

## **Disertación del Académico Correspondiente Ing. Agr. Pedro C.O. Fernández**

### **Desarrollo de la hidrología en tiempo real en Mendoza y la Argentina**

**Sr. Presidente de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria  
Dr. Norberto Ras,  
Srs. Académicos,  
Sr. Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias Ing. Agr. Alberto Ortíz  
Maldonado,  
Autoridades, Profesores y alumnos de esta Facultad,  
Señoras , Señores, Amigos:**

Deseo hacer llegar a la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, mi sincero agradecimiento por nombrarme uno de sus miembros, distinción que aprecio y valoro muy profundamente.

Igualmente deseo agradecer a las Instituciones que hicieron posible mi labor: Facultad de Ciencias Agrarias de la U. N. de Cuyo, Departamentos de Ingeniería y de Agronomía de la U. N. del Sur; Instituto Nacional del Agua y del Ambiente y CONICET. En relación con esta Facultad de Ciencias Agrarias me resulta particularmente grato recordar el comienzo de mi labor docente, profesional y de investigación al lado de los que fueron mis maestros los Ingenieros Agrónomos León Nijensohn y Carlos Grassi. Resulta importante destacar que cuando se tiene la suerte, como fue mi caso, de iniciar la actividad profesional al lado de dos investigadores destacados, en este caso en las ciencias del suelo y del agua, ése es el factor determinante de la actividad futura . A ellos pues mi profundo agradecimiento.

Veinticinco años de labor

ininterrumpida en el INCYTH, no es poca cosa ni mucho menos trivial; debo reconocer que tuve siempre en todo su personal tanto profesional, como técnico y administrativo un fuerte apoyo y una gran amistad y demás está destacar que en mi equipo de colaboradores directos hubo y sigue habiendo entusiasmo y una gran capacidad. Eso es fundamental para esta actividad; por todo esto a ellos también mi agradecimiento .

También deseo expresar mi gratitud a mi esposa y a mis hijos porque siempre me han brindado no sólo cariño sino también apoyo real en el desarrollo de mi labor. Sin ese marco de hogar la labor se hace difícil . Finalmente en ese contexto además quiero recordar la figura de mis padres, que con amor me enseñaron la cultura del trabajo.

Mi exposición será de carácter histórico-informativo, no técnico, porque quiero llegar con un mensaje que muestre el desarrollo de las ciencias del agua y de la hidrología en tiempo real y en este último tema en especial **describir el presente y perfilar el futuro.**

El título de mi exposición será:

## **Evolución de las Ciencias del Agua**

### **DESARROLLO DE LA HIDROLOGIA EN TIEMPO REAL EN MENDOZA Y LA ARGENTINA**

He agregado el título de Evolución de las Ciencias del Agua a fin de aclarar los conceptos para quienes no están en este tema de cual es el origen de la hidrología y de donde viene la hidrología en tiempo real e igualmente hacer una muy breve referencia a su evolución y para todos en general revalorizar el pasado y resaltar la importancia que el método

experimental ha tenido y tiene en la hidráulica y la hidrología para llegar a la verdad de las cosas. Es decir no pretende este relato ser una historia de la hidrología y la hidráulica, eso sería imposible, sólo marcar jalones que fueron demarcando su camino.

La transparencia está ilustrada con dos fotografías que indican el contexto que abarca mi disertación desde la edad antigua con la imagen de la hermosa piscina del Canopo en Villa Adriana construida en época del imperio Romano en Tivoli y una foto de una estación telemétrica satelital de medición de caudales en el río Mendoza, del INA CRA en Punta de Vacas ( Mendoza)



Lámina 1

Las ciencias del agua en su sentido más amplio cubren todos los aspectos del conocimiento del agua en la tierra, pero como este espectro es demasiado extenso, por razones prácticas y de mi conocimiento, me referiré solamente a la **hidrología y a la hidráulica**.

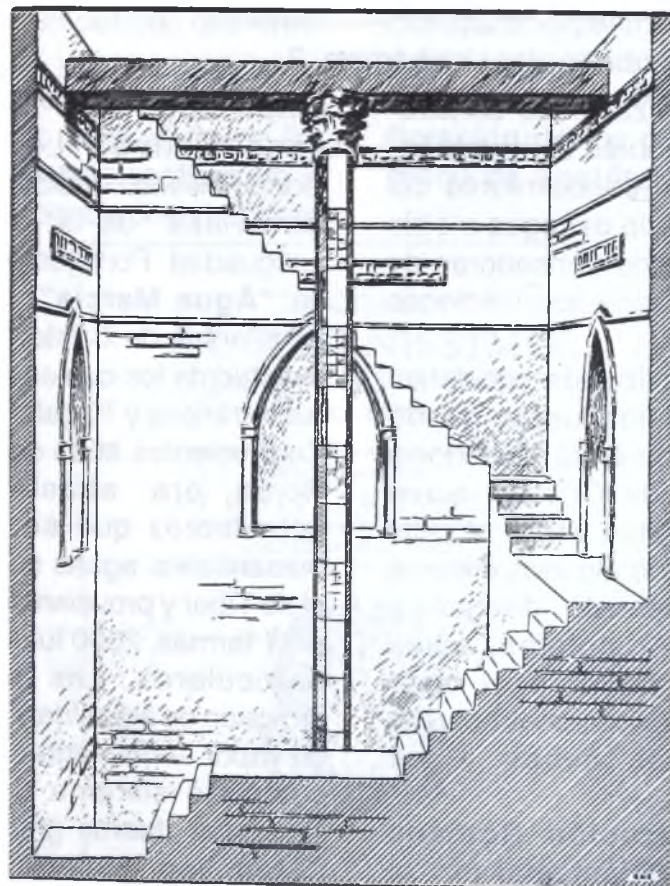
Las historias de estas dos ciencias hermanas, se mezclan y generalmente existen permanentes puntos en común y es por ello que en este resumen me tomaré la libertad de hablar indistintamente de hitos en el desarrollo del conocimiento de ambas.

### **VEAMOS PRIMERO UN POCO DE HISTORIA ANTIGUA**

Desde el principio las civilizaciones han estado siempre ligadas al agua, por ello no es ninguna sorpresa que las evidencias de grandes civilizaciones antiguas se han

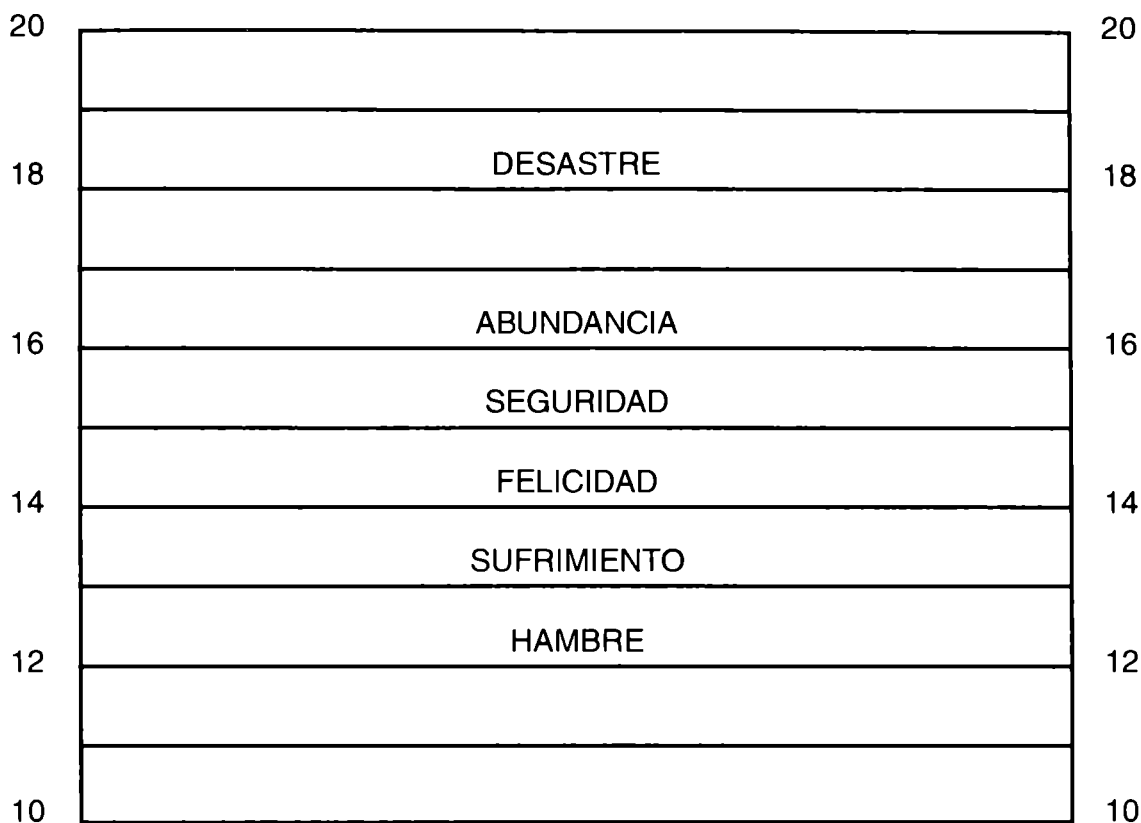
encontrado a lo largo de las márgenes de ríos. **El Tigris y el Eufrates en la Mesopotamia, el Nilo en Egipto, el Indus en la India, el río Amarillo en China, el Tiber en Roma.** Por cierto que también existieron grandes civilizaciones que dependieron más de las aguas de lluvias, como la antigua Grecia o aquellas que usaron también fuentes de aguas subterráneas como los Persas.

Los Egipcios hicieron mediciones de los niveles de las inundaciones del Nilo, desde 3000 años antes de Cristo y las relacionaron con predicciones sobre las condiciones de vida en los meses siguientes y para ello construyeron estructuras especiales llamadas "Nilómetros" siendo una de las más famosas la de Roda. Plinio el viejo nos cuenta la relación entre los niveles que alcanzaba el río y lo que se podía esperar para las condiciones de vida de la temporada siguiente.



**NILOMETRO DE RODA**  
(Reconstrucción)  
Cortesía de la Oficina de Prensa de la Univ. de California

Lámina 2



CALIBRACION SOCIAL DE PLINIO «EL VIEJO»  
 SEGUN LECTURAS DE NILOMETRO\_\_\_\_\_

Lámina 3

Estas civilizaciones construyeron importantes obras de irrigación. En relación con el conocimiento del proceso llamado ciclo del agua o ciclo hidrológico no pocos pensadores de la antigüedad hicieron especulaciones sobre el mismo.

En la civilización occidental los primeros estudios fueron los de **Aristóteles**, (nacido en la Macedonia en el 385 antes de Cristo) quien estableció conceptos sobre el ciclo hidrológico, pero con algunos criterios erróneos. Fue Theofrasto discípulo y continuador de Aristóteles, quien describió correctamente el ciclo hidrológico y dio explicaciones sobre la formación de las nubes y las precipitaciones.

**La civilización Romana** marca un hito fundamental en la práctica de las **construcciones hidráulicas basadas en criterios**

**empíricos más bien de tipo constructivo.** Los acueductos Romanos son considerados una de las maravillas de la ingeniería de la antigüedad. Por ejemplo el acueducto de "**Agua Marcia**"( construido 140 años antes de Cristo) tenía 60 Km de longitud de los cuales 50 eran galerías subterráneas y 10 galerías sobre arcos. Cuatrocientos años después de Cristo Roma era abastecida por 14 acueductos que se originaban en manantiales, aguas subterráneas y en el río Tiber y proveían de agua corriente a 11 termas, 2000 fuentes y 926 casas particulares. Las termas tenían provisión de agua fría y caliente y baños de vapor. Tenían además en Roma un completo sistema de cloacas; los Romanos fueron grandes ingenieros y también hicieron importantes contribuciones sobre métodos para explotar acuíferos.

Desde el punto de vista científico una de las contribuciones más importantes a las ciencias del agua en la antigüedad fue la de **Archímedes**.

**Archímedes** (287-212 antes de Cristo) nacido en Siracusa (Sicilia) fue el creador de la hidrostática y estableció correctamente el principio de la flotación de los cuerpos. ( principio de Archímedes) . Realizó experiencias relacionando el peso específico de metales ( oro y plata ) con el volumen de agua que desplazaban al ser sumergidos. Sus principios fueron demostrados, más detalladamente luego por Galileo 17 siglos después.

El período mencionado y hasta el año 1400 después de Cristo, poco se adelantó en el avance de estas ciencias.

La fundaciones de las grandes Universidades a fines de la Edad Media como Bolonia, Padua, Salamanca entre otras inició un período diferente.

### **RENACIMIENTO**

Durante el Renacimiento se produjo un cambio gradual desde los conceptos puramente filosóficos de la hidrología hacia la ciencia observacional.

## **EN MERITO A LA BREVEDAD VEAMOS ALGUNOS NOMBRES QUE FUERON JALONANDO ESTE DESARROLLO**

### **- Leonardo da Vinci (1452-1519)**

Expresó conceptos de la ley de continuidad y del flujo del agua en canales y sugirió diseños de máquinas hidráulicas. Hizo los primeros ensayos de medición de la velocidad del agua en canales. Los escritos de Leonardo, de alrededor de 7000 páginas escritas de derecha a izquierda – imagen de espejo - contienen más referencias de la hidráulica que de cualquier otra materia. Con él comenzó el método experimental.

### **- Galileo Galilei (1564-1642)**

Estimuló los estudios de hidráulica experimental, **defendiendo y perfeccionando matemáticamente las teorías de Archímedes sobre flotación de los cuerpos y refutó la teoría de Aristóteles.**



Documento de Galileo Galilei (1612) sobre los cuerpos que permanecen sobre el agua o se mueven en ella.

Lámina 4

Luego de confirmar las teorías de Copérnico sobre la concepción heliocéntrica del sistema solar, es encarcelado y muere en la cárcel, en una localidad cercana a Florencia, en 1642

A partir de 1600, el desarrollo de las ciencias del agua fue más importante en hidráulica con grandes avances en la faz experimental, lo que permitió formular leyes que dieron muchas de las bases de la hidráulica moderna, en lo que hace al movimiento del agua en canales, tuberías y en flujo subterráneo, nombres como: **Torricelli, Mariotte, Pascal, Newton, Bernoulli, Manning, Darcy, Reynolds, Saint - Venant** y muchos más, que con métodos experimentales, que hoy podrían considerarse infantiles, intuyeron leyes geniales.

En hidrología entre 1600 y 1700 se intensificó el período de mediciones y el desarrollo de aparatos más perfeccionados como pluviógrafos basculantes y correntómetros para medir lluvias y velocidades del agua en ríos y canales.

Para finalizar con esta referencia y por la trascendencia que tuvieron en la medición de fenómenos naturales me referiré a dos investigadores: Se discutía sobre si el agua que precipita en una cuenca era suficiente para producir el caudal de un gran río.

El naturalista francés **Pierre Perrault** (1608-1680) midió sistemáticamente la lluvia y la escorrentía. Hizo sus estudios en la cuenca del río Sena y concluyó que alrededor de una sexta parte del agua que cae como lluvia y nieve es suficiente para generar el caudal del río.

Se discutía sobre el equilibrio del nivel de los océanos y sobre la importancia de la evaporación de los océanos en la

producción de nubes, precipitaciones y caudales

El astrónomo inglés **Edmund Halley** (1656-1742) -el descubridor en 1682 del gran cometa que lleva su nombre-realizó entre 1686 y 1715 importantes estudios sobre evaporación. Realizó durante 15 años, estudios de evaporación en el Mediterráneo que aclararon los conceptos del ciclo hidrológico en relación con la evaporación del agua en los océanos cerrando entonces el eslabón que faltaba para explicar "el gran fenómeno del equilibrio de los mares". ( los océanos producen el 90% de la evaporación en el globo terráqueo).

#### La Hidrología Moderna:

A partir de principios del siglo XX y más específicamente a partir de los años 30 la disponibilidad de datos hidrométricos y climáticos se hizo más evidente y eso fue generando un acopio de información que estimuló a los hidrólogos a usar métodos estadísticos, para su interpretación y extrapolación.

La existencia de datos estimuló a los hidrólogos al uso de la Estadística lo que fue haciendo de la hidrología una ciencia menos descriptiva y más cuantitativa. Sin dejar de lado la importancia de la descripción detallada de cuencas de la cual tenemos un ejemplo brillante en la Hidrología Mendocina de Galileo Vitali.

A partir de 1930 y hasta 1970, aproximadamente se dieron las bases de la hidrología científica.

Este y otros desarrollos fueron trascendentes en este período que es de una gran riqueza. Los aportes de organismos y Universidades de Estados Unidos, de Europa e

Internacionales ligados a estudios hidráulicos, hidrológicos, geológicos y agronómicos fueron realmente notables.

**Pero el avance tecnológico que realmente marcó un antes y un después en la evolución de hidrología científica, fue la incorporación de la computación digital. Parangonando con el desarrollo de la hidráulica, se puede decir que la computadora digital fue para la hidrología lo que el laboratorio de modelos físicos fue para la hidráulica en el siglo XIX.**

Su lanzamiento significó la posibilidad de simular mediante modelos matemáticos, condiciones y situaciones de eventos naturales cuya secuencia y magnitud no necesariamente se hubieran registrado en el pasado, es decir el equivalente a la investigación que en la hidráulica se hace con el modelo físico o en agricultura con el ensayo experimental.

La frustración que significaba conocer leyes y ecuaciones insolubles numéricamente, como las del movimiento impermanente en canales-ecuaciones de Saint-Venant-, se esfumó con la aparición de las computadoras y su prodigiosa capacidad.

**Pero la conclusión que pretendo rescatar, la más sorprendente, es que aquellos observadores de la realidad de la naturaleza, de los siglos 14, 15, 16, 17, 18 y 19 y principios del 20 con medios elementales intuyeron, describieron, expresaron matemáticamente leyes y ecuaciones, que podemos verificar como correctas, pero que ellos no pudieron ni soñar con el valor de las mismas.**

Dejando en claro que la modelación matemática al igual que la modelación física en hidráulica solo es valiosa cuando el modelo se calibra y se valida con datos del mundo real.

Llegamos entonces al desarrollo pleno de la hidrología científica de fines de la década de 1970. **Pero faltaba todavía un aporte más: la posibilidad de conocer los eventos naturales registrados en lugares distantes (caudales en las altas cuencas, lluvias y temperaturas en sitios remotos) en forma instantánea, en el mismo momento en que el evento se produce, en un sitio central, a la mano del hidrólogo y con posibilidad de tomar decisiones importantes en el momento y en el lugar adecuados. Ese aporte llegó de la mano de los grandes desarrollos de las telecomunicaciones.**

## **NACE ASI LA HIDROLOGIA EN TIEMPO REAL**

El último eslabón, en los umbrales del siglo XXI del desarrollo de la Hidrología.

Es decir para consolidar conceptos, la hidrología científica enriquecida por la modelación matemática y los modernos sistemas de comunicaciones (terrestres, satélites-microondas, telefonía celular) le agregan a la hidrología un carácter de tipo operativo.

## **Y AHORA ¿COMO FUERON LAS CIENCIAS DEL AGUA EN LA ARGENTINA EN EL SIGLO XX ?**

La ciencias del agua en el país estuvieron desde fines del siglo pasado y en las primeras décadas del siglo XX, relacionadas principalmente con estudios e investigaciones en hidráulica y en irrigación, la primera como

consecuencia de los emprendimientos que se hicieron con obras hidráulicas de aprovechamiento y control, con el aprovisionamiento de agua potable y alcantarillado o con la navegación fluvial; la segunda con estudios de riego en áreas donde se desarrolló la irrigación, tales como Mendoza, San Juan, Río Negro y otras zonas.

Las escuelas de ingeniería, agronomía, geología y geografía de varias Universidades como Buenos Aires, La Plata y Córdoba, en un principio y luego, Cuyo y del Sur fueron las que llevaron adelante la enseñanza y las investigaciones en ciencias del agua, principalmente en las especialidades que he mencionado.

Sería imposible hacer una referencia detallada de todos los organismos que en el país contribuyeron y contribuyen al desarrollo de la hidrología y solo haré una mención de algunos de ellos . Agua y Energía Eléctrica, Servicio Meteorológico , Comisiones Nacionales de diversas cuencas, la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la U. N. del Litoral y los ferrocarriles con la medición de lluvias en todo el país.

En 1969 por iniciativa del Dr. Guillermo Cano, prestigioso especialista mendocino en Derecho de Aguas se creó la Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación, siendo el Dr. Cano el primer Secretario.

La creación en 1973 del **Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCyTH) hoy Instituto Nacional del Agua y del Ambiente (INA)** , con sus centros especializados y regionales, marcó un hito significativo en el estudio del agua realizando importantes contribuciones en las diversas áreas de su amplio espectro de especialidades : hidrología superficial y subterránea, modelos

físicos y matemáticos, riego y drenaje, informática , contaminación y aspectos legales e institucionales. Fue su primer presidente el prestigioso hidrólogo **Dr. Herminio Pérez.**

**Desde el Centro Regional Andino iniciamos en 1975 estudios en Mendoza y en diversas provincias sobre la problemática de las crecientes aluvionales.**

Realizamos los primeros estudios de Cuencas Aluvionales, con técnicas modernas , con el uso de modelos matemáticos, en Mendoza, Neuquén, Río Negro, Jujuy, Salta, Catamarca.

Formábamos equipo en ese entonces con Chambouleyron, Ciancaglini, Fornero, Hugo Yañez, J. Maza, O. Roby, Rodolfo Cola y otros.

A fines de la década del 60 se inició la incorporación a las ciencias del agua en la Argentina del conocimiento de los modelos matemáticos para uso en Hidrología, Hidráulica y en Riego y Drenaje.

**En la Universidad Nacional del Sur de Bahía Blanca, con los Departamentos de Ingeniería y Agronomía en forma conjunta, organizamos en 1968 y 1969 cursos de graduados sobre recursos hídricos** que divulgaron para la hidrología del país el concepto de modelación matemática. A dichos cursos concurren como profesores visitantes el destacado hidrólogo de la U. de California de Davis el **Dr. Jaime Amorcho** y el **Ingeniero Agrónomo mejicano especialista en drenaje agrícola Dr. Oscar Castilla Pérez de la S.R.H. de ese país.**

Los cursos de 1968 y 69 aparte de la divulgación que se logró a través de los muchos participantes de organismos nacionales y provinciales tuvieron una trascendencia especial por



la gran capacidad y personalidad del Dr. Amorocho.

El Dr. Amorocho, que había sido mi consejero durante mis estudios en la U. de California en Davis fue mi invitado a esos cursos. Posteriormente fue contratado para asesorar en estudios y proyectos sobre modelación hidrológica por Universidades y diversos organismos (como la Comisión Nacional de la Cuenca del Plata y el propio Incyth) hasta su fallecimiento ocurrido en 1983.

Desde 1971, primero en la U. N. del Sur y luego en el INCyTH-Centro Regional Andino adaptamos y utilizamos en estudios del mundo real, el modelo hidrológico integrado del S.C.S. de USA, denominado **Hymo (Hydrologic Modeling), que es hoy con el nombre de ARHYMO (rebautizado por J. Maza luego del agregado de rutinas de Hid. Urbana)** uno de los modelos de simulación hidrológica más usado en el país a nivel de diseño, tanto en ingeniería como en agronomía.

En relación a los sistemas en tiempo real, su historia es muy reciente.

### **¿CUAL FUE EL PRIMER SISTEMA DE HIDROLOGIA EN TIEMPO REAL EN ARGENTINA?**

El primer sistema en tiempo verdaderamente real que se diseñó e implementó a nivel operativo en el país, lo instalamos desde el **Centro Regional Andino del Instituto Nacional del Agua y del Ambiente (ex INCyTH)**

### **en el piedemonte del oeste del Gran Mendoza en 1982/83.**

Fue instalado con el apoyo financiero de un préstamo BID/INCyTH y durante los 15 años que lleva funcionando ha tenido apoyo financiero adicional por medio de subsidios de investigación del Conicet y del Conicmen de Mendoza.

Actualmente y luego de algunas ampliaciones está formado por dos subsistemas:

- . El sistema aluvional del oeste del Gran Mendoza con 25 estaciones remotas.

- . El sistema fluvial de los ríos Mendoza y Tunuyán con 2 estaciones VHF y 3 satelitarias.

El sistema del CRA tiene los siguientes objetivos:

- . Investigación
- . Transferencia de Tecnología
- . Alerta Hidrológica

En la transparencia que vemos proyectada, se muestra un esquema del sistema telemétrico de las cuencas aluvionales del Oeste del Gran Mendoza. Abarca desde el límite de precordillera al oeste hasta la zona urbana y suburbana en el este y desde el río Mendoza al sud hasta una línea que está a la altura de la ciudad de Las Heras al norte. En total 625 kilómetros cuadrados.

# MAPA DEL AREA

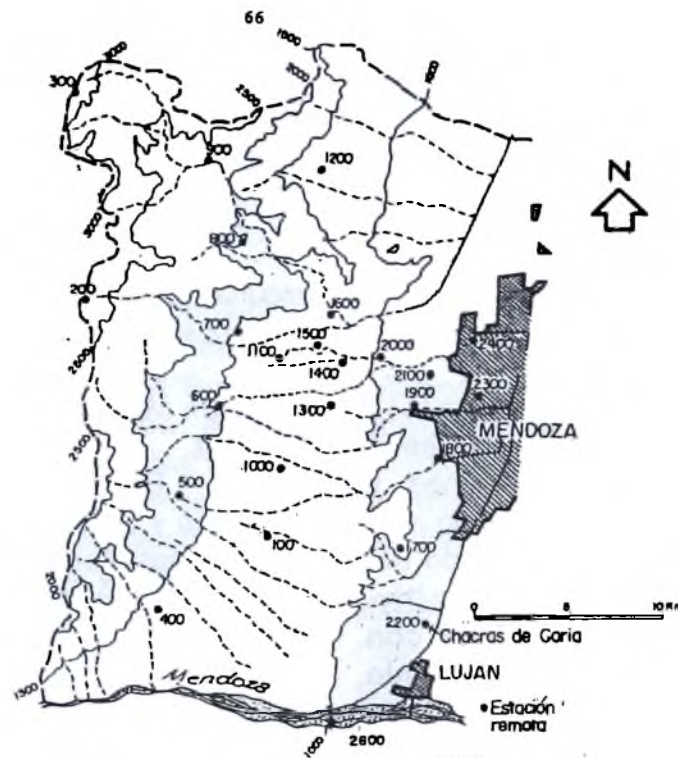


FIGURA 1 - Red hidrometeorológica

## Lámina 5

**Como el objetivo fundamental de esta red es la investigación de la problemática aluvional haré una breve referencia a la misma.**

Mendoza convive con el aluvión al igual que con el sismo o el viento Zonda y como en todo fenómeno natural no se puede hablar de su control, sino solo de su amortiguación y manejo. En este contexto se consideran los siguientes tipos de acciones:

- Medidas Estructurales y no Estructurales

Entre la primeras están las obras civiles de protección, como diques de detención, canales colectores, canales aliviadores y desagües pluviales urbanos.

Entre las segundas: Manejo de la vegetación y del suelo, Medidas de corrección de torrentes ( que pueden incluir pequeñas obras civiles) Planificación adecuada de ocupación

territorial, sobre todo en urbanizaciones en zonas aluvionales y sistemas en tiempo real de monitoreo de lluvias y caudales para aviso de tormentas y crecientes.

El sistema del CRA, al que me estoy refiriendo, involucra en su parte de apoyo a la investigación la medición de lluvias y caudales. El aporte de estos datos han permitido sacar conclusiones y desarrollar técnicas locales que han dado como consecuencia la generación de prácticas y métodos de ingeniería de diseño que están apoyando la ejecución de obras civiles, agronómicas y de corrección de torrentes.

Los datos de radar y de la red telemétrica han generado información valiosa que se está usando en el diseño de obras (como el caso de revisión del diseño de la presa Potrerillos).

En los referente a los sistemas de

monitoreo y aviso de lluvias y crecientes resulta importante destacar nuestra participación en lo que se ha llamado “El sistema de Alerta Hidrológica del Gran Mendoza”

Este sistema, que es un ejemplo de uso de tecnologías modernas y coordinación de acciones entre organismos, nacionales y provinciales, está conformado por: El Servicio Meteorológico Nacional, el Radar meteorológico de la Dirección de Prevención de Contingencias de Mendoza y la red telemétrica del CRA en el apoyo técnico. El sistema está coordinado por la Dirección Provincial de Defensa Civil y tiene como usuarios del sistema: Dirección de Hidráulica (que apoya intensamente, la operación de la red en tiempo real), el Departamento General de Irrigación y Obras Sanitarias Mendoza. Esto, es importante de destacar, constituye una de las herramientas no estructurales más importantes que se usan actualmente para el manejo de las crecientes aluvionales. En Estados Unidos existen ya en operación 600 sistemas de este tipo.

Podrá discutirse la mayor o menor eficiencia de uno de estos sistemas pero lo que no tiene duda es lo valioso de tener esa información en tiempo real en el lugar y en el momento adecuados.

En lo que se refiere a Transferencia de Tecnología, la acción que se ha hecho es muy importante por cuanto existen actualmente en funcionamiento otros sistemas que han recibido en algunos casos asesoramiento directo y en otros

consejo de la experiencia que tenemos en esta temática.

Me referiré en mérito a la brevedad, solo a dos sistemas en los que hemos tenido desde el CRA una intervención directa.

### **1. Red Hidrometeorológica Telemétrica de la Cuenca Inmediata al Embalse Salto Grande.**

El complejo hidroeléctrico de Salto Grande, sobre el río Uruguay, tiene una potencia instalada de 1.890Mw y una generación media de 6.000 Gwh/año (el 9% del consumo nacional de energía). El sistema está formado por 58 estaciones remotas y una estación central.

El objetivo de este sistema en tiempo real es el de tener información sobre las tormentas que afectan el área del perilago del embalse, en un área de 47.000 Km<sup>2</sup>. El río Uruguay aporta la parte sustantiva de los caudales al embalse y esa información, se recibe de datos que son reportados de la cuenca alta y media en forma independiente al sistema telemétrico.

La zona del perilago está afectada por tormentas intensas que se producen al azar en cualquier zona, generando aportes de volúmenes de agua que no provienen de los caudales normales del río.

Estos volúmenes deben ser conocidos por los operadores de la presa a fin de manejar adecuadamente los niveles para obtener un manejo eficiente que ayude a amortiguar los efectos de esas crecientes representativas sin afectar demasiado la generación eléctrica.

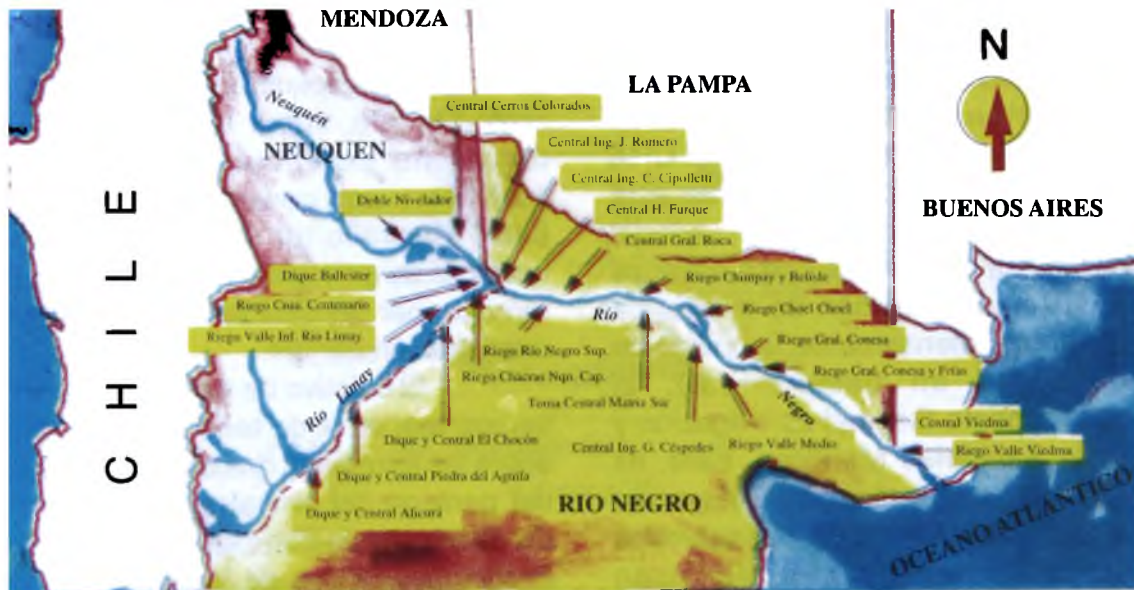


Lámina 6

## 2. Sistema de las cuencas de los ríos Neuquén y Limay

En estas cuencas como se puede ver en la lámina hay importantes embalses de regulación y generación hidroeléctrica (Alicurá-Piedra del Águila, Chocón, Cerros Colorados) que en conjunto generan 12.000 GW/h que son el 18% del consumo nacional de energía.

El sistema consta de 65 estaciones remotas de transmisión satelital que reportan a la central ubicada en Cipolletti. Cubre las cuencas activas de los dos ríos mencionados que en conjunto tienen un área de 60.000 Km<sup>2</sup>.



## RIO LIMAY

ESTACIONES DE PRECIPITACION  
TEMPERATURA Y CAUDAL

Lámina 7

En la lámina se muestra un esquema correspondiente al río Limay. El sistema que registra nieve y lluvia, temperaturas y caudales en los ríos principales, funciona en línea con un modelo matemático continuo que permite pronosticar volúmenes y caudales; previa detallada validación de los datos existentes de lluvias, nieves, temperaturas y caudales y calibración del modelo.

Existen otros sistemas ya funcionando en Córdoba, San Luis, Misiones y Chubut y varios proyectos en San Juan, Buenos Aires y otras provincias y el sistema para medición de nieves en cordillera, que instaló la ex empresa Agua y Energía Eléctrica

propiedad actualmente de la Dirección Nacional de Administración de Recursos Hídricos.

En la provincia de Mendoza, el Departamento General de Irrigación, está instalando y ya en franco proceso de funcionamiento un sistema en tiempo real de casi 100 estaciones remotas que abarcan las cuencas hídricas de Mendoza y sus redes de riego.

El gobierno de Mendoza también a través de la Dirección de Prevención de Contingencias, está instalando un sistema a tiempo real de carácter agrometeorológico a fin de extender al campo agrícola en forma directa los beneficios de esta tecnología.

Además en el INA hemos dictado cursos específicos del tema en 1986, 1993 y 1994 y he tenido la responsabilidad de dictar clases y conferencias en los Cursos de Hidrología en diversas Universidades nacionales además en la Universidad de Padua (Italia).

Mi relación con la U. de Padua merece también un paréntesis. A partir de una primera visita realizada en 1979 en el marco de un convenio con el IILA ( Instituto Italo Latinoamericano) que fue gestado por el Ing. Chambouleyron, establecí contacto con el **Dr. Sergio Fattorelli** y su equipo de trabajo del Dto. de Hidrología Forestal de la Facultad de Agraria. A partir de ese momento se inició un intenso intercambio de investigadores y becarios en ambos sentidos y de la realización de trabajos en conjunto.

Esa relación con el IILA nos trajo también al INA, el primer contacto con el **Dr. Massimo Menenti** , hoy investigador del Winand Staring Centre de Holanda, que ha permitido tener trabajos conjuntos sobre modelos matemáticos tanto en hidrología como en riego y drenaje y subsidios de investigación de la Unión Europea y un denso intercambio de profesores, investigadores y becarios.

**Como consecuencia de la tarea realizada en relación con el desarrollo de la hidrología y de la hidrología en tiempo real en el país , fui invitado a formar parte de de la Asociación del Sudoeste de Estados Unidos de Sistemas Hidrológicos de Alerta y del Consejo Nacional de Sistemas Hidrológicos de Alerta, de ese mismo país, en el que frecuentemente me invitan a participar en sus conferencias. También a formar parte como miembro honorario de la Asociación**

## **Italiana de Hidronomía**

### **CONCLUSIONES**

La hidrología en tiempo real - último avance de la ciencia y la técnica hidrológica- está ya instalada en la Argentina y hoy a 15 años del primer sistema del INA en Mendoza tiene un desarrollo persistente que actualmente se está acelerando por motivos económicos (dramática disminución de costos) y por existir mayor conocimiento por parte de profesionales y de funcionarios, así como la acción multiplicadora que van ejerciendo los propios sistemas en operación. Actualmente el INA y la Dirección Nacional de Administración de Recursos Hídricos han realizado un estudio para implementar a nivel nacional la “ **RED BASICA DE INFORMACION HÍDRICA** con alrededor de 2000 estaciones remotas satelitales. Desde el CRA hemos participado y estamos participando, en dicho estudio.

Estamos en el comienzo del que seguramente será un largo camino y en el caso especial de la agricultura, el mismo recién está empezando aunque ya hay empresas privadas interesadas en su aplicación. Me animo a decir que en la agricultura del 3º milenio en el país, basándome en los tremendos cambios que se están ya produciendo, la telemetría en tiempo real será un complemento fundamental del nuevo agricultor empresario que desarrolle una agricultura de precisión con sensores remotos que reporten a una central datos de monitoreo ambiental y de suelos para facilitar su toma de decisiones sobre:

**Manejo de áreas bajo riego, aplicación de riegos, momentos de siembra y cosecha,**

**oportunidad de aplicación de tratamientos terapéuticos, control de heladas etc.**

En la era de la información y las comunicaciones esta tecnología cumple su papel con la ciencia hidrológica pero como todo lo que se refiere a la informática, es una herramienta muy útil pero no milagrosa; por bueno que sea un sistema en tiempo real de nada servirá sin buenos datos y sin los profesionales de apoyo que sepan realmente usar con fines de

investigación u operativos toda esa información que el sistema entrega.

En todo esto y en lo que vendrá, las herramientas disponibles serán seguramente cada vez más sofisticadas, como el uso intensivo de imágenes de radar y satélite, pero en su correcta utilización cada vez es más importante **la capacitación el conocimiento y la investigación.**

Nada más; así que nuevamente expreso mi agradecimiento por el honor recibido y a Uds. oyentes, las gracias por la atención.

## BIBLIOGRAFIA

Biswas, A.(1968). «Beginning of Quantitative Hydrology». Journal of the Hydraulics Division». ASCE Vol.94 N°5-pp.1299-1316.

Biswas, Asit (1972). «History of Hydrology». North-Holland Publishing Co. Amsterdam-London

CFI. (1962). Evaluación de los Recursos Naturales de la Argentina. Recursos Hidráulicos Superficiales. Tomo IV. Recursos Hidráulicos Subterráneos. Tomo V.

Chambouleyron, Jorge. (1993). «Consideraciones sobre la Eficiencia de Riego». Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Tomo XLVII N°15. Buenos Aires.

Chow, Ven Te (Editor) (1964). «Handbook of Applied Hydrology». Mc Graw-Hill.

Chow, Ven Te, D.Maidment and L.Mays (1994). «Hidrología Aplicada». Mc Graw-Hill

Da Maso, Leonardo (1979) Roma de los Cesares Bonechi Ediciones.

Dodge, J. (1988).»Hydrology Past and Present». Journal of Hydraulics Research». Volumen 26-N°1-pp.5-26.

Fernandez, P.(1997). «Hidrología en Tiempo Real». Curso Internacional de Hidrología General con Aspectos Ambientales-Facultad de Ingeniería.U.N.de La Plata

Fernández, P., J.Maza, O.Roby and L.Fornero.(1990). A Hydrometeorological Telemetric Network for Hydrologic Research Studies in Mendoza (Argentina). International Symposium on Remote Sensing and Water Resources.

Fernández, P.; O.Roby; L.Fornero and J. Maza (1984). «Telemetrying Hydrometeorological Network in Mendoza, Argentina, One year of Experience and Research». Proceedings of the Technical Conference on the use of Microprocessors and Microcomputers in Operational Hydrology. WMO.

Fernández, P. L.Fornero, F.Longhini.(1996). Sistema de pronóstico Hidrológico para las Cuencas de los ríos Neuquén, Collón-Curá y Limay. Beta Studio, Italia. Informe para AI

Fuschini Mejía, Mario. (1983). «Hidrología de las Grandes Llanuras». Actas del Coloquio de Olavarría-UNESCO-CONAPHI. Argentina.

García Saez, Serafín.(1998). «El Departamento General de Irrigación se proyecta al Tercer Milenio-Moderna Administración del Agua. Diario Los Andes-Sección Campo y Tecnología. 14 de Junio.



Irigoyen, M. y A. Guella. (1990). «Red Hidrometeorológica Telemétrica de la Cuenca Inmediata al Embalse de Salto Grande. XIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Montevideo.

Istituto Geografico de Agostini ( 1972) Atlante Storico

Levi Enzo (1995). «The Science of Water». The Foundation of Modern Hydraulics. ASCE Press.

Rouse, Hunter and Simon Ince (1957). «History of Hydraulics» Dover Publications, Inc. N.York

Rouse, Hunter. (1980). «Some Paradoxes in the History of Hydraulics». Journal of the Hydraulics Division ASCE. Vol.106 N°6-pp.1077-108.

Soldano, F.A. (1923). «La Irrigación en la Argentina». El Ateneo-Buenos Aires.

Vich, Alberto. (1996). «Aguas Continentales, Formas y Procesos». CELA. Mendoza.

Viladrich, Alberto. (1972). América Latina. La planificación Hidráulica y los Planificadores. E.Universitaria. Chile.

Vitale, Galileo. (1940). «Hidrología Mendocina. Contribución a su conocimiento». D'Accursio. Mendoza.