver las situaciones ambientales vinculadas a los recursos hídricos de manera apropiada, no solo jurídicamente, sino también, ambientalmente.

### El análisis desde una nueva perspectiva ambiental

El preguntarse cómo mirar estas nuevas situaciones jurídicas que derivan de las temáticas o problemas ambientales en nuestro sistema jurídico, nos llevó a plantear una mirada distinta y una nueva perspectiva. El primer aspecto que se debe marcar, y que diferencia el análisis de las situaciones jurídicas ambientales, es el propio abordaje de los problemas, dónde se debe tener en cuenta la ubicación del problema o situación (la temática de los recursos hídricos, por ejemplo), su contexto, las unidades ambientales mayores en la que se encuentra involucrado (área, zona, cuenca, región), lo que va a permitir observar

*La ley general del ambiente es una ley de orden público a la cual debe adaptarse todo el sistema y se establece como prioridad en la interpretación del sistema jurídico.*

la situación en un marco de análisis mayor, donde el contexto de análisis responda a consideraciones ambientales y faciliten la selección del material normativo más adecuado.

Este abordaje nos brinda una mirada más amplia y permite plantear, desde la perspectiva ambiental del Derecho, las selecciones normativas en función de la situación y el ambiente involucrado, contando con un abanico de respuestas jurídicas orientadas a múltiples situaciones que resultan de la problemática.

No debemos perder de vista que existe una función preventiva de la normativa ambiental y, por tanto, una enorme construcción de ello en la materia, destacándose los pasos y procesos creados para limitar, controlar y evitar situaciones ambientales de mayor gravedad.

Cuando ya tenemos una situación instalada, con efectos e impactos sobre las personas, los bienes o el ambiente, es donde debemos actuar sobre los resultados y evitar más efectos que los ya producidos. Existen, de acuerdo a los aspectos destacados, distintos niveles o escalas de análisis de las situaciones que se plantean, lo que nos permite realizar un conjunto de distinciones acerca de cómo y de qué manera abordar los problemas.

Los aportes de las distintas ramas del Derecho han avanzado en la resolución de conflictos que, si bien no son ambientales, pueden servir de base para la consideración de la temática. En particular, es de destacar la enorme tarea en la que se encuentra el Derecho Ambiental elaborando y reforzando su construcción teórica. Muchos autores han aportado con sus publicaciones a esta nueva rama en elaboración.

El operador jurídico tiene un rol importante en la selección y delimitación del contexto de análisis de cada situación objeto de estudio y ayuda al gestor o a los distintos actores involucrados a intentar resolver los conflictos derivados de la misma. Cuando se hace referencia al operador jurídico se involucra al abogado, al asesor, al responsable de las áreas jurídicas de los sectores administrativos gubernamentales de los distintos niveles, a los integrantes de la administración de justicia, en sus distintos roles (fiscales, jueces, integrantes de las diversas áreas de la administración), a los asesores de los legisladores, a los abogados que forman parte de las fuerzas de seguridad, para mencionar algunos sectores donde la dimensión ambiental debe incorporarse e instalarse definitivamente.

El operador jurídico es el protagonista indispensable para el abordaje de toda situación ambiental desde la disciplina del Derecho.

Este desafío reclama una formación sistemática de los operadores en esta área, ya que la complejidad de la problemática requiere una formación interdisciplinaria, por una parte, que le permita conocer los conceptos básicos que integran la diversidad de problemas ambientales, y por otra, la propia especialidad en el área jurídica. Esta aproximación al tema permite destacar y difundir el enorme campo y la importante tarea a realizar en materia ambiental desde una perspectiva ambiental del Derecho. §

*El operador jurídico es el protagonista indispensable para el abordaje de toda situación ambiental*

*\* Marta Susana Juliá  
Investigadora del Centro de Investigaciones Jurídicas y Sociales de la Facultad de Derecho y Ciencias Sociales de la UNC.*



## Referencias Bibliográficas

BEC, E., FRANCO, H. (2005).

La mala definición de presupuestos mínimos de la Ley General del Ambiente. IV, 1445.

BRAÑES, R. (2000). Manual de Derecho Ambiental Mexicano, Fundación Mexicana para la Educación Ambiental. Fondo de Cultura Económica, México.

— (2001). El desarrollo del Derecho Ambiental Latinoamericano y su aplicación. PNUMA, México.

DE BENEDICTUS, L. (2004, 23 de julio) ¿Qué son los presupuestos mínimos de protección ambiental? LL.

ESAIN, J. (2004). El federalismo ambiental. Reparto de competencias legislativas en materia ambiental. CN y Ley General del Ambiente 25675, JA, I-776.

JULIA, M. S. (2006). Algunas estrategias en la construcción de un nuevo esquema jurídico ambiental. Revista de Derecho Ambiental. Lexis Nexos, N° 8, octubre-diciembre.

— (2006). Algunos elementos de la gestión pública del ambiente. Anuario IX del Centro de Investigaciones Jurídicas y Sociales, Facultad de Derecho y Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

— (2005). Reflexiones y aportes para la Construcción de teoría en Derecho Ambiental. Anuario VIII del Centro de Investigaciones Jurídicas y Sociales, Facultad de Derecho y Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

— (2005, enero-febrero). La discusión del concepto de presupuesto mínimo en el marco de un nuevo orden ambiental político, jurídico e institucional. Revista de Derecho Ambiental, Lexis Nexis, N°1.

LUGONES, J.N. (1997). El artículo 41 de la Constitución Nacional y la jurisdicción. JA- IV-1029.

— (2005, abril/junio). Algunas cuestiones de límites y vocabulario en el derecho ambiental argentino. RDA, Lexis Nexis, N° 12, p. 59.

MARTIN MATEO, R. (1992). Tratado de Derecho Ambiental, Tomo I y II, Ed. Trivium, España.

MOYANO, A. (2004, 22 de abril). Leyes de presupuesto mínimo ambiental (La formación del derecho ambiental en el Estado Federal argentino por complementación de las reglas de derecho del Congreso con las normas jurídicas provinciales), Ed. Serie Especial Derecho Ambiental, p.4.

PIGRETTO, E. (2002). Los presupuestos mínimos de protección ambiental en materia de residuos industriales y de servicios de la ley 25612. Adla, p.129.

VALLS, M.F. (2003). La Ley 25675, Ley General del Ambiente. Una miscelánea de medidas protectoras del ambiente uniformes que sigue dispersando la legislación ambiental federal. JA, III-1294.

## Propuesta Metodológica para la valoración económica de los Recursos Hídricos del NE de la Provincia de Córdoba

Cesar Daniel Pietrantonio\*

La laguna Mar Chiquita, conjuntamente con los bañados del río Dulce (su principal tributario), constituye un humedal que cumple procesos hidrológicos y ecológicos fundamentales para el equilibrio ambiental y la biodiversidad en su vasta región de influencia.

El lugar es decisivo para la vida de una cantidad enorme de especies de la flora y la fauna (algunas de ellas en peligro de extinción) y parada obligada y albergue transitorio de las colonias de aves migratorias que recorren permanentemente el continente y el país (Sayds)<sup>1</sup>.

La Laguna Mar Chiquita y los Bañados de Río Dulce aportan beneficios esenciales a las poblaciones locales, con ingresos y alimentos, recursos agrícola-ganaderos, leña y recursos pesqueros, además de poseer un gran potencial turístico, educativo y científico.

El recurso que limitaría el desarrollo de la región es el agua; en los últimos años la región ha estado sometida a una presión cada vez mayor, como resultado del avance de la agricultura (cultivo de soja) y la utilización de fertilizantes nitrogenados, la ejecución de planes de aprovechamiento de recursos hídricos y la degradación progresiva en la cuenca superior del Salí-Dulce (Tucumán y Santiago. Del Estero), y la contaminación creciente de los dos ríos que nacen en las sierras de Córdoba y vierten sus aguas en la laguna desde el sur: el Xanaes y el Suquia.

Estas actividades se vienen realizando sin tener en cuenta su impacto en la cuenca inferior, ni las posibles pérdidas de los beneficios económicos que se producen actualmente en la región generados por la Laguna y los Bañados.

La valoración económica se define como el intento de asignar valores cuantitativos a los bienes y servicios proporcionados por la Laguna Mar Chiquita, independientemente si existen o no precios de mercado que contribuyan a hacerlo. Esto plantea la necesidad de analizar todos los valores susceptibles de ganar y perder destinando el recurso hídrico a los distintos usos alternativos.

En este contexto, los beneficios proporcionados por la Laguna y los Bañados, pueden clasificarse en valores de uso (directo, indirecto y de opción) y no uso (de existencia). De esta forma se abarca todas las posibles formas de beneficios que se obtienen de un ecosistema como este (Barbier, 1997).

Por lo tanto, las actividades de desarrollo aguas arriba o abajo no deberían continuar a menos que se demuestre que sus beneficios ne-

**La valoración económica se define como el intento de asignar valores cuantitativos a los bienes y servicios proporcionados por la Laguna Mar Chiquita, independientemente si existen o no precios de mercado que contribuyan a hacerlo.**

1. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación



tos exceden a los beneficios netos sacrificados resultantes del deterioro de las aguas de la región.

De esta manera es imprescindible una adecuada planificación del uso y manejo del agua, contemplando principalmente que el agua es un recurso natural limitado, condicionante del desarrollo de la región e íntimamente ligado a la calidad de vida de sus habitantes y su ecosistema. Debido a que las medidas a adoptar son de gran complejidad y elevado costo, las mismas deberán ser el resultado de sólidos estudios técnico-económicos. (PICTOR, 2004).

Es importante aclarar que el criterio prevaeciente en el presente artículo es el **Criterio de Eficiencia**. Es decir que los Recursos Ambientales de la Región deben asignarse a los usos que reporten ganancias netas a la sociedad; quién gana o quién pierde en la práctica como resultado de un uso determinado de los Recursos en cuestión, no es una cuestión que forme parte del mencionado Criterio de Eficiencia en sí. De esta manera puede que un uso en particular sea eficiente en los términos planteados en el presente estudio, pero al mismo tiempo tenga importantes efectos distributivos negativos: en este caso, es importante evaluar las posibles acciones incorporando en el análisis aspectos que contemplen los efectos distributivos.

La valoración económica se realiza a través de diversas metodologías, según el tipo de bien o servicio que se esté valorando, lo cual permite que los resultados se conviertan en una herramienta de planificación en la toma de decisiones.

El principal objetivo de la valoración económica de los recursos hídricos del NE de la provincia de Córdoba es generar información valiosa que facilite la toma de decisiones en materia de manejo/gestión de los recursos hídricos de la región, poniendo de manifiesto la eficiencia económica global de los distintos usos alternativos de los recursos hídricos, generando una herramienta de planificación para que los tomadores de decisión orienten los esfuerzos hacia el desarrollo económico sostenible de la zona.

Los objetivos específicos propuestos plantean: a) Definir las principales funciones de la Laguna Mar Chiquita, y b) Establecer un marco teórico adecuado para valorar los principales bienes y servicios de la Laguna Mar Chiquita.

En general, la degradación de carácter antrópico en la calidad de las aguas se originan porque una serie de agentes económicos se comportan de tal forma que al resolver determinados problemas particulares, generan como consecuencia un deterioro del Recurso Hídrico. Entonces es probable que la solución al problema pase por diseñar medidas dirigidas a modificar ese comportamiento (Azqueta, 2002).

El análisis de valoración económica parte del supuesto que la degradación del recurso hídrico no es producto de la ignorancia, ni de la mala fe de los habitantes, sino que es el producto no deseado de una conducta racional que trata de resolver determinados problemas en un marco institucional concreto.

*El agua es un recurso natural limitado, condicionante del desarrollo de la región e íntimamente ligado a la calidad de vida de sus habitantes y su ecosistema.*

Por otro lado, es difícil satisfacer las necesidades de producción y consumo de los habitantes de los principales tributarios de la Laguna y los Bañados, sin agredir de una u otra forma el recurso hídrico y su capacidad de generar servicios.

Por ello se hace necesario buscar un equilibrio entre el valor que la sociedad concede al hecho de satisfacer las necesidades de algunos de sus miembros y el valor que le da a la degradación del recurso que ello implica.

En la mayoría de las sociedades actuales, la asignación de los recursos escasos para la satisfacción de múltiples necesidades se resuelve por el funcionamiento de los mercados; éstos determinan los precios a los cuales se comercializan los distintos bienes y servicios, conteniendo la información necesaria para que tanto consumidores como productores organicen su comportamiento. Así, los precios de mercado, encierran una doble información sobre el valor de las cosas; la prioridad que las personas le dan a la necesidad que satisface con su ayuda, y el de los recursos que se necesitan para proporcionarlo.

Si bien muchos de los recursos proporcionados por la laguna son explotados comercialmente (pesca, turismo, producción nutricia), hay otras funciones provenientes de la Laguna y los Bañados cuyos efectos en el bienestar de la sociedad no saltan a la vista y que el sistema de mercado es incapaz de poner un precio que refleje su valor económico.

De esta manera, quién utiliza las funciones de los recursos hídricos en su propio provecho no tiene en cuenta en sus decisiones la pérdida de bienestar de quienes se ven privado de estos servicios. De acuerdo a la literatura económica esta ausencia de precios aparece en tres contextos (Azqueta, 2002):

1. Externalidades
2. Bienes Públicos:
3. Recursos Comunes de Libre acceso:

Una combinación de estas tres características, impide que algunos bienes y servicios proporcionados por los Recursos Hídricos de la Laguna alcancen un precio, y dado que no existe un indicador en el mercado que permita transar el valor que estos recursos tienen, en muchos casos se hace un uso inadecuado de ellos. Existe una divergencia entre lo que es privadamente rentable y lo que es socialmente rentable.

Si bien las formas de aproximarse al valor de los bienes y servicios que generan la Laguna Mar Chiquita y los Bañados del Río Dulce pueden variar, convencionalmente pueden ser divididos en varias categorías:

1. Según se determinen o no en el mercado.
2. Según se determinen en el uso directo o no directo.
3. Según se consuma el bien o no.
4. Según el sitio.

Esta aproximación, quedaría incorporada en el concepto de *Valor Económico Total* (VET)

*En la evaluación de los beneficios económicos netos de los usos alternativos de los humedales, lo ideal es que cualquier evaluación redunde en una valoración económica de todos los beneficios y costos relacionados con cada uno de los posibles usos, objeto de examen.*



<i>(Valor de Uso) Usos Activos</i>			<i>Valor de No Uso (Usos Pasivos)</i>	
Usos Presentes		Usos Futuros		Valor de Existencia / Legado
Valor de Uso Directo		Valor de Uso Indirecto	Valor de Opción	
Consuntivos	No Consuntivos			
pesca	Turismo	Retención de nutrientes	Posibles usos futuros. (directos e indirectos)	biodiversidad
agricultura	Explotación de la fauna y flora silvestres	Apoyo a otros ecosistemas.	Valor de la información en el futuro	cultura, patrimonio
	Transporte	Estabilización del microclima.		valores de legado

Cuadro 1. Valoración Económica Total - Clasificación  
Fuente: Toledo, Alejandro (1998). Economía de la Biodiversidad. Serie textos básicos para la Formación Ambiental, N° 2, PNUMA. México.

En este marco de análisis el **Valor Económico Total** es igual a: **VET = VU + VNU**. Entonces, al evaluar una acción de desarrollo en términos de Costos y Beneficios ambientales, debe hacerse respecto a este **Valor Económico Total**.

Es decir, una acción se llevará adelante si se cumple la siguiente condición:

$$(B_D - C_D - B_A) > 0$$

Donde:

$B_D$  = Beneficio del Desarrollo

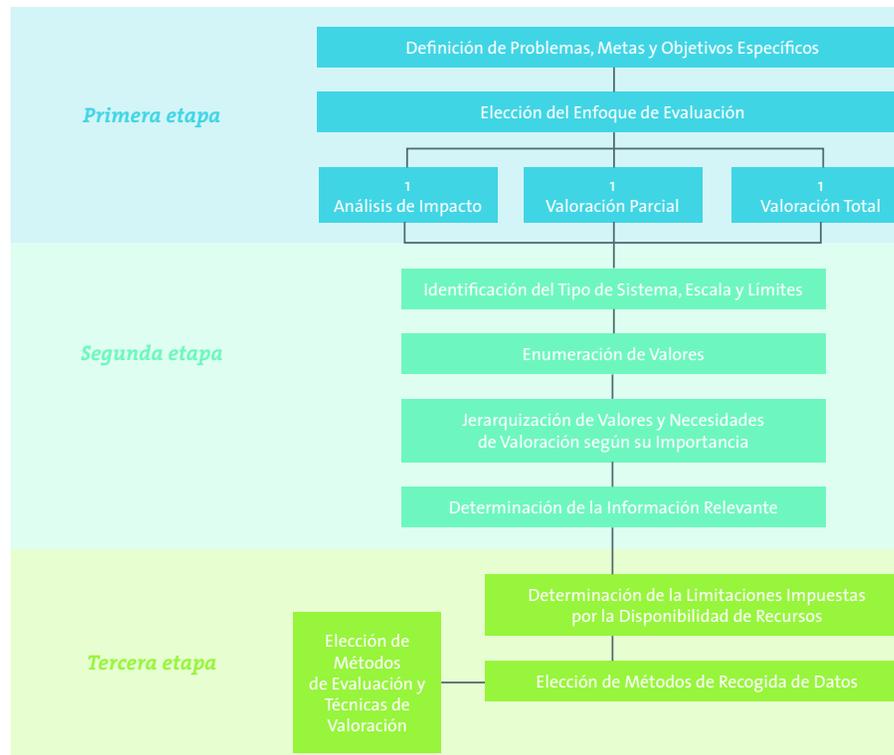
$C_D$  = Costo del Desarrollo

$B_A$  = Beneficio de conservar el ambiente y no llevar adelante el desarrollo.

De esta manera, el Valor Económico Total (**VET**) se convierte en una medida del Beneficio del Ambiente (**BA**).

**Proceso de evaluación. Etapas de análisis**

En la evaluación de los beneficios económicos netos de los usos alternativos de los humedales, lo ideal es que cualquier evaluación redunde en una valoración económica de todos los beneficios y costos relacionados con cada uno de los posibles usos, objeto de examen. Barbier, E. B., Acreman, M. C. y Knowler, D. (1997), dividen el proceso de evaluación en tres etapas de análisis esquematizadas en el diagrama siguiente:



Cuadro 2. Marco analítico para la valoración económica de humedales.  
Fuente: Adaptación del que aparece en IIED (1994). Citado por Barbier, E. B., Acreman, M. C. y Knowler, D. (1997)

**Metodologías de evaluación económica**

Los métodos de valoración económica se clasifican en distintas formas, según el valor adoptado, los algoritmos de solución usados y el grado de disponibilidad de la información requerida (Corredor Biológico Mesoamericano, 2002).

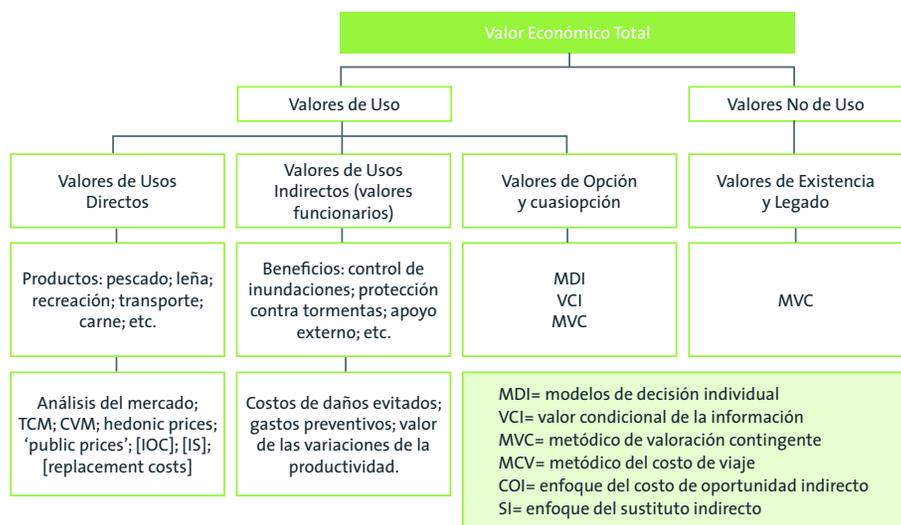
En general y en el marco de la Economía del Bienestar, existen dos formas de aproximar el valor de un bien o servicio ambiental (Azqueta, 1994).

1. Por un lado, se encuentran las Metodologías Indirectas u observables, que tratan de aproximar el valor del bien por medio de mercados relacionados de los que puede obtenerse el precio de los bienes (Costos de Viaje, Precios Hedónicos, Costos Evitados, Producción de Hogares).
2. Por otro lado están las Metodologías de Valoración Directas o Hipotéticas, las cuales simulan un escenario hipotético y solicitan una



respuesta frente a un cambio; en este grupo de metodologías se encuentra la Valoración Contingente.

Siguiendo la clasificación de los usos del recurso hídrico del Cuadro 1 y el concepto de Valor Económico Total, las técnicas de valoración recomendadas (Barbier 1997) y que se podrían aplicar en el presente estudio son:



Cuadro 3.

### Conclusiones y recomendaciones

La degradación ambiental de origen antrópico es en general el invitado no deseado en el proceso de producción, distribución y consumo de bienes y servicios. En la utilización del recurso hídrico, es importante sopesar cuidadosamente el bienestar que proporciona la satisfacción de las necesidades con el costo de hacerlo, para alcanzar alguna noción de optimización en la utilización del recurso. Ésta se logrará, siempre y cuando se hayan reflejado todos los costos en los que la sociedad incurre para suministrar dicho bien a sus miembros, y este no es el caso de lo que ocurre en la actualidad.

Como consecuencia, existe un consumo excesivo del bien y una degradación ambiental superior a la deseable. Si el consumidor tuviera que soportar todos los costos que supone la utilización del recurso hídrico, reduciría su consumo y la degradación ambiental sería menor. Entonces habríamos logrado internalizar la externalidad ambiental mediante el mencionado pago (Azqueta, 2002).

*En la utilización del recurso hídrico, es importante sopesar cuidadosamente el bienestar que proporciona la satisfacción de las necesidades con el costo de hacerlo, para alcanzar alguna noción de optimización en la utilización del recurso.*

Por lo tanto, la valoración económica posibilita generar información sobre el valor económico que los recursos naturales en general y los recursos hídricos en particular representan para la sociedad, este último caso es el objetivo del presente artículo, cuya finalidad es hallar una aproximación del valor económico que producen los bienes y servicios de los Recursos Hídricos del NE de la Provincia de Córdoba para la población usuaria del ecosistema.

Asimismo, es importante resaltar que la valoración económica se basa en criterios de eficiencia, no considerando aspectos o criterios de equidad, de manera tal, que siempre será importante acompañar estos criterios de eficiencia con análisis de equidad, no perdiendo de vista que los valores económicos, sólo representan una de las variables que intervienen en la toma de decisiones y que estos deben considerarse juntamente con otras importantes consideraciones políticas, sociales y culturales.

Por último, debemos tener presente las características estructurales de los Bienes Ambientales, esto es: 1) La Irreversibilidad, 2) La Incertidumbre y 3) La Unicidad.

Características que en algunos casos harán necesario recurrir al Criterio de Mínima Seguridad compatible con el Principio de Precaución, para proceder con cautela y dirigir nuestras acciones a evitar riesgos para la sociedad de posibles pérdidas irreversibles. §

### Referencias Bibliográficas

AZQUETA, D. (1994). *Valoración Económica de la Calidad Ambiental*. Mc Graw-Hill, Madrid, España.

AZQUETA, D. (2002). *Introducción a la Economía Ambiental*. Mc Graw-Hill, Madrid, España.

BARBIER, E. B., ACREMAN, M. C. y KNOWLER, D. (1997). *Valoración Económica de los Humedales - Guía para Decisores y Planificadores*. Oficina de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza.

BISHOP, J., VON RITTER, K., PAGIOLA, S. (2004). *Assessing the economic Value of Ecosystem Conservation*. IBRD/WB, Environment Department paper 101. Washington D.C. (USA).

CARRANZA, A. C. (2001). *Valoración Económica del Humedal Barrancones*. Municipio de Pasaquina, El Salvador.

CARRERA FERNÁNDEZ, J. (2000). "O Principio dos Usos Múltiplos dos Recursos Hídricos: Uma Análise a partir da Bacia

do Rio Formoso no Oeste Baiano". *Revista Económica do Nordeste*, Fortaleza, Vol. 31, N° Especial, 810-835.

CORREDOR BIOLÓGICO MESAAMERICANO. (2002). *Guía metodológica de valoración económica de Bienes, Servicios e impactos Ambientales*. Serie Técnica 04, Radoslav Barsev editor, Managua, Nicaragua.

Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIH) - Argentina, Baños del Río Dulce y Laguna de Mar Chiquita (2002). Convención Ramsar. Gland, Suiza.

FRANK, R. (2001). *Microeconomía y Conducta*. 4ta. Edición, Mc Graw Hill, España, Madrid.

GÓMEZ-GÓMEZ, C. M. (2005). *Análisis Costo Beneficio y el Medio Ambiente*. CEPAL/ILPES, Santiago de Chile, Chile.

ILPES/CEPAL/UAH/ASDI/AECI. (2006). *Curso internacional sobre Gestión y Valoración del Medio Ambiente y los Recursos Naturales*. Lecturas, Santiago de Chile, Chile.

*\*Cesar Daniel Pietrantonio Magister y Licenciado en Economía, Investigador Jefe del Instituto de Administración, INADE, de la Facultad de Ciencias de Ciencias Económicas de la UNC.*

LAMBERT, A. (2003). *Valoración Económica de los humedales: un componente importante de las estrategias de gestión de los humedales a nivel de las cuencas fluviales*. Convención Ramsar, Gland, Suiza.

OECD. (2006). *Cost-benefit analysis and the environment: recent developments*. Capítulo 6 dedicado al concepto de "total economic value".

PICTOR. (2004). *Propuesta para la planificación y gestión integrada de los Recursos hídricos del NE de la Provincia de Córdoba, Argentina*. PICTOR Córdoba Redes.

SANIURJO RIVERA, E. y WELSH CASAS. (2005, enero-marzo). "Una descripción del valor de los Bienes y Servicios Ambientales Prestados por los Manglares". *Gaceta Ecológica*. Instituto Nacional de Ecología, México.

TOLEDO, A. (1998). *Economía de la Biodiversidad*. Serie textos básicos para la Formación Ambiental, N° 2., PNUMA, México.



## La gestión hídrica y el Plan Nacional Federal de los Recursos Hídricos\*

Al cumplirse el segundo centenario como Nación, la República Argentina se suma al grupo de países que está en la etapa de concretar un plan integral para el manejo de los recursos hídricos. La buena nueva es producto de la firme decisión de los organismos hídricos provinciales de crear un organismo técnico e institucional fuerte, cuyas directrices hicieron posible un avance considerable en diversas temáticas.

La necesidad de establecer una gestión integrada en el manejo del agua tiene en cuenta los factores sociales, ambientales y económicos que la condicionan, como así también los aspectos territoriales que la engloban. Se trata básicamente de acordar metodologías organizativas que coordinen y pongan de manifiesto un compromiso claro en materia de recursos hídricos, en un todo de acuerdo a lo establecido en la Constitución Nacional sobre el dominio de las provincias de los recursos naturales, entre los que se encuentra el agua.

Este Plan Nacional Federal de los Recursos Hídricos tiene por objeto, entre otros, el de incentivar la realización de Planes Provinciales, ya que las provincias, dueñas del recurso hídrico, deben ser la base de este Plan Nacional Federal. Se ha atendido a postulados básicos y criterios de gestión de recursos hídricos a nivel nacional, entre otros:

- La planificación participativa con todos los integrantes de la sociedad argentina, con la conciencia de la necesidad de coordinar los esfuerzos respectivos para el mejor conocimiento y la gestión de las aguas en las cuencas hidrográficas.
- La búsqueda permanente del equilibrio entre la protección del medio ambiente y el aprovechamiento de los recursos hídricos necesarios para el desarrollo sostenible de las provincias y del país.
- La gestión del recurso que garantice las actividades destinadas a promover y proteger el buen estado de las aguas.
- La protección de las aguas superficiales y subterráneas, sustento de ecosistemas acuáticos y terrestres dependientes de ellas.

El Plan es el resultado de múltiples opiniones, intereses y puntos de vista. Los consensos alcanzados en temáticas diversas como agua potable y desagües, control de la erosión, riego, manejo de inundaciones, entre otras, garantizan la adhesión al mismo y la instrumentación de estas políticas hídricas en las distintas jurisdicciones.

Una de las características sobresalientes del Plan Nacional Federal de los Recursos Hídricos radica en el hecho de que su materialización se basó en un esquema propuesto por las provincias a través del Consejo Hídrico Federal y cuya finalización culminó en la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.

Los temas principales tenidos en cuenta por el Plan abarcan a las inundaciones urbanas y rurales, el ordenamiento territorial, los procesos erosivos, la contaminación, los usos del agua, los usos consuntivos

para riego, el saneamiento, los usos no consuntivos (energía), los usos recreativos, la navegación y el cambio climático.

El agua puede ser considerada como eje fundamental del desarrollo sustentable. En efecto, la cantidad y calidad del agua disponible es generalmente, lo que limita la posibilidad del desarrollo futuro y condiciona la sustentabilidad del desarrollo actual.

Los principales desafíos que enfrenta la gestión hídrica tienen que ver con la prevención de conflictos entre sectores usuarios, entre jurisdicciones, entre intereses de las sucesivas generaciones, la prevención de situaciones de emergencia hídrica relacionadas con excesos o faltantes de agua, la prevención de situaciones de emergencia social derivadas de servicios cuya cobertura o confiabilidad son insuficientes y la prevención de procesos de contaminación y degradación ambiental que pueden resultar irreversibles.

La gestión del agua se refiere al conjunto de actividades que tienen por objetivo final el promover el desarrollo, uso, control y protección de los recursos hídricos, con vistas a lograr el desarrollo sustentable.

Por desarrollo se entiende la puesta en disponibilidad del recurso, en cantidad y calidad, para los diversos usuarios, que generalmente compiten por acceder a un volumen determinado del mismo. Uso o aprovechamiento se refiere a la utilización social o productiva del agua, la que debe realizarse en términos de uso racional, de eficiencia y de equidad, minimizando la cantidad de agua utilizada a través de tecnologías apropiadas y limpias, que reduzcan la cantidad de agua consumida y de efluentes contaminantes devueltos al medio.

Por control de los recursos hídricos se interpretan las actividades tendientes a solucionar o mitigar situaciones problemáticas que presenta el agua, como son las crecidas, la erosión hídrica o la contaminación.

La gestión de recursos hídricos es un proceso dinámico, interactivo y complejo. Se nutre de un conjunto de principios rectores que sustentan el abanico de políticas a ser adoptadas por la sociedad, a través de las instancias gubernamentales de difusión para lograr los objetivos propuestos.

Las acciones o medidas estructurales y no estructurales se diseñan y materializan por medio de un proceso basado en la evaluación del recurso y en otros indicadores asociados como son la planificación, la implementación o gerenciamiento y el control.

### El Plan Nacional Federal

La formulación del Plan Nacional Federal se orientó a compatibilizar las acciones contempladas en las planificaciones provinciales, regionales, sectoriales y por cuencas. Los principios generales para su formulación son:

- Asegurar la provisión de agua potable y saneamiento a toda la población (equidad).
- Optimizar el aprovechamiento del agua para usos productivos (eficiencia y desarrollo sostenible).

*El agua puede ser considerada como eje fundamental del desarrollo sustentable. En efecto, la cantidad y calidad del agua disponible es generalmente lo que limita la posibilidad del desarrollo futuro y condiciona la sustentabilidad del desarrollo actual.*



- Reducir y prevenir la contaminación de las aguas (desarrollo sostenible).
- Prevenir las inundaciones y las sequías (minimización de riesgos).
- Proteger y preservar el ambiente (desarrollo sostenible).

Los principales ejes temáticos son:

1. Provisión de agua potable y saneamiento
2. Gestión de inundaciones y sequías.
3. Prevención de la contaminación.
4. Gestión del agua subterránea.
5. Gestión del uso eficiente y sostenible en el riego, la industria y la minería.
6. Generación de electricidad.
7. Preservación del medio ambiente.
8. Coordinación de la gestión hídrica.

Como metodología consensuada para la elaboración del Plan, se propuso una primera etapa de evaluación de los principales problemas y oportunidades que enfrenta la Gestión de Recursos Hídricos, que no habían sido adecuadamente considerados, y su probable evolución en ausencia de un esfuerzo de planificación. Para organizar esta tarea en un marco participativo se propuso:

- Promover la realización del ejercicio de proyección del futuro en cada provincia, en los casos en los que no lo hubieran ensayado o que consideraran necesario revisarlo.
- Conformar grupos de trabajos regionales integrados por funcionarios de los organismos provinciales que tienen competencias directas en la Gestión de Recursos Hídricos o que debían participar debido a las interrelaciones con sectores no hídricos.
- Coordinar e integrar el trabajo de los grupos regionales mediante un grupo coordinador, integrado por los coordinadores de cada grupo regional.
- Efectuar un seguimiento bimensual de los resultados del trabajo por todos los participantes en talleres de una jornada de duración.

Este Plan es destacado por su elaboración participativa. Para ello fue necesaria la participación además de las autoridades responsables de la gestión de todas las jurisdicciones provinciales, de personas y organismos públicos y privados relacionados con el agua, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y la Nación porque tienen competencias básicas relacionadas con la Gestión de Recursos Hídricos.

La Subsecretaría de Recursos Hídricos y el Consejo Hídrico Federal elaboraron durante el año 2006, las Bases del Plan Nacional Federal de Recursos Hídricos y consensuaron la metodología.

Las reuniones desarrolladas en los distintos niveles jurisdiccionales para avanzar en la elaboración de los planes provinciales y de los lineamientos estratégicos a nivel nacional, se hicieron bajo el siguiente esquema:

### *Las acciones o medidas estructurales y no estructurales se diseñan y materializan por medio de un proceso basado en la evaluación del recurso y en otros indicadores asociados como son la planificación, la implementación o gerenciamiento y el control.*

- Reunión de lanzamiento de talleres, con el objeto de acordar una metodología común y consolidar los alcances de los talleres provinciales.
- Talleres Provinciales de identificación de los principales problemas hídricos a ese nivel como inicio de la elaboración de los planes provinciales. Homogeneización de la información vinculada, incluyendo los planes en caso de existir.
- Talleres Regionales de identificación de los principales problemas hídricos y acciones a desarrollar a nivel regional, consolidando el material generado a nivel provincial, para su integración en el Plan Nacional Federal.
- Taller Nacional de integración de los resultados a nivel regional y planificación, avanzando en la consolidación del Plan nacional Federal e incluyendo el intercambio de experiencias sobre la elaboración de planes nacionales de recursos hídricos en la región.
- Reunión de Presentación de Resultados con la participación de autoridades nacionales, provinciales e internacionales y organizaciones privadas, como por ejemplo, los consorcios de usuarios, presentando los resultados obtenidos.

El lanzamiento del Plan se desarrolló durante los días 7 y 8 de Febrero de 2007 en una reunión que se realizó en Buenos Aires. En marzo de ese mismo año se realizaron los talleres provinciales en varias provincias como Primer Nivel de Convocatoria. Las reuniones siguieron los lineamientos definidos en la reunión de lanzamiento y fueron muy proactivas en la identificación participativa de las temáticas de interés para cada jurisdicción. Como resultado de cada reunión, se elaboró un documento siguiendo un formato homogéneo donde se incluyó:

- Avance de la Provincia en el proceso de planificación.
- Descripción del taller.
- Resultados.
- Conclusiones.

El segundo nivel de convocatoria fueron los talleres regionales donde se reunieron las provincias considerando los grupos ya existentes del COHIFE. Estos talleres regionales fueron moderados por facilitadores que desarrollaron una metodología común en los cinco eventos.

La metodología aplicada permitió superar la simple etapa de diagnóstico. Solicitó a los participantes la identificación no sólo de los problemas ligados a la gestión de los recursos hídricos sino de las barreras que impiden la solución de los mismos como una estrategia para obtener definiciones operativas.

Finalmente, el tercer nivel de convocatoria culminó el 29 de marzo de 2007 en las instalaciones del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios en Buenos Aires, en donde se desarrolló un Taller de Trabajo de cobertura nacional relativo a la elaboración del Plan Nacional Federal de Recursos Hídricos. El evento contó con



una amplia participación a nivel provincial y nacional. El taller se diseñó alrededor de dos bloques principales:

- El primero: mostrar y compartir los resultados de los talleres regionales.
- El segundo: trabajo de grupos con el fin de reconocer los problemas de relevancia nacional.

El 30 de marzo, en la conmemoración del Día Nacional del Agua, se realizó la presentación de los resultados obtenidos en los Talleres Provinciales, Regionales y Nacional, como cierre de la etapa enero-marzo de 2007.

Los resultados obtenidos de las acciones realizadas se pueden sintetizar en:

**Productos tangibles:**

- Matrices de problemas principales y acciones a nivel regional y nacional, disponibles en los informes de los respectivos eventos.
- Nueva versión del Plan Nacional Federal - 1º Etapa.
- Material impreso del Plan Nacional Federal.

**Productos intangibles:**

- Concientización, a nivel provincial, regional y nacional, de trabajo conjunto en la planificación nacional-federal relacionada a la gestión integrada de recursos hídricos.

Así, los resultados obtenidos se indicaron por regiones abarcando la Región NOA, la Región Patagonia, la Región Litoral, la Región de Cuyo, la Región Centro y la Nación.

Se remarca que esta información es de valiosa utilidad como marco de referencia e insumo para las próximas acciones que están siendo realizadas desde grupos de trabajo con organismos que tienen competencia en las soluciones propuestas.

La segunda Etapa del Plan Nacional de Recursos Hídricos, para cuyo financiamiento se ha comprometido la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, cuenta con una metodología similar a la 1º Etapa, con talleres a realizarse en el orden provincial, regional y nacional, focalizando las ocho áreas temáticas mencionadas precedentemente.

**Referencias Bibliográficas**

SSRH-COHIFE (2008). *Argentina, Plan Nacional Federal de los Recursos Hídricos*. Editor Coordinador Dr. Andrés Rodríguez. Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, ISBN 978-987-23585-3, Buenos Aires, República Argentina.

**Radars Meteorológicos en Argentina**

El mundo actual requiere de información ambiental en forma permanente, tanto para las actividades cotidianas como para la planificación a largo plazo.

Particularmente, el planeamiento ambiental involucra la identificación, análisis, monitoreo y evaluación de los recursos hídricos y de los procesos físicos del medio ambiente, considerando también los riesgos ambientales que conllevan. Los datos que proveen la información necesaria pueden obtenerse a través de observaciones directas (datos puntuales) o de sensores remotos (datos remotos).

El radar meteorológico es el sistema por excelencia para la toma panorámica y continua de datos de hidrometeoros que permite la ampliación de la zona observada y potencia la utilidad de los datos, racionalizando su utilización y optimizando los costos.

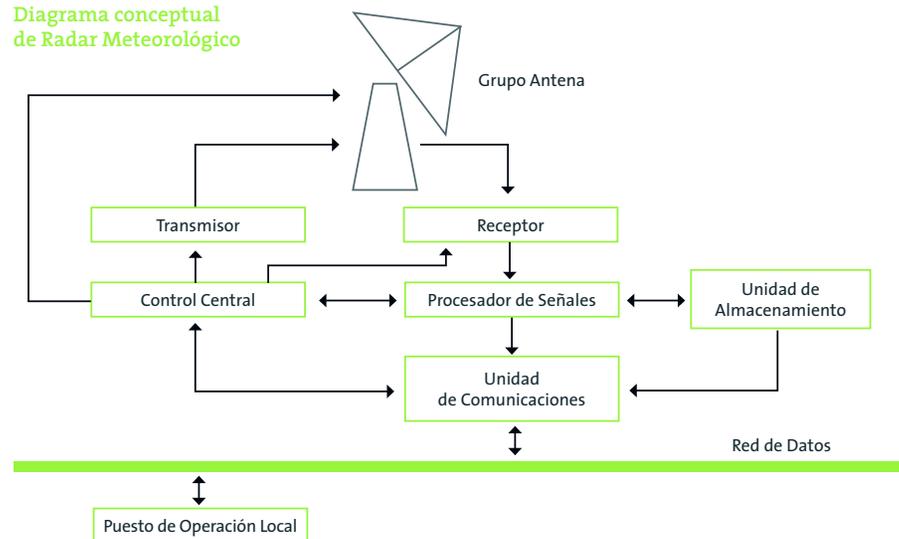
Las principales aplicaciones de la información brindada por los radares meteorológicos son:

- Descripción del estado del tiempo instantáneo
- Pronóstico a corto plazo (Nowcasting)
- Evaluación de hidrometeoros
- Previsión y monitoreo de contingencias (granizo - inundaciones repentinas - tormentas severas, etc.)
- Seguridad a la aeronavegación
- Estudios de física de la atmósfera



Radar Cruz Negra - Mendoza

**Diagrama conceptual de Radar Meteorológico**



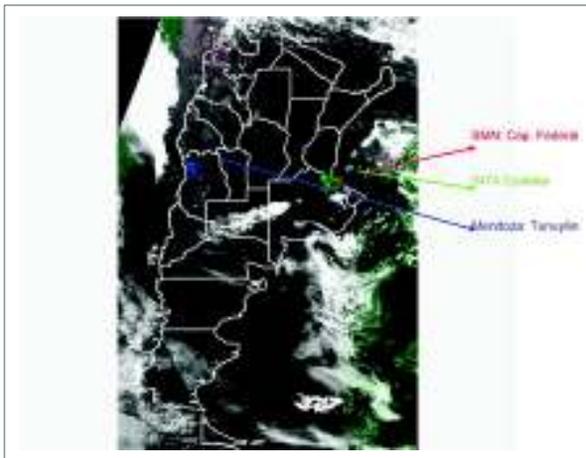
\* Extractado y adaptado del Plan Nacional Federal de los Recursos Hídricos por el Ing. MSc. Miguel A. Valiente y el Ing. Rafael A. Silva.



**Radars meteorológicos**



**Estado actual (Radars)**  
Actualmente se dispone de algunos radares meteorológicos dispersos, con limitada capacidad de compartir datos.



**Estado actual (Capacidad de Procesamiento)**  
Actualmente se dispone de capacidad de procesamiento individual de cada radar y pequeños centros de procesamiento

**Características básicas del RMA**

- **Banda C:** Radar pulsado emitiendo en frecuencias entre 5.4 a 5.9 GHz, Longitud de onda 5.5 a 5.1 cm. Está protegido por un radomo contra las inclemencias del tiempo y permite regulación de temperatura del sistema motor. Este radar presenta tres modos de operación:
  - **Modo incoherente** se emite una onda polarizada horizontalmente. El alcance es de 400 Km.
  - **Modo Doble polarización** Se emite una onda electromagnética polarizada verticalmente y horizontalmente. Los hidrometeoros en función de su forma devolverán diferentes cantidades de energía para cada una de las ondas. Esto permite extraer más información sobre las propiedades de los blancos interceptados.
  - **Modo Doppler:** produce mediciones de la velocidad, y del ancho espectral de las velocidades. Este modo se utiliza para alcances intermedios y próximos al radar (< 120 km.).

**Sistema Nacional de Radars Meteorológicos**

La Subsecretaría de Recursos Hídricos del Ministerio de Planeamiento de la Nación ha elaborado un ambicioso proyecto: un sistema de radares meteorológicos de alcance nacional. Se generaron las especificaciones técnicas para su desarrollo con la participación de diversos organismos usuarios de información ambiental y asesores en la materia, el Servicio Meteorológico Nacional, Instituto Nacional del Agua, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, la Facultad de Matemática, Astronomía y Física de la Universidad Nacional de Córdoba, entre otros.

Los objetivos apuntan a:

- Desarrollo de radares meteorológicos acordes al estado del arte (RMA)
- Diseño e implementación de un centro de operaciones con capacidad para recibir y procesar datos de una red nacional de radares meteorológicos (COP).
- Integración de los nuevos radares, al centro de operaciones y los radares actualmente existentes en un "Sistema" que optimice las prestaciones.

El Proyecto SINARAME se plantea en dos etapas: la primera, implica el desarrollo del radar meteorológico con tecnología actual (RMA), la provisión de un primer Radar operativo (RMA1), el diseño e implementación del Centro de Operaciones (COP) con capacidad para recibir y procesar datos de una red nacional de radares meteorológicos y, finalmente, la conexión de todos los radares meteorológicos existentes al COP. La segunda etapa supone la fabricación de una serie de radares - 10 RMA- su instalación y conexión al sistema. Se prevé también, en esta fase de desarrollo del proyecto, la capacitación técnica de recursos humanos y los procesos de mantenimiento del sistema.

**Red de radares interconectados a centro de procesamiento**



Cobertura Total del Sistema Nacional de Radares Meteorológicos



- Polarización Simple
- Doble Polarización
- Doppler

Tecnología

PIV. Sistema de Velocimetría por Análisis de Imágenes

El sistema de velocimetría por análisis de imágenes de partículas (PIV, por sus siglas en inglés) es una técnica de medición que permite obtener el campo de velocidades de flujos de manera instantánea y con alta resolución espacial. Otra de las ventajas de esta técnica es que no es intrusiva, lo cual permite realizar mediciones sin perturbar el flujo. La técnica se basa en determinar so-

bre la base de dos imágenes capturadas en un intervalo de tiempo conocido, el desplazamiento de las partículas que son sembradas en el flujo.

El desarrollo de esta técnica en los últimos años ha permitido su aplicación en la caracterización de flujos complejos logrando un avance notable en el campo de la mecánica de los fluidos e hidráulica.



Sistema PIV en el Laboratorio de Hidráulica



### Principios de funcionamiento

El método PIV consiste en iluminar el plano en el cual se desea medir con un haz de láser, e introducir un campo de partículas de igual densidad que el fluido para que la luz se refleje sobre ellas y permita materializarlas.

Mediante una cámara CCD de alta tecnología se toman pares de imágenes de la región de interés a una cierta frecuencia conocida. Las imágenes obtenidas dentro del par se encuentran separadas entre sí por un intervalo de tiempo  $\Delta t$ .

Una vez que una secuencia de dos imágenes (par de imágenes) se registra, las imágenes se dividen en pequeñas subsecciones llamadas áreas de la interrogación (IA). Las áreas de interrogación de cada imagen,  $I_1$  e  $I_2$ , son correlacionadas (correlación cruzada) unas con otras, píxel por píxel. La correlación produce un pico de la señal, identificando el desplazamiento común de la partícula,  $\Delta x$ .

Finalmente, los vectores de velocidad  $V$  son calculados en

cada una de las subdivisiones del área seleccionada midiendo el movimiento de partículas entre dos imágenes  $\Delta x$  y considerando el intervalo de tiempo que las separa  $\Delta t$ .

En resumen, el programa de seguimiento de partículas proporciona un vector de velocidad bidimensional para cada grupo de partículas identificado a través del rastreo del mismo desde una imagen inicial a una de un tiempo posterior (Figura 1).

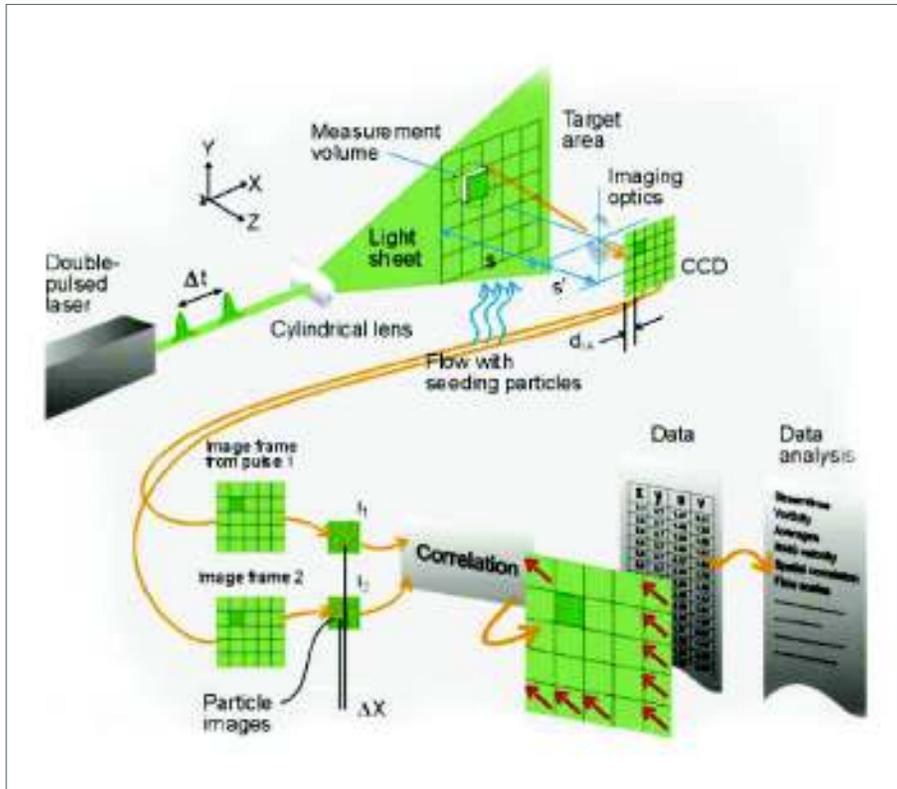


Figura 1. Esquema de la metodología de captura, transferencia y análisis de las imágenes.

### Aplicaciones del PIV en el Laboratorio de Hidráulica - CETA

El sistema PIV perteneciente a la UNC es un sistema 2D (bidimensional) de la firma DANTEC (Dinamarca), único en el país. Fue adquirido recientemente en el marco del Programa de Modernización de Equipamientos (PME-025).

Dentro de las características técnicas, el equipo se compone de una cámara digital (Figura 2) con resolución de 1600 x 1200 píxeles y con una frecuencia de adquisición de las imágenes de hasta 30 imágenes por segundo. Sin embargo, se pueden obtener frecuencias mayores si se reduce la resolución.

Otro de los componentes fundamentales del equipo PIV es el láser (Figura 3), el cual, en este caso, es del tipo Nd:Yag con una potencia de 50 mJ y una longitud de onda de 532 nm.



Figura 2. Cámara Flowsense II.

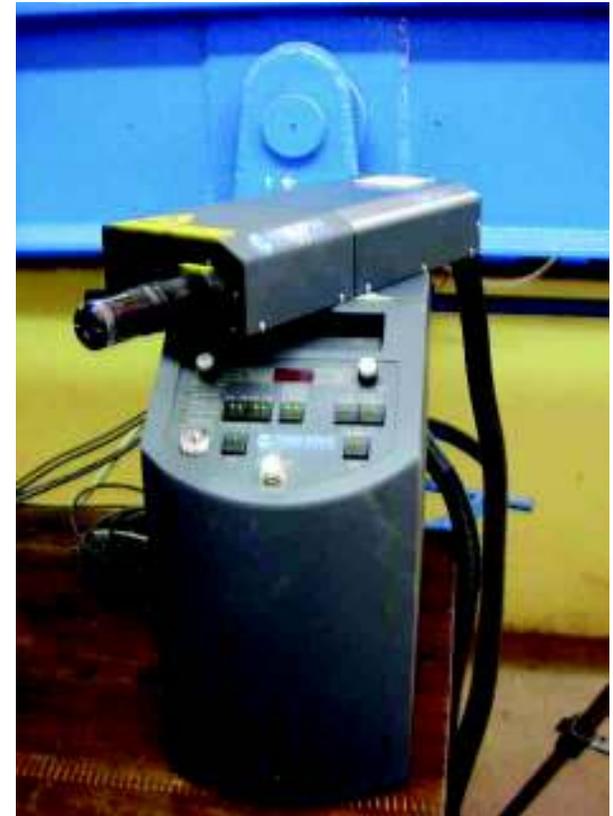


Figura 3. Láser.



La adquisición de las imágenes y el análisis posterior de las mismas se realiza mediante programa Flow-Manager 3.5 provisto por la firma DANTEC.

Este instrumento permite desarrollar y aplicar metodologías experimentales para caracterizar flujos turbulentos en sistemas complejos.

El conocimiento de dichas técnicas de medición permitirá optimizar el diseño y la configuración de las mediciones y por lo tanto caracterizar las estructuras del flujo que ocurren en ríos y cauces naturales turbulentos. En la actualidad, existe un debate permanente en la literatura científica en relación a la definición de la configuración óptima de este instrumento, de las metodologías de medición (tiempo de muestreo, discretización espacial, etc.)

como también, del análisis posterior (cuantificación de niveles de ruido, incertidumbre, etc.) a los fines de obtener una precisa caracterización experimental de flujos complejos en sistemas fluviales.

El sistema PIV es primordial para el desarrollo de trabajos de investigación, tesis y proyectos

que se están desarrollando actualmente en el Laboratorio de Hidráulica de la FECFyN de la UNC. Dentro de las aplicaciones más recientes, se encuentran las mediciones realizadas en el canal de pendiente variable a los fines de determinar rango de aplicabilidad de todos los instrumentos de medición de velocidad de flujo disponibles en el Laboratorio. Este canal presenta condiciones óptimas para medir con el sistema PIV ya que al tener el fondo y los laterales con paredes de vidrio permite el acceso del láser y la cámara desde diferentes planos.

Por otra parte, el instrumento es utilizado para el apoyo en la docencia durante actividades de cursos de grado, postgrado y de extensión.

Las futuras aplicaciones del PIV permitirán realizar mediciones en detalle, en el caso de proyectos de estructuras hidráulicas, y caracterizar los patrones de flujo complejos en la vecindad de las mismas, lo cual es complicado de realizar con otro tipo de equipos. §

*El desarrollo de esta técnica en los últimos años ha permitido su aplicación en la caracterización de flujos complejos logrando un avance notable en el campo de la mecánica de los fluidos e hidráulica.*

## Tecnología

### Generador de Oleaje

El Laboratorio de Hidráulica, ha adquirido un generador de oleaje (Figuras 1 y 2) de características que lo hacen único en Argentina. Este aparato simula la formación de oleaje espectral en un canal que fue adaptado especialmente en el Laboratorio. Las capacidades de generación del mismo permiten simular curvas teóricas de oleaje regular e irregular con periodos y amplitudes predeterminados (e.g. espectros de olas del tipo Jonswap, Pierson

Moskowitz, función Phillips, ondas Cnoidales y Solitarias, entre otras).

La incorporación de un sistema de absorción dinámica, hace que sea el primer generador de oleaje con esta característica en el territorio nacional. La absorción dinámica resulta fundamental para eliminar las ondas espurias reflejadas, permitiendo un control total de las ondas incidentes, incluso cuando se ensayen estructuras altamente reflejantes.

El generador de oleaje fue colocado en un canal vidriado cuyas dimensiones son 23,5 m de longitud, 0,85 m de altura y 0,50 m de ancho. Además este canal puede ser adaptado para que funcione con pendiente variable.

Los componentes básicos del generador de oleaje son:

1. Paleta frontal de 0,85 m de altura aproximada, que se pone en movimiento a través de un pistón vertical ubicado en uno de sus extremos, mediante un motor eléctrico de gran torque. El recorrido posible varía entre 0,30 m y 0,70 m, con una velocidad máxima de maniobra entre 0,50 a 0,70 m/s y un empuje entre 1,50 a 2,40 kN y potencia de 0,305 Kw.
2. Sistema de servo manejo eléctrico.
3. Servo control electrónico con absorción dinámica (control total de ondas incidentes).
4. Sintetizador de ondas para el control global de la generación, absorción dinámica, adquisición y análisis de datos (software y hardware).
5. Sensores de nivel de agua (8 sensores tipo resistivos). Figura 3.



Figura 1: Generador de oleaje: pala frontal y motor



Figura 2: Generador de oleaje: pala frontal y motor.





Figura 3: Sensor resistivo tipo.

**La incorporación de un sistema de absorción dinámica, hace que sea el primer generador de oleaje con esta característica en el territorio nacional.**

La interfaz con el usuario permite una operación eficiente a lo largo del sistema proveyendo la inspección del comportamiento de la generación del oleaje y los procesos de adquisición de datos. Estos se realizan por medio de dos PC (Ver Figura 4). Los datos registrados se almacenan en formatos binarios para un post-procesamiento y presentación más flexible.



Figura 4: (Izq.) Interfaz con el usuario. (Der.) Control del motor del pistón y sintetizador de ondas.

Este equipamiento permite analizar modelos físicos en el Laboratorio de Hidráulica para estudiar:

- Estabilidad y morfodinámica de playas de arena y de grava.
- Análisis del comportamiento y estabilidad de estructuras para su diseño y optimización.
- Hidrodinámicas en zonas de rompientes.
- Transporte de sedimentos (inicio de movimiento, formas de fondo, etc.)
- Disipación de energía por rotura.
- Cálculos de factores de transmisión, absorción, reflexión de olas en estructuras y en costas con o sin playa.
- Dispersión de contaminantes por el efecto del oleaje.

Adicionalmente, el LH cuenta con numerosas facilidades experimentales para mediciones directas en el canal, tales como: sensor de nivel de presiones, un mini velocímetro ADV (Figura 5), un equipo de velocimetría láser por partículas (PIV) (Figura 6), equipamiento para seguimiento de partículas. §

#### Referencias Bibliográficas

P GYSSELS, P., M PAGOT, M., G HILLMAN, G., H MURATORE, H. Y A RODRIGUEZ, A (2011). *Modelo Físico de Estructura Costera: Aplicación para Evaluar La Estabilidad de un Dique Exento Semisumergido* XXIII Congreso Nacional del Agua, Resistencia, Argentina, Junio 2011.



Figura 6: PIV



Figura 5: ADV



## Equipos para identificar compuestos orgánicos e inorgánicos

### Cromatógrafo Líquido de Alta Performance (HPLC) acoplado a Espectrómetro de Masas de Triple Cuadrúpulo (MS).

Los equipos de HPLC-MS sirven para identificar una amplia gama de **compuestos orgánicos no volátiles** presentes en muestras de diverso origen (alimentos, agua, sedimentos, suelos, etc.). La versatilidad del equipo permite analizar desde compuestos de

interés (vitaminas, conservantes, etc.) hasta contaminantes (toxinas, plaguicidas, etc.). Una de las principales características de este equipo es su altísima sensibilidad con excelente especificidad, es decir, que es capaz de detectar un único compuesto presente en una mezcla compleja, aún cuando dicho compuesto esté en muy baja proporción con relación al resto de los constitu-

yentes (situación típica en el análisis de toxinas de alimentos, restos de plaguicidas, drogas de uso veterinario, etc.).

El uso combinado de estos dos equipos permite una excelente capacidad analítica aplicable al análisis de calidad de agua, sedimentos, suelos y alimentos en general, extensibles a análisis ambientales.



Cromatógrafo Gaseoso de Alta Performance acoplado a Espectrómetro de Masas de Triple Cuadrúpulo

### Cromatógrafo Gaseoso (GC) acoplado a Espectrómetro de Masas de Trampa de Iones (IT-MS)

Los equipos de GC-ITMS son utilizados para detectar compuestos orgánicos volátiles y termoestables en muestras de origen diverso (alimentos, agua, sedimentos, suelos, etc.) y permite analizar desde compuestos, tales como solventes, aditivos alimentarios, etc., hasta contaminantes como toxinas, plaguicidas, entre otros. El equipo tiene una alta sensibilidad con excelente especificidad, siendo capaz de identificar un

único compuesto en una mezcla compleja, aunque el mismo esté presente en muy baja proporción.

### Espectrofotómetros de Absorción Atómica (AA) con atomizadores por llama (FAA) y horno de grafito (ETAA) y con corrector de línea de base por efecto Zeeman

Los equipos FAA y ETAA sirven para identificar una amplia gama de elementos inorgánicos presentes en muestras de diverso origen (alimentos, agua, sedimentos, suelos, etc.). Ambos equipos per-

miten analizar desde compuestos que están en alta concentración (elementos mayoritarios como sodio, calcio, magnesio, etc.) hasta los que están en muy baja concentración, sean éstos naturales de la muestra o provenientes de contaminación (plomo, cadmio, mercurio, etc.). También, como en los equipos antes mencionados, el ETAA se caracteriza por tener una altísima sensibilidad con gran especificidad, característica que permite la detección de un único elemento presente en una mezcla compleja. §



Horno de Grafito ( ETAA )



Espectrofotómetros de Absorción Atómica (AA) con atomizadores por llama (FAA).

## Redes

### Red de Ingeniería e Investigación Hidráulica

El Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales forma parte de la *Red de Institutos Nacionales Iberoamericanos de Ingeniería e Investigación Hidráulica (RINIHIH)*. La Red, que cuenta con el apoyo del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) y de la Asociación Internacional de Ingeniería e Investigación en Hidráulica (IAHR por sus siglas en inglés), fue

creada en el año 2006 con los objetivos genéricos de establecer un marco permanente de colaboración entre distintas instituciones nacionales iberoamericanas dedicadas a la investigación, la asistencia y el desarrollo tecnológico en materia de aguas continentales y marítimas y de su medio ambiente asociado para potenciar su capacidad de servicio a la sociedad.

En VII Reunión y IV Asamblea de la Red, realizada en diciembre de 2009 en el Instituto Nacional del Agua (INA) en Ezeiza (Buenos Aires), se llevó a cabo de manera conjunta el Primer Taller de Expertos en Modelos Matemáticos y Físicos, al cual asistieron en representación del Laboratorio de Hidráulica, el Ing. Mgter. Gerardo Daniel Hillman (Director a cargo) y la Dra. Rocío Luz Fernández.

## Publicaciones

### Publicaciones del Centro de Estudios y Tecnología del Agua y Departamento de Hidráulica - FCEyN- (desde 2009)

#### Revistas científicas (c/Ref.)

CORRAL, M., RODRÍGUEZ, A., PAGOT, M., FERNÁNDEZ, R., POZZI, C. y ORONÁ, C. (2009). *Modelación numérica de descargas fluviales en la laguna de Mar Chiquita*. *Mecánica Computacional*, Publicación de AMCA, Vol. XXVIII, N° 34, 2787-2803, ISSN 1666-6070, Argentina.

HILLMAN, G., POZZI, C., RODRÍGUEZ, A., ANDREOTTI, E. (2009). *Optimización de un modelo hidrodinámico bidimensional*. *Mecánica Computacional*, Publicación de AMCA, Vol. XXVIII, N° 34, 2771-2786, ISSN 1666-6070, Argentina.

MÓSOSO, C., SIERRA, J.P., GRACIA, V., MESTRES, M. and RODRIGUEZ, A. (2011). Short-term morphodynamic changes in a fetch limited beach at the Ebro delta (Spain), under low wave-energy conditions. *Journal of Coastal Research*, SI 64, ISSN 0749-0208 (en prensa).

TORRES, R., MICHELUTTI, P., DOMININO, J., MANGEAUD, J.L., RODRÍGUEZ, A., POZZI, C., PLENCOVICH, G., PAGOT, M. y HILLMAN, G. (2009). Effects Of Weather And Water Level On Reproduction Of Colonial Waterbirds In Laguna Mar Chiquita - Bañados Del Río Dulce (Central Argentina). *International Journal of Neotropical Ornithology*, Neotropical Ornithological Society, N° 21, 383-386, ISSN 1075-4377, Canadá.

#### Revista de Divulgación Científica

RODRÍGUEZ, A. (2009). Sequías y escasez –Cuando el agua hace falta– Algunas consideraciones sobre la situación en Argentina. *Revista Hydria*, Programa de Participación Social en la Gestión del Agua, Junio, Año 5, N° 23, 22-23, Argentina.

#### Publicaciones en Congresos y Reuniones Científicas

ANDREOTTI, A., HILLMAN, G., POZZI, C., RODRÍGUEZ, A. e ÍNDIGO SA (2009). *Optimización de un Modelo Hidrodinámico Bidimensional*. Congreso Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería CMNI'09, CIMNE, Barcelona, España.

BAZÁN, R., LARROSA, N., DEL OLMO, S., AMÉ, V., RODRIGUEZ, A., RODRÍGUEZ, M.I., RUIZ, M., BUSTAMANTE, A., RUIBAL, A.L., BUSO, F., GIRBAL, A. y COSAVELLA, A. (2009). *Comparación de la evolución fitoplanctónica de los embalses San Roque y Los Molinos y sus condiciones tróficas y Comparación del estado trófico de los principales embalses de la provincia de Córdoba y frecuencia de florecimientos algales*. Iº Congreso Regional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS, Córdoba, Argentina.

BAZÁN, R., COSSAVELLA, A., DEL OLMO, S., RODRÍGUEZ, A., BUSO, F., Y LARROSA, N. (2009). Estudio a largo plazo de la estructura y dinámica del Fitoplancton del embalse Los Molinos, Córdoba. *XXII Congreso Nacional del Agua*, ISBN 978-987-25369-1-6, Chubut, Argentina.

CORRAL, M., BALDISSONE M., DÍAZ A., RODRÍGUEZ, A. Y LÓPEZ F. (2009). Experiencias en la medición de caudal sólido en el cauce del Río Cuarto, Córdoba. *I Seminario Regional Métodos Experimentales en Mecánica de Fluidos e Hidráulica*, ISBN 978-987-25153-0-0, Córdoba, Argentina.

CORRAL, M., BALDISSONE, M., FARIAS, H., RODRÍGUEZ A. Y LÓPEZ, F. (2009). *Balace Sedimentológico Simplificado para el Río Cuarto*. IV Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Salta, Argentina.

DEL ÁGUILA, R., MURATORE, R., RODRÍGUEZ, A. Y TABORDA, R. (2009). Sistema de Medición de velocidad del flujo para molinetes hidrométricos. *I Seminario Regional Métodos Experimentales en Mecánica de Fluidos e Hidráulica*, ISBN 978-987-25153-0-0, Córdoba, Argentina.

GARCÍA, C., HERRERO, H., TARRAB, L., RAGESSI, M. AND RODRÍGUEZ, A. (2009). *Low Frequency Periodic Backwater Effects On Stream Confluences*. IAHR Symposium on Coastal and Estuarine Morphodynamics (RCEM 2009), IAHR, Santa Fe, Argentina.

GYSSELS, P., PLENCOVICH, G., RODRÍGUEZ, A., FERNÁNDEZ, R. Y RAGESSI, M. (2009). *Alternative Solution With Emerged Dikes For The Argentinian Coastal Protection Coasts*. Marine Structures and Breakwaters 2009 Conference, 16-18 September, EICC, Scotland, UK.

Herrero, H., García, C.M., Tarrab, L., Ragessi, M. y Rodríguez, A. (2009). *Efectos Periódicos de Remanso en Confluencias*. IV Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Salta, Argentina.

HILLMAN, G., HOPWOOD, J., CARDINI, J., CORRAL, M., PAGOT, M., POZZI, C., RODRÍGUEZ, M.I. AND BRAVO, H. (2009). *Hydrodynamic modelling of Parana River for Goya-Reconquista large bridge design*. IAHR Symposium on Coastal and Estuarine Morphodynamics (RCEM 2009), IAHR, Santa Fe, Argentina.

HILLMAN, G., POZZI, C., CORRAL, M., PAGOT, M., RODRÍGUEZ, A., HOPWOOD, J., Y CARDINI, J. (2009). *Modelación 1D y 2D (optimizado) de un tramo del Río Paraná para el diseño de la conexión Goya-Reconquista*. IV Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Salta, Argentina.

LANGA SÁNCHEZ, A., PAGOT, M., RODRÍGUEZ, A. Y MARTÍNEZ CAPEL, F. (2009). *Estudio de caudales ecológicos en ríos de la provincia de Córdoba*. IV Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Salta, Argentina.

LARROSA, L., COSSAVELLA, A., TABORDA, R., BONFANTI, E., RODRÍGUEZ, A. Y BAZÁN, R. (2009). *Diagnóstico para la Gestión de la Cuenca del Embalse Los Molinos*. XXII Congreso Nacional del Agua, ISBN 978-987-25369-1-6, Chubut, Argentina.

ORONÁ, C., POZZI, C., PAGOT, M., RODRÍGUEZ, M.I., HILLMAN, G., CORRAL, M., SEVERINI, H., RODRÍGUEZ, A. (2009). *Evaluación del Comportamiento del Fósforo en el Sistema Río Primero-Laguna del Plata, Córdoba*. I Congreso Regional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS, Córdoba, Argentina.

ORONÁ, C., POZZI, C., PLENCOVICH, G., PAGOT, M., HILLMAN, G., CORRAL, M., RODRÍGUEZ, A. (2009). Análisis de la evolución temporal y espacial de la calidad del agua en la Laguna Mar Chiquita, Córdoba, Argentina. *XXII Congreso Nacional del Agua*, ISBN 978-987-25369-1-6, Chubut, Argentina.

PAGOT, M., HILLMAN, G., CARDINI, J., HOPWOOD, J. Y RODRÍGUEZ, A. (2009). *Determinación de Patrones de Flujo con Imágenes Satelitales*. I Seminario Regional Métodos Experimentales en Mecánica de Fluidos e Hidráulica, Córdoba, Argentina.

PODIO, N., FURLÁN, G., AMÉ, V., BARONI, M.V., BAZÁN, R., LARROSA, N., PILÁN, T., GLATSTEIN, D., O'MILL, P., REUTER, F., DEL OLMO, S. BORSSELLINO M., RODRÍGUEZ, A., WUNDERLIN, D.A. (2009). *Evaluación de niveles de Cr, Pb, Cu y Zn en peces del embalse de Río Hondo (Argentina)*. III Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Córdoba, Argentina.

RAFAELLI, S., RODRÍGUEZ, A. AND VILLA URÍA, G. (2009). *Argentinean Experiences on Transboundary Water Resources Management*. 2009 World Water Week Forum, Stockholm.



RODRÍGUEZ, A., BERTONI, J.C. Y VICARIO, L. (2010). *Aspectos Referidos a las Sequías y la Escasez de Agua en el Cono Sur Sudamericano*. II Conferencia Internacional sobre Escasez de Agua y Sequía, Madrid, España.

RODRÍGUEZ, A. (2009). Stakeholder involvement in transboundary basin management: An example from the Pilcomayo basin - Latin American. *Proceedings of International Conference on Stakeholder Involvement in Transboundary River Basin Management* (Task 8), 42-46, Water Research Commission, Johannesburgo, Sudáfrica.

RODRÍGUEZ, A. Y LABORANTI, C. (2009). *Agua Recurso Único*. Documento Final, Tribuna del Agua, ExpoZaragoza 2008, Zaragoza, p. 202, España.

RODRÍGUEZ, A., MURATORE, H., PAGOT, M., FERNÁNDEZ, R., POZZI, C., HILLMAN, G., MARTÍNEZ, R., TARRAB, L. (2009). Nuevo canal de oleaje del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba. *I Seminario Regional Métodos Experimentales en Mecánica de Fluidos e Hidráulica*, ISBN 978-987-25153-0-0, Córdoba, Argentina.

PRIETO, N., DEL ÁGUILA, R., RODRÍGUEZ, A. Y MURATORE, H., (2009). Sistema de Medición de Nivel, Conductividad y Temperatura de Napa Freática. *I Seminario Regional Métodos Experimentales en Mecánica de Fluidos e Hidráulica*, ISBN 978-987-25153-0-0, Córdoba, Argentina.

VICARIO, L., RAVELO, A., BERTONI, J. Y RODRÍGUEZ, A. (2009). Análisis de frecuencias de intensidades de sequías en la cuenca del dique San Roque, Provincia de Córdoba, Argentina. *XXII Congreso Nacional del Agua*, ISBN 978-987-25369-1-6, Chubut, Argentina.

VICARIO, L., RAVELO, A., BERTONI, J.C. AND RODRÍGUEZ, A. (2009). *Evaluation Of Hydro-Meteorological Droughts In The Basin Of San Roque Reservoir. Cordoba, Argentina*. 18th IAHS Scientific Assembly and 37th IAH Congress, Hyderabad, India.

