

MÁS DE MEDIO SIGLO EN HIDRÁULICA EXPERIMENTAL

Palabras clave: raíces familiares, vida universitaria, investigación experimental, obras hidráulicas y formación de recursos humanos.
Key words: family roots, university life, experimental research, hydraulic structures, human resources formation.

■ Raúl Antonio Lopardo

Instituto Nacional del Agua y Universidad
Nacional de La Plata

raulantoniolopardo@gmail.com.

■ 1. LA PREHISTORIA

La Plata, capital de la provincia de Buenos Aires, fue fundada el 19 de noviembre de 1882 sobre la base de una planificación del Ingeniero Pedro Benoit, que fuera premiada como símbolo de su época en la exposición universal de París de 1897, con la entrega de una plaqueta de manos del escritor Julio Verne. Allí nació el 27 de febrero de 1943.

Para entonces, el mundo todavía estaba inmerso en la Segunda Guerra Mundial. En Amsterdam, Ana Frank escribía en su famoso diario que Winston Churchill se recuperaba de una pulmonía y el Mahatma Gandhi volvía a iniciar una enésima huelga de hambre. En Noruega, esa misma noche, un grupo de seis paracaidistas de esa nacionalidad, lanzados desde un avión nueve días antes, volaba las cámaras de fabricación de agua pesada de la planta de Rjukan, retrasando así el programa nuclear del Tercer Reich. El diario Litoral de Santa Fe informaba del avance de las tropas rusas en dirección al río Dniepper y que los puertos de Dunquerque y Cherburgo habían sido reciamente bombardeados. Dentro de ese contexto, a las nueve de la noche mi madre daba a luz en el Instituto Médico Platen-

se de 1 y 50, mientras sonaban los acordes de los bailes de carnaval que se desarrollaban en los jardines de un estadio próximo.

Fui primer hijo, primer nieto y primer bisnieto, de dos familias de inmigrantes. La de mi padre, proveniente del sur de Italia, y la de mi madre, del norte de ese país. Tuve la inmensa fortuna de convivir en ese entorno, con mucho orgullo y admiración por todos mis mayores. Mi padre, Antonio Lopardo, nacido en La Plata en 1915, quedó huérfano de su padre albañil a los cuatro años, con una hermana de seis y una madre admirable y trabajadora que salió a flote como obrera del Frigorífico Armour de Berisso por más de treinta años, tras haber dejado atrás su tarea infantil de cuidado de las cabras en su pueblo de Brienza, donde no tuvo la oportunidad de asistir a la escuela.

Los ancestros de mi madre, Isolina Angélica Marmonti provenían de Lombardía, cerca de Milán. Según me contaron, mi bisabuelo Francesco instaló una fonda en la que trabajaba toda la familia a la que denominó "Los tres países" por su nacionalidad italiana, la española de su mujer y la argentina de sus seis hijos. Mi abuelo, que era el mayor

de los seis, siempre tuvo especial dedicación por el estudio. Completó la escuela primaria, egresó del Colegio Nacional y se recibió de Ingeniero en la Universidad Nacional de La Plata, pero siempre colaborando como mozo en el negocio familiar. Se dedicó fundamentalmente a la docencia como profesor de la Facultad de Ingeniería y de la Escuela Naval, llegando no sin esfuerzo a tener una posición que le permitió vivir holgadamente. Hombre de extraordinaria rectitud, fina sensibilidad para el arte y las ciencias, Ángel Marmonti se enamoró de Isolina Angélica Borrone; peleó por ella y finalmente se casó y tuvo tres hijos. Como dato colateral, fue presidente electo del Club de Gimnasia y Esgrima La Plata en 1932, cuando se formó el famoso "expreso del 33", renunciando antes del año por considerar que el fútbol profesional no se autofinanciaba.

Mi padre fue un dedicado estudiante, distinguido como el mejor de su promoción en la Escuela Industrial y, posteriormente, Ingeniero Hidráulico y Civil con un notable récord de sobresalientes y distinguidos en las treinta y seis materias para alcanzar el diploma y el más alto promedio de los egresados en 1941. Fue Director Técnico de la Municipi-

palidad de La Plata, Ingeniero del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires y actuó como auxiliar de la Justicia, como perito en numerosos e importantes juicios provinciales. En la docencia, tras una etapa como profesor de la Escuela Industrial, quedó exclusivamente dedicado a la Universidad Nacional de La Plata, primero como Jefe de Trabajos Prácticos de Hidráulica en Ingeniería y, finalmente, como Profesor Titular de Topografía en la Facultad de Agronomía, cátedra que él fundara y luego sostuviera ganando todos los concursos hasta su jubilación. Tanto a mí, como a mi hermano Horacio, nos inculcó la cultura del trabajo, transmitiendo siempre la epopeya de su madre y la respetuosa admiración por su suegro, que fuera profesor suyo en la Facultad.

■ 2. LAS ÉPOCAS DORADAS

Comencé la prolongada y aún no finalizada relación con la Universidad Nacional de La Plata como alumno de la Escuela Graduada Joaquín V. González (mi querida escuela Anexa), egresando como abanderado de la misma. Debo reconocer a la distancia mi deuda de gratitud con esos maestros que me dieron todos los elementos para triunfar en cualquier actividad. Hoy me asombro de ver que muchas de las bases culturales que nos inculcaron no se consideran de importancia. La amistad del grupo de alumnos que egresamos de la escuela en 1955 ha perdurado en el tiempo y aún seguimos encontrándonos todos los años, lamentablemente cada vez con más ausentes.

El tiempo del secundario en el mítico Colegio Nacional de la UNLP fue breve pero maravilloso. Pasó como una ráfaga. Grandes maestros me hicieron disfrutar de historia, geografía, lengua, física, química,

biología, literaturas clásica universal, contemporánea, castellana y argentina, francés, historia del arte y tantas otras materias en ese medio único, en el que todo era con participación muy especial del alumno. Las matemáticas las aprendí afortunadamente luego en la facultad. A mediados de 1957, tres estudiantes de segundo año acordamos, no recuerdo si como apuesta o como desafío, preparar y rendir tercer año libre, con la condición de no perder las vacaciones de verano. Los veranos marplatenses en la playa La Perla formaron parte de las mejores diversiones juveniles, en compañía de amigos inolvidables. Pero ello imponía rendir los exámenes escritos y orales de trece materias con los profesores más exigentes de la época, en escasos ocho días del mes de diciembre. Debido a la temprana desaparición física de los eminentes doctores en Medicina Juan Jorge Moirano y José Carlos Fassi he quedado como único integrante de aquel trío. El exitoso cumplimiento de esa modesta cruzada llevó a que nuestros familiares nos bautizaran como "los tres mosqueteros". Sin embargo, con el paso del tiempo, no me felicito de la decisión tomada. Quisimos "ganar un año" en nuestras carreras profesionales pero hoy siento, tal vez, haber perdido un año de la maravillosa juventud de aquellos tiempos en el colegio emblemático de René Favalaro y Ernesto Sábato, en el que el 2 de abril de 1925 Albert Einstein inaugurara el año académico brindando una conferencia. Los dos últimos años de bachillerato vivimos los ásperos debates de enseñanza "laica" versus enseñanza "libre" y de alguna forma poco convencional nos formamos también para la participación en política universitaria.

Al egresar del Colegio Nacional tuve la intención primaria de inscribirme en la carrera de Arqueología

pero me desanimaron los docentes del Museo, que fueron muy poco convincentes con respecto a la futura actividad profesional. De haberse filmado con anterioridad alguna película de Indiana Jones, creo que hubiera optado por esa alternativa. Pero dadas las circunstancias, elegí el camino más sencillo y tomé la decisión final "por cuestión de familia". Es que mi abuelo materno integró en 1913 el grupo de los cinco primeros egresados como ingenieros hidráulicos de la Argentina, para posteriormente alcanzar el diploma de Ingeniero Civil; lo que treinta años después se repitió con mi padre, Ingeniero Hidráulico y Civil de la misma universidad, y continuara con mi hija María Cecilia que alcanzó ambos títulos a fines del siglo pasado.

En realidad, cuando ingresé a la Facultad tenía la idea de que el problema era salir indemne del farrago de matemáticas (que finalmente me dieron las mejores calificaciones) y resolver los problemas "de ingenio" de Física. Sólo mi espíritu de no fracasar me alentó a seguir adelante en primer año. Pero luego, materias como estructuras, hidráulica, mecánica de suelos, o tecnología del hormigón, que pude comprender gracias a la matemática y la física adquiridas, me acercaron a la visión de un ingeniero proyectista, en cierta medida innovador. Además, ello debe sumarse a la formación excelente primaria y secundaria recibida en esta misma universidad, que me permitió acceder a un amplio panorama cultural, muy importante en mi vida. De todos modos, mi interés por entonces estaba centrado en caminos y puentes, y nunca pensé que las ciencias del agua y la hidráulica experimental fueran mi destino.

Trabajé como preceptor del Colegio Nacional en el turno mañana durante todo mi período de estu-

dante. Tuve la suerte de compartir los estudios con un grupo de excelentes amigos provenientes de distintos sitios del país y en muy pocos casos estudié para un examen en soledad, compartiendo con Ricardo Petroni, un notable compañero, toda mi carrera. Con él además conocimos prácticamente todos los bailes de clubes platenses los sábados por la noche y participamos activamente del Centro de Estudiantes, ya en los dos años finales de la carrera, siendo en mi caso electo como Consejero Académico Suplente. En el aspecto deportivo, durante toda mi etapa de estudiante jugué al fútbol como delantero en algunos equipos platenses no profesionales, integrando la selección de la Facultad en dos años consecutivos en el torneo interno de la universidad.

Siendo aún muy joven, obtuve el título de Ingeniero Hidráulico el 19 de diciembre de 1964 y el de Ingeniero Civil el 26 de abril de 1966.

■ 3. LAS ETAPAS PROFESIONALES

Si tomamos en cuenta el tiempo transcurrido desde que ingresamos a la carrera (a comienzos de la década del sesenta) y la era actual, podemos simplificar diciendo que el ingeniero pasó de la regla de cálculo y la tabla de logaritmos a la computadora personal de memoria ilimitada; del tiralíneas y la tinta china a la última versión de Autocad en tres dimensiones; del teodolito en la terraza del Departamento de Electrotecnia para calcular las coordenadas del sitio al GPS de alta precisión, que permite determinar hasta la deriva de un continente; del envío de un informe técnico con texto en copias heliográficas, un rollo de planos y un sobre con fotografías en blanco y negro a la transmisión por correo electrónico de un archivo con textos y gráficos con miles de colores al confín del mundo mediante Inter-

net; algo que no previeron en aquel tiempo ni siquiera los escritores de ciencia ficción. Junto a los compañeros de aquellos memorables años sesenta, contestatarios y románticos, hemos tenido una titánica tarea para cumplir con nuestra profesión en esta más de media centuria, la más grande y difícil de prever, adaptarnos a los avances cada vez más veloces y profundos de la tecnología, sin perder la esencia de las ciencias básicas de la ingeniería, los conceptos de nuestros maestros, el interés por la experimentación y la vocación de servir a la sociedad.

Cuando en abril de 1966 me recibí de ingeniero civil ya desarrollaba algunas actividades en la facultad como ingeniero hidráulico. Era ayudante de curso en Física I y en Hidráulica General. Mis profesores de esa materia, los ingenieros Víctor Miganne y Dante Dalmati me enseñaron a amar la docencia y respetar la hidráulica. Luego, bajo la conducción del Ingeniero Horacio Caruso participé muy activamente del estudio en modelo físico de una barrera neumática para el puerto de La Plata, que impidiera el pasaje de

derrames de petróleo de la destilería de YPF al río. Si bien ese trabajo generó, un año después, una publicación en la Academia de Ciencias de París (Caruso, H.A. y Lopardo, R.A., 1969), hecho fortuito y afortunado, para mi frustración, esa barrera nunca fue construida.

Dos excelentes cursos de postgrado dictados en la Facultad por Daniel Fruman y Claude Thirriot, quien influyó en la obtención de una beca a Francia que financiara el *Centre International des Stages* del gobierno de Charles De Gaulle, me definieron el rumbo hacia la mecánica de los fluidos. Como mi novia era estudiante del Profesorado de Lengua y Literatura Francesas en la Facultad de Humanidades, me casé con Sara y viajamos en barco al viejo continente. La libreta de casamiento era entonces indispensable para compartir el camarote. En el ENSEIHT, instituto politécnico de Toulouse, desarrollé una tesis bajo la dirección del ya renombrado joven profesor Claude Thirriot sobre fenómenos interfaciales en medios porosos, basada en efectos de capilaridad entre dos líquidos, con el ob-



Raúl Lopardo, Julio De Lío, Moisés Barchilón y Alfonso Pujol (cuatro directores del Laboratorio de Hidráulica Aplicada en más de medio siglo).

jeto de economizar la recuperación secundaria de petróleo en pozos ya explotados. El 30 de octubre de 1968 obtuve el grado de Doctor en Ciencias Físicas de la Universidad de Toulouse, con mención "muy honorable" y las felicitaciones del jurado, presidido por el legendario Profesor Léopold Escande, Miembro de la Academia de Ciencias de París y cuyo nombre lleva actualmente una calle de la ciudad natal de Carlos Gardel.

Al regresar a la Argentina, me llevé dos sorpresas negativas: en mi entorno profesional se consideraba que el doctorado no tenía ninguna importancia para un ingeniero y a la empresa YPF no le hacía falta, aparentemente, un especialista en el tema que yo había desarrollado. La ingeniería vial y la del petróleo pasaron a ser parte del pasado y decidí presentarme en Buenos Aires a un concurso para ingenieros hidráulicos llamado por el Ministerio de Obras Públicas de la Nación.

Así es que el primero de agosto de 1969, casi en el mismo momento que se producía la cesión de los terrenos que hoy ocupa el Instituto Nacional del Agua en Ezeiza, ingresé al entonces Laboratorio Nacional de Hidráulica Aplicada, bajo la dirección del Dr. Moisés Barchilón que -creo- me transmitió su espíritu fundacional. Yo tenía entonces veintiséis años, mis diplomas y laureles universitarios, una modesta experiencia en modelos físicos e hidráulica teórica, una discutible dosis de soberbia y una mochila repleta de sueños, esperanzas y deseos de triunfo.

Los setenta kilómetros de distancia desde el trabajo a mi hogar y la inexistencia de la más mínima infraestructura de la institución, me hicieron pensar que se trataba de una etapa realmente transitoria de

mi vida. Yo estaba seguro que no iba a durar más de un año. Desde los estudios en modelo físico de la presa de Futaleufú y la Vuelta de San Antonio del Paraná de las Palmas a las nuevas esclusas del Canal de Panamá pasaron más de cuarenta y cinco años de trabajo en Ezeiza, los últimos diez (2006-2016) en la Presidencia del Instituto Nacional del Agua. Previamente en esa institución fui Jefe de Equipo de Investigación (1969-1986), Director del Laboratorio de Hidráulica Aplicada (1986- 1992), Gerente de Ciencia y Técnica (1992-1996) y Gerente de Programas y Proyectos (1996-2006), en estos últimos dos cargos por concurso de difusión internacional.

En esa institución conduje o participé en los estudios sobre modelo físico para la verificación y optimización de la mayor parte de las grandes obras hidráulicas construidas o proyectadas en la Argentina en los últimos cincuenta años; entre ellas Salto Grande, Alicura, Piedra del Águila, Arroyito, Yacyretá, Corpus, Michihuao, El Chihuido, Paraná Medio, Casa de Piedra, El Tunal, Miraflores, Uruguayí, Futaleufú, Garabí, El Bolsón y más recientemente en las presas del río Santa Cruz y las de Maduriacu en Ecuador y Gatún, esta última para el nuevo tercer juego de esclusas del Canal de Panamá. Cumplí mis últimas etapas en el INA en tareas de gestión lo que me introdujo en otros campos de la profesión, en los que creo también haber efectuado algunos aportes, especialmente en aspectos técnicos y comunicacionales de las inundaciones urbanas por lluvias intensas y los medios estructurales y no estructurales para su mitigación.

Mi récord en la Facultad de Ingeniería de la UNLP resultó todavía mayor, pues acredito casi sesenta años al frente de estudiantes, desde ayudante alumno a profesor titular

(pasando por ayudante diplomado, docente autorizado, jefe de trabajos prácticos, profesor adjunto y profesor asociado) accediendo a todos los cargos por concurso.

Participé activamente con la reconstrucción democrática de la Facultad de Ingeniería integrando como Miembro Titular el Consejo Académico Normalizador Consultivo -desde comienzos de 1984 hasta abril de 1986- siendo luego Consejero Académico Titular electo por el Claustro de Profesores hasta 1989. Además colaboré como Co-Director de la Maestría en "Ecohidrología" desarrollada en conjunto con la Facultad de Ciencias Naturales y Museo desde 2003 a 2010, y me desempeñé como Director de la Carrera de Ingeniería Hidráulica en la Facultad de Ingeniería desde 2005 hasta 2010.

Actualmente me encuentro colaborando con esa facultad en el área de Hidráulica Básica, en mi carácter de profesor consulto, lo que agradezco muy sinceramente a nuestro Director de Departamento Sergio Liscia y a las máximas autoridades de la Facultad de Ingeniería. Allí continúo aprendiendo de los alumnos y tratando de transmitirles mi pasión por la hidráulica experimental, las obras hidráulicas, la hidráulica fluvial, la investigación aplicada y la innovación tecnológica.

■ 4. LAS MIELES DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 ALGUNAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

Como lo expresara previamente, comencé mis actividades de investigador atacando problemas en diversos campos de la mecánica de fluidos (escurrimiento a dos fases en medios porosos, incorporación de aire en barreras neumáticas, flujos

de líquidos no newtonianos, aplicación de modelos analógicos), para posteriormente dedicar mis esfuerzos sin solución de continuidad a aspectos fundamentales de la mecánica de fluidos e hidráulica aplicadas a obras de ingeniería, en particular, a la verificación de proyectos mediante la técnica de modelos físicos.

Esos modelos se basan en condiciones de semejanza dinámica, que podrían resumirse muy sencillamente con la exigencia de mantener respecto del prototipo una única escala de fuerzas. Esa "pequeña" condición suplementaria, de tan difícil cumplimiento en la mayor parte de los casos prácticos, marca la diferencia sustantiva entre lo que es un "modelo" y lo que es una "maqueta". Tomando un caso muy elemental, si se construye una locomotora que mantiene en rigurosa escala reducida todas las dimensiones de una locomotora real, simulando hasta los más delicados detalles de su forma, habrá respondido fielmente a las condiciones de semejanza geométrica y se estará en presencia de una maqueta. Para que la locomotora en escala reducida se comporte efectivamente como un modelo, será necesario que la misma pueda moverse con una fuerza de tracción hacia los vagones que esté en la misma escala que el peso de la locomotora, la fuerza de roce entre las ruedas y los rieles y la fuerza de resistencia dinámica del aire

Dentro del equipo de trabajo de "estudios de obras hidráulicas" del Laboratorio de Hidráulica Aplicada, que tuve la oportunidad de conducir durante prolongado lapso y con el que -de algún modo- sigo contribuyendo en forma esporádica en la actualidad, me permito seleccionar cinco líneas temáticas de investigación y desarrollo, con resultados de distinta envergadura: a) hidrodinámica de enrocados, b) erosión aguas

abajo de aliviaderos en salto de esquí, c) ondas generadas por resalto hidráulico, d) aireación anticavitatoria y e) solicitaciones aleatorias inducidas por flujos macroturbulentos.

La línea temática (a) fue esencialmente dedicada a aspectos prácticos, como cierres de cauces fluviales mediante enrocados, protección de márgenes y lechos. La motivación inicial surgió de los prolongados y detallados estudios de desvío del río Uruguay en Salto Grande, que tuviera notable verificación entre prototipo y modelo. Ello permitió contar con excelente infraestructura para ensayos de carácter básico. Entre otros resultados originales, se pueden citar la publicación de un método que desarrollara con el Ing. Fernando Zárate para calcular los tamaños de rocas a volcar durante cierres por avance en cauces no erosionables y la demostración inédita de la influencia del ritmo de volcado de material sólido durante el proceso de desvío para construcción de presas, que comenzara en el Laboratorio Nacional de Hidráulica de Francia, sito en Chatou, próximo a París, durante el crudo invierno septentrional de 1976, donde trabajé gracias a una beca de Naciones Unidas. Como resultado de una investigación colateral, se publicó una fórmula de cálculo sencilla, llamada "fórmula de Lopardo", o de "Lopardo-Estellé" según la bibliografía chilena (Alvarado Montero, L., 1985), que es utilizada como aproximación inicial en la estimación de enrocados de protección de márgenes en ríos y canales rectilíneos. Estimo que el mayor aporte que tuvieron estos estudios experimentales fue lograr una cierta "independencia tecnológica" en el tema de cierres y desvío de grandes ríos. Ello permitió que un laboratorio argentino adquiriera por primera vez experiencia y prestigio para desarrollar en el país los estudios sobre modelo físico de ve-

rificación y optimización de las estrategias y metodologías de cierres fluviales en proyectos de la envergadura de Salto Grande, Arroyito, Alicurá, Yacyretá, Piedra del Águila, Michichuao y Corpus (aunque los dos últimos nunca fueron construidos).

El tema (b) puede considerarse un ejemplo de resultados de investigaciones aplicadas que fueron exitosamente transferidos por el equipo a mi cargo al medio profesional. Se debe exclusivamente a la imaginación del notable ingeniero francés André Coyne el desarrollo en los años treinta del diseño de vertederos en presas de gran altura con evacuación directa al cauce fluvial, que sería denominado años más tarde como "salto de esquí", por el que se lanzan al aire hacia el valle de aguas abajo los caudales que vierte el aliviadero (Khatsuria, R.M., 2004). En este caso, la disipación de energía no se produce en la obra sino sobre el propio lecho fluvial, aguas abajo de la estructura.

La llamada "fórmula del INCYTH" (Chividini, M.F. *et al.*, 1983), internacionalmente citada hasta en libros de texto (Schleiss, A.J. y Bollaert, E., 2002, Hoffmans, G.J., 2012), permite estimar la profundidad máxima de erosión en cauces fluviales aguas abajo de aliviaderos en saltos de esquí y ha tenido un comportamiento sorprendente en función de su exagerada sencillez, superando ampliamente nuestras expectativas, que la considerábamos de utilidad sólo para cálculos muy preliminares. Ella cuenta con la ventaja de no requerir el conocimiento previo del tamaño de los bloques de roca que serán formados por fractura del lecho, lo que antes de la iniciación de los estudios de campo no es posible conocer.

En general, podría afirmarse que

todas las expresiones empíricas responden acertadamente a los datos experimentales que utilizó su propio autor para la formulación. Por ello, transcurridos diez años de su presentación original, se efectuó una verificación del comportamiento de esa fórmula con la incorporación de resultados provenientes de otros autores, a partir de referencias posteriores a su publicación, efectuándose una nueva consideración de la misma que nuevamente demostró su vigencia, lo que puede tal vez ser explicable por múltiples motivos, entre los que no puede descartarse una más que razonable dosis de fortuna.

Cabe mencionar que no todo fue afortunado para esa fórmula, pues ni el INCYTH existe hoy con ese nombre ni las citas mencionan el apellido del primer autor de la publicación original. Por otra parte, el conocimiento de la profundidad máxima de erosión es a veces insuficiente para la verificación de una obra con aliviadero en salto de esquí respecto de la estabilidad del cauce y las márgenes del río en la zona de aguas abajo de las presas, por lo que un estudio sobre modelo físico a escala generosa aún sigue siendo recomendable.

El tema (c) fue un ejemplo de investigación básica autogenerada, tendiente a resultados originales e inéditos según mi propia visión, sin el apoyo de fondos externos ni el visto bueno de la dirección. Para ello, fuera de la vista de las autoridades, se construyeron instalaciones específicas destinadas al estudio de oleaje generado aguas abajo de dissipadores a resalto de obras fluviales. Esa obra fue denominada como "el canal pirata" y se utilizó la experiencia en medición e interpretación de datos del área de hidráulica marítima del laboratorio. El trabajo experimental, con la colaboración del Ing.

Gustavo Vernet, permitió finalmente llegar a expresiones empíricas para determinar amplitudes y períodos de ondas superficiales producidas por resaltos hidráulicos de dissipadores de energía, que pueden afectar al comportamiento de centrales vecinas al aliviadero, habituales de presas en grandes ríos de llanura. Esos resultados integraron dos publicaciones internacionales, de las que no tuvimos ninguna respuesta durante años. Es cierto que ellas hoy se encuentran citadas en tres libros de texto extranjeros, cuatro tesis de grado de Canadá y China, y que también fueron utilizadas en algún caso en el río Uruguay pero todo ello ocurrió mucho tiempo después de haber reconocido a la dirección nuestro fracaso, pedido disculpas y haber cambiado nuestras prioridades de trabajo.

En cuanto a la línea de investigación (d) sobre aireación anticavitatoria, que todavía a la fecha continúa con el aporte de otros investigadores dentro del Instituto, se alcanzaron resultados originales en técnicas de modelación física de aireación, instrumentación para detección de concentraciones de aire en modelo y en obra, incluyendo una patente del instrumental desarrollado por el Ing. Gabriel Tatone, que fuera instalado en las presas de Alicura y Yacyretá en Argentina, y de Aguamilpa, en México. También se construyeron equipos para mediciones de concentración de aire en flujos líquidos utilizados en laboratorios del país y Brasil. Las investigaciones de carácter básico de aireación en flujos de alta velocidad fueron aplicadas exitosamente en los sistemas de aireación de las rápidas de las presas Alicura y Piedra del Águila sobre el río Limay. Por otra parte, el uso de aireadores en aliviaderos de baja caída ha sido propuesto en el mundo por primera vez, a nuestro conocimiento, por el Ing. Julio C.

De Lío, integrante de nuestro equipo de trabajo.

Los estudios del efecto de la intensidad de turbulencia del flujo de aproximación sobre la eficiencia de los aireadores, así como el diseño de los equipos de aireación en aliviaderos, iniciados en mi período de conducción del laboratorio fueron continuados por los ingenieros Carlos Angelaccio, Daniel Bacchiega y Claudio Fattor. Los dos mencionados en último término continúan aún en el tema, ampliando la posibilidad en futuro de aplicar aireación forzada en vertederos escalonados.

A pesar de todo lo expuesto anteriormente, estimo que nuestros resultados más originales, y tal vez los más exitosos, se encuentran en la actividad creativa correspondiente al tema (e), que trata sobre las solicitaciones aleatorias inducidas por flujos macroturbulentos en dissipadores de energía y que, probablemente, es el que ha concentrado la mayor dedicación de personal y medios materiales en las dos últimas décadas del siglo XX en los laboratorios de hidráulica argentinos.

En breve descripción, el resalto hidráulico es un movimiento macrocópicamente permanente, bruscamente variado, que se produce toda vez que un escurrimiento a superficie libre pasa de régimen supercrítico a subcrítico. Esta transición está caracterizada por un abrupto ascenso del tirante líquido y la formación de un potente torbellino de eje horizontal, que da como resultado la generación de macro turbulencia de gran intensidad, con incorporación y arrastre de aire en la masa líquida y disipación de energía. En definitiva, el resalto es un eficiente transformador de energía, pasando parte de cinética a potencial y disipando otra parte por efecto de la macro turbulencia que genera. Los remolinos de

mayor tamaño, asociados con bajas frecuencias de fluctuación y determinados por las condiciones de borde del escurrimiento, tienen dimensiones del mismo orden de magnitud que las del dominio del flujo e interactúan con el escurrimiento medio, del cual extraen energía cinética con la que alimentan esas fluctuaciones de presión y velocidad.

El diseño de disipadores de energía de obras hidráulicas, desde un punto de vista global y macroscópico, ha merecido numerosas investigaciones en el pasado. Se cuenta así con los elementos básicos para el cálculo del resalto y se dispone de una profusa bibliografía técnica respecto de los disipadores convencionales, que incluye manuales de diseño aparentemente completos. Sin embargo, los fenómenos íntimos del resalto hidráulico, que son precisamente los responsables de la mayor parte de los procesos vinculados a la disipación de energía, han recibido escasa atención por parte de los investigadores de países desarrollados. Esta carencia puede ser parcialmente explicada considerando que los países de más elevada tecnología elaboraron sus manuales de diseño de estructuras hidráulicas a partir de experiencias que tuvieron lugar antes de la década del sesenta, pues hasta ese entonces se desarrollaron los estudios y proyectos de sus más importantes aprovechamientos hidroeléctricos. En esos tiempos, las técnicas de medición y registro de señales aleatorias y su procesamiento analógico-digital no estaban suficientemente difundidas en los laboratorios de hidráulica para estudios considerados "convencionales". Además, las grandes obras construidas con los conocimientos previos no habían sufrido aún el deterioro que sólo es posible de producir con el paso de crecidas importantes en el tiempo.

El retraso argentino en la concreción de sus grandes emprendimientos en la materia ha permitido que esta línea de investigación produjera resultados absolutamente originales dentro del tema ampliando, a mi criterio, efectivamente la frontera del conocimiento al respecto. Debe además considerarse la fortuna de haber participado en la verificación y optimización de la casi totalidad de los grandes proyectos nacionales, de características francamente excepcionales, con caudales específicos de alivio que exceden largamente los recomendados en la bibliografía, tales como disipadores a resalto en el rango oscilante, relaciones de contracción de cauce exageradas, niveles de restitución no siempre adecuados a las descargas previstas y condiciones de operación anormal prácticamente inevitables.

El análisis de las solicitudes aleatorias de escurrimientos macro-turbulentos en estructuras hidráulicas tiene pues relevante interés en cuanto a la seguridad de las mismas y la optimización de su diseño. Ese fenómeno puede ser responsable de daños importantes en cuencos disipadores de energía, debido a arrancamiento de losas, fatiga de materiales, vibraciones y erosión por cavitación intermitente.

En virtud de lo expuesto, esta línea de investigación ha tenido a lo largo del tiempo varios aspectos paralelos, tales como el estudio de laboratorio tendiente a definir la influencia de las distintas variables involucradas en el problema llegando a resultados originales, en algunos casos, la demostración en mediciones de obra de los fenómenos citados, el análisis de los límites y posibilidades de modelación física de las solicitudes aleatorias inducidas por escurrimientos macro-turbulentos y, finalmente, la búsqueda de soluciones prácticas ante casos par-

ticulares planeados por las diversas obras en ejecución o proyecto. Gran parte de las publicaciones de las que he sido autor o coautor están vinculadas a esta línea de investigación, a la que me referiré extensamente en el subcapítulo siguiente.

Los estudios de las líneas de investigación mencionadas y otras que no se han incluido en este texto, fueron transferidos mediante más de 280 publicaciones en libros, revistas y memorias de congresos internacionales, sobre temas tales como modelos físicos, obras hidráulicas, erosión local, inundaciones, educación de la ingeniería y aliviaderos de grandes presas. Ellas han sido citadas por autores extranjeros (restringiendo así las posibles citas de colegas, discípulos o amigos) en al menos veintitrés tesis de doctorado, veinte de maestría, doce de "batchelor", veintiocho libros de texto, ciento setenta y nueve publicaciones en revistas y congresos, y diecinueve memorias de proyectos.

4.2 ESTUDIOS DE SOLICITACIONES ALEATORIAS INDUCIDAS POR RESALTO HIDRÁULICO

El proceso de disipación macro-turbulenta en el interior del resalto está inexorablemente acompañado de severas fluctuaciones de presión, que se transmiten a las estructuras componentes de los cuencos amortiguadores de energía. Parte de las investigaciones brevemente resumidas en ese tema permiten hoy la estimación preliminar de amplitudes medias cuadráticas; amplitudes con diversa probabilidad de ocurrencia; frecuencias dominantes; frecuencias de cruce por cero; frecuencias medias; y asimetrías de distribución de presiones fluctuantes en la base de resaltos libres, sumergidos y forzados con diferentes condiciones de ingreso y diversas estructuras inmersas en este tipo de escurrimientos

macroturbulentos, con la intención de brindar un apoyo de interés para la labor de los proyectistas de obras hidráulicas (Lopardo, R.A., 1988).

La combinación de inestabilidades del escurrimiento con perturbaciones de los bordes sólidos por discontinuidades estructurales tiende a incrementar las amplitudes de fluctuación y concentrar la distribución de energía alrededor de una frecuencia dominante. Por ello, los riesgos por fluctuaciones de presión crecen considerablemente en cuencos de disipación forzada, con la presencia de bloques, dientes, juntas, salientes o cuando los pilares separadores del vertedero presentan su cara posterior inmersa en el resalto. Uno de los primeros trabajos publicados por el equipo en este tema fue dedicado a poner en evidencia la sensible influencia del nivel de restitución del resalto sobre las amplitudes y frecuencias de fluctuación de presiones en dientes de disipación forzada normalizados (Lopardo, R.A., Orellano, J.A. y Vernet, G.F., 1977).

Si bien las primeras experiencias acerca de presiones fluctuantes sobre el piso de un disipador a resalto de investigadores extranjeros son anteriores a la década del setenta, estimo que nuestro equipo, con el aporte de la tesis de licenciatura del Dr. Hernán G. Solari, determinó por primera vez con claridad la influencia del número de Froude incidente (número adimensional que surge de la relación entre fuerzas de inercia y gravitacionales) sobre el campo de presiones instantáneas en un resalto libre horizontal formado aguas abajo de una compuerta de fondo (Lopardo, R.A. y Solari, H.G., 1980).

Demostramos allí que la amplitud de fluctuación referida a la energía cinética incidente resulta máxima para el número de Froude de

ingreso $F_1 = 4,5$, coincidiendo con un valor que según varios autores divide los resaltos estables de los oscilantes. También analizamos el orden de magnitud de las frecuencias y la asimetría de la función densidad de probabilidad de amplitudes, variables con la distancia longitudinal y con el número de Froude incidente al resalto.

Para asegurar la calidad de las investigaciones que se describen, fue indispensable la verificación del equipo experimental y el desarrollo de un adecuado sistema de tratamiento de datos aleatorios. Con las experiencias desarrolladas con el Ingeniero Ronaldo Henning, en su tiempo de becario de CONICET, hemos podido demostrar la posibilidad de utilización de tubos flexibles convencionales de conexión entre toma y sensor de hasta 55 centímetros de longitud, sin alteración de resultados en amplitud ni frecuencia, para los rangos de bajas presiones y frecuencias como las generadas en escurrimientos macroturbulentos en laboratorio y se definieron con precisión las frecuencias de corte, el intervalo de muestreo de digitalización, el tiempo total de registro, la cantidad requerida de bloques para el cálculo del espectro de densidad de potencia y el número de datos por bloque, mediante pruebas sistemáticas (Lopardo, R.A. y Henning, R.E., 1985).

Hemos investigado, posteriormente, la influencia de la condición de ingreso al resalto sobre el campo de presiones instantáneas en su base. Para ello se reiteraron varias experiencias para distintos números de Froude con tres geometrías diferentes: resalto aguas abajo de una compuerta de fondo, aguas abajo de un perfil de vertedero con curva de empalme y aguas abajo de un perfil de vertedero con encuentro abrupto. Observamos que, además del grado

de desarrollo de la capa límite en la sección de ingreso, las diferentes "historias" previas del escurrimiento que modifican el campo de aceleraciones en la sección inicial dan origen a comportamientos disímiles del campo de presiones fluctuantes a lo largo de toda la longitud del resalto.

Demostramos, posteriormente, que la asimetría de la función densidad de probabilidad de amplitudes de fluctuación de presiones es un parámetro determinable experimentalmente que acusa con fidelidad si un flujo macro turbulento se "pega" al borde sólido o presenta el fenómeno de separación de la capa límite (Lopardo, R.A. y Casado, J.M., 2009). En este último caso, la asimetría resultante cambia de signo positivo a negativo y se produce una brusca caída de la frecuencia dominante. Este resultado permitió, entonces, detectar -mediante la medición y análisis estadístico de presiones instantáneas- las zonas en las que se inicia el proceso de separación de la capa límite un flujo macro turbulento donde por la muy fuerte difusión de los torbellinos el uso de trazadores resulta imposible.

Para cuencos amortiguadores a resalto libre se efectuó un detallado análisis de la correlación espacio-temporal de las fluctuaciones de presión, mediante el registro de señales en varias tomas simultáneas, en función de la posición de la toma de base y del número de Froude incidente. Se demostró así que la correlación entre dos puntos del lecho aumenta a medida que el registro se desplaza hacia aguas abajo, donde las amplitudes de fluctuación de presiones disminuyen. Se han establecido leyes experimentales que permiten obtener la longitud de platea que presenta correlación positiva, estimando el esfuerzo de arrancamiento en función de la posición del área definida y las condiciones

del flujo incidente. De ese modo, se ha desarrollado en gran medida la metodología de medición y análisis estadístico de esfuerzos y momentos sobre losas de diferentes tamaños en la base de disipadores a resalto libre y forzado conformando un completo sistema de predicción de tal tipo de sollicitaciones en cuencos amortiguadores convencionales. Ello resultó fundamental para analizar el posible efecto de arrancamiento de losas componentes del piso de una estructura sometida a flujos macro-turbulentos.

Mediante la instrumentación y posterior registro de variables aleatorias en obras argentinas (en particular Salto Grande, Alicurá, Casa de Piedra y Yacyretá) resultó posible constatar la magnitud "en obra", más allá del laboratorio, de las fluctuaciones de presión inducidas por flujos macro turbulentos. La adquisición de datos en el cuenco amortiguador de la presa de Salto Grande bajo condiciones de crecidas importantes nos permitió verificar la magnitud real de las presiones instantáneas producidas por el flujo macro turbulento del resalto hidráulico sobre los bloques de disipación forzada. En particular, se logró por primera vez la efectiva demostración de la existencia de cavitación en estructuras inmersas en resaltos hidráulicos debido a depresiones instantáneas provocadas por pulsos de baja frecuencia, para valores medios temporales de presión bien superiores a la tensión de vapor del líquido, y aun ampliamente mayores que la presión atmosférica, lo que no tenía antecedentes en la bibliografía hasta esa fecha (Lopardo, R.A., De Lío, J.D. y Vernet, G.F., 1982). Algunos resultados de estas experiencias han sido citados en varios libros de texto de uso en universidades europeas (Vischer, D. y Hager, W.H., 1995; Khatsuria, R.M., 2004; Novak, P. *et al*, 2010).

Es interesante acotar que con los resultados de espectros de potencia de las señales registradas se pudo comprobar la tan objetada ley de Kolmogorov, al menos en medio líquido y grandes escalas turbulentas. Sobre la base de estas investigaciones resultó posible demostrar también que los modelos físicos froudiarios en escalas de longitud generosas resultan una herramienta excelente para la verificación de disipadores a resalto hidráulico. Es de destacar que la bibliografía existente antes de la década del ochenta no indicaba las posibilidades y limitaciones de los modelos físicos para simular con precisión las variables aleatorias inducidas por flujos macro-turbulentos.

Mediante los trabajos desarrollados en esta investigación se ha demostrado que los datos de modelo y prototipo correspondientes a amplitudes medias cuadráticas de fluctuación de presiones, frecuencia dominante, frecuencia de cruce por cero, frecuencia media y desvío estándar de frecuencias tienen excelente concordancia, al menos cuando el tirante mínimo de ingreso al resalto en el modelo sea mayor de 3 centímetros, el número de Reynolds del flujo de ingreso al resalto supere 100.000 y las frecuencias límites estén por debajo de los 25 Hertz. Estas experiencias, a nuestro conocimiento, han sido las primeras en cuanto a la verificación prototipo-modelo de presiones fluctuantes inducidas por flujos macro-turbulentos dentro de la bibliografía internacional conocida. Ellas se han completado con verificaciones de daños debidos a cavitación por pulsos de presión en prototipo en relación con depresiones instantáneas medidas en modelos físicos que cumplen las condiciones antedichas demostrando también que el modelo permite evaluar la probabilidad de tal riesgo con notable coherencia. Un importante aporte de resultados de valores

extremos de fluctuaciones de presión en resaltos libres y sumergidos puede atribuirse a la dedicada tarea experimental desarrollada durante cuatro años en el Laboratorio de Hidráulica del INA por el Ing. Juan Carlos Sauma Haddad.

La cavitación hidrodinámica es la formación de cavidades macroscópicas en el seno de un líquido a partir de núcleos gaseosos microscópicos, por efectos de una reducción de la presión en un punto del escurrimiento, capaz de alcanzar un valor crítico, próximo a la tensión de vapor, para el que los núcleos se vuelvan inestables y crezcan espontáneamente, hasta que, al llegar a presiones mayores, donde producen la implosión de los mismos. Si ello se produce en las proximidades de un borde sólido, el impacto es puntual y provoca erosión, ruidos y vibraciones. Es el delincuente de moda de la hidráulica moderna y afecta flujos de muy alta velocidad o, como en este caso, muy elevadas fluctuaciones de presión.

Pero en un modelo físico convencional no se alcanza a provocar la cavitación. Sin embargo, los resultados de comparación de resultados reales de prototipo y de laboratorio me permitieron proponer como valor más representativo del modelo físico para un análisis de tendencia a cavitación por pulsos de presión la depresión mínima de $p'0.1\%$, que surge de la curva probabilidad de ocurrencia de las amplitudes de fluctuación de presión. Ese "número mágico" nació de tener que definir los valores extremos de presión de un registro de algunos minutos, en los que se puede considerar el fenómeno como estacionario y ergódico. Así se llegó a interpretar que si en el modelo físico el valor de $p'0.1\%$ alcanza en escala la tensión de vapor del líquido existe una "tendencia a cavitación en el prototipo". Además,

con mayores probabilidades de ocurrencia de superar ese valor negativo en modelo se han detectado señales de erosión por cavitación intermitente en estructuras de hormigón armado en obras reales. Lo expuesto ha sido constatado en los casos de los bloques de disipación forzada de los cuencos amortiguadores de Salto Grande y Arroyito y, muy recientemente, verificado con los resultados del modelo de los bloques de disipación forzada del vertedero centenario de Gatún, que es la obra de descarga sobre el río Chagres correspondiente al Canal de Panamá. El registro en modelo de valores puntuales que llegan a $p'0.1\%$ coincidieron con los puntos donde los bloques del prototipo presentaban pequeñas muestras de "picaduras" luego de más de un siglo de operación, incluso con caudales superiores a los de diseño (Lopardo, R.A. *et al.*, 2014). En este último caso cabe mencionar la labor de los ingenieros Daniel Bacchiega y María Cecilia Lopardo, como así también de un grupo de jóvenes profesionales excelentes.

La metodología de análisis desarrollada con el aporte conceptual del Ing. Julio De Lío ha permitido, a lo largo de varios años, efectuar la verificación y optimización de estructuras de disipación de energía y de esos estudios han surgido novedosas soluciones propuestas para disminuir los riesgos de cavitación por pulsos de presión aguas abajo de pilares separadores de vertederos de elevado gasto específico y baja caída, que pueden considerarse pioneras en su tipo a nivel internacional.

Finalmente, mediante anemometría doppler acústica, se estudiaron también fenómenos referidos a velocidades instantáneas, generadas por la macro turbulencia remanente aguas abajo de disipadores a resalto

y su influencia sobre aspectos erosivos en cauces fluviales. En este campo de investigación señalo las tesis de doctorado del Ing. MSc. Martín Romagnoli en la Universidad Nacional de Rosario, aprobada en 2010; y del Ing. Mariano De Dios, que está en etapa final en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, con resultados previos más que alentadores.

Por similitud con las presiones, la semiamplitud positiva máxima de la fluctuación de la velocidad se puede definir como $v'_{99\%}$ con un 0.1% de probabilidad de ser superado por otro valor registrado. La propuesta de cálculo de valores extremos de fluctuación de velocidades, a partir la valores extremos de presiones fluctuantes, se basó sólo en resultados experimentales de valores medidos con anemómetros acústicos para muy bajos números de Froude incidentes o para el caso de resaltos sumergidos que, en ambos casos, no presentan perturbaciones de las mediciones de velocidad por efecto de burbujas inevitables en el interior del resalto libre. Para resolver este último caso, se propuso una metodología alternativa original que permite estimar los valores instantáneos de velocidades puntuales próximas al piso del resalto de la medición indirecta a partir de presiones instantáneas, con su debida probabilidad de ocurrencia (Lopardo, R.A., 2013).

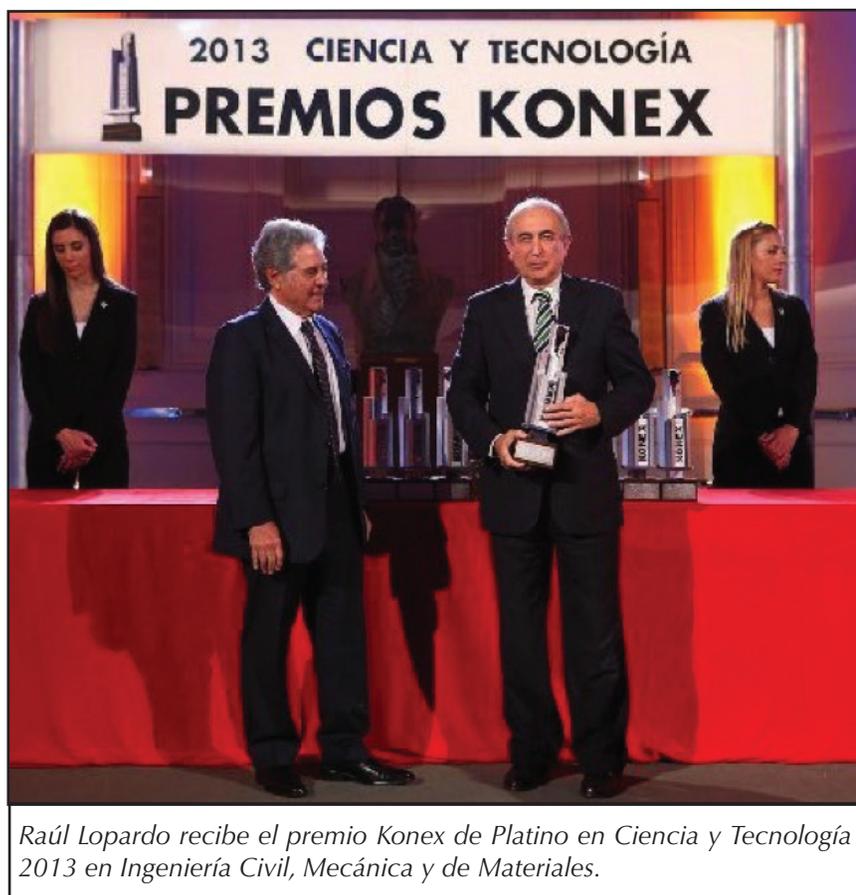
En otro orden de cosas, también ha sido posible proponer algunos aportes en cuanto a la definición de la longitud de platea de un cuenco amortiguador y el cálculo del tamaño de enrocado de protección aguas abajo de disipadores a resalto, pues al posibilitarse la estimación de valores extremos de velocidad en la proximidad del fondo y -por ende- de la capacidad erosiva del flujo se han podido definir las dimensiones representativas del eventual enro-

cado para la protección del lecho fluvial.

4.3 DISTINCIONES Y RECONOCIMIENTOS

El reconocimiento del medio profesional argentino respecto de la prolongada línea de investigación, previamente detallada, podría ser evaluado desde un punto de vista práctico teniendo en cuenta que a partir de sus resultados fue habitual para las firmas proyectistas nacionales -y de otros países de América- solicitar la realización en Argentina de los estudios en modelo físico de numerosas obras hidráulicas en proyecto. Además, las entidades de promoción científica han otorgado, en su momento, fondos para ampliar estas investigaciones y becas para la formación de jóvenes brillantes.

Con el tema "solicitaciones fluctuantes inducidas por resalto hidráulico" obtuve en 1987 el premio "Bernardo Houssay" otorgado por el CONICET, en su máxima categoría. Los resultados de mi actuación profesional y científica me hicieron acreedor durante el año 1988 al premio "Ingeniero Enrique Butty" de la Academia Nacional de Ingeniería y en 1991 al premio "Ing. José Gandolfo" de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. En 1994 fui premiado con la "Gota de Oro" del COFAPyS. En 2010 recibí el premio "Ciudad de La Plata" en mérito a la trayectoria y labor como ingeniero, otorgado por la Municipalidad de La Plata y en 2012 el Premio a la Trayectoria, otorgado por la Honorable Cámara de Senadores de la Provincia de Buenos Aires en reconocimiento a la labor profesional en Ingeniería. Finalmente, recibí el Premio Konex de Platino 2013 en Ciencia y Tecnología, como el ingeniero más destacado de la década 2003-2013 en el campo de Ingeniería Civil, Mecánica y de



Raúl Lopardo recibe el premio Konex de Platino en Ciencia y Tecnología 2013 en Ingeniería Civil, Mecánica y de Materiales.

Materiales.

En cuanto a actividades académicas, he sido honrado como Miembro Titular de la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires desde 1991; Miembro de Número de la Academia Nacional de Ingeniería desde 1994; y Miembro de Número de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales desde 1996, en la que fui vicepresidente desde 2004 a 2008.

En 1985 fui contratado por el PNUD por un mes para dictar quince conferencias y dirigir reuniones de trabajo en la *Hydraulic Research Station* de Poona (India), uno de los laboratorios más prestigiosos del mundo; en 1986 integré el "*Task Committee*" de la Asociación Americana de Ingenieros Civiles (ASCE, Reston, U.S.A.) en el tema "*Model-Prototype Correlation of Hydraulic Structures*"; en 1993 fui designado

miembro del Comité Científico de "*Hydroscience and Engineering*", con sede en Washington D.C.; en 1993 fui designado Miembro Correspondiente del Centro Internacional de Investigación y Formación en Gestión de Grandes Proyectos de Canadá en Montréal y he integrado jurados de tesis de doctorado en Canadá, Colombia, Uruguay, Brasil y Argentina.

Además de lo expuesto, fui designado por UNESCO Relator en Medios Experimentales para la Educación en Recursos Hídricos (1979-1983); Miembro de un grupo de trabajo del PNUD sobre erosión fluvial en Bulgaria (1984); Presidente del Comité de Transferencia de Conocimientos y Tecnología del Programa Hidrológico Internacional (1992); Miembro del Comité Directivo en el tema "Educación Formal en Todos los Niveles", de UNESCO (1996-2000); Miembro del Comité Directi-

vo de la *International Association for Hydraulic Research* (IAHR) desde 1996 a 1999; y Presidente de la División Latinoamericana de esa Asociación en el período 2000-2002.

Por otra parte, recibí en 1999 el reconocimiento del Ministerio de Relaciones Exteriores de la República Argentina, por "la honorable y destacada contribución a la solución que posibilitó la firma del acuerdo entre la República Argentina y la República de Chile para precisar el límite desde el monte Fitz Roy hasta el Cerro Daudet". Ello fue posible gracias a la generosidad del Ingeniero Bruno Ferrari Bono, que me convocó para dar opinión en el equipo y exponer en las cámaras de diputados y de senadores de la Nación los aspectos técnicos de la propuesta finalmente acordada con la firma de los presidentes Carlos Menem y Eduardo Frei, con respecto al límite sobre los hielos continentales.

■ 5. CONCLUSIÓN

Si los premios y distinciones recibidos implicaran efectivamente que mi actividad fue en verdad exitosa, pienso íntimamente que tal vez mi mayor logro no estaría explícitamente vinculado a los resultados obtenidos en los trabajos desarrollados. En efecto, mi mayor objetivo ha sido siempre la formación de alumnos y graduados, y la conformación de un equipo de investigación integrado por profesionales y técnicos de distinta extracción y nivel de conocimientos, la mayoría de los cuales fuera o dentro del Instituto crearan con el tiempo nuevos grupos, con un apreciable efecto de transferencia de conocimientos.

La tarea de dirección de becarios y pasantes de iniciación a la investigación, y de entrenamiento profesional me brindó muchas satisfacciones logrando una excelente

relación de los hidráulicos con la participación de físicos, ingenieros civiles, ingenieros electrónicos y expertos en sistemas de tratamiento de datos dentro de los proyectos e investigaciones desarrolladas.

Debo agradecer a mis maestros, autoridades, compañeros y discípulos, que me han permitido, a través de las obras y tareas de investigación o docencia, no sólo conocer todas las provincias de mi país y más de cincuenta países de los cinco continentes, sino acceder a la cultura de los pueblos y comprender el sacrificio de mis semejantes, de sus necesidades, riquezas y miserias. Creo que si bien he tenido, por una parte, siempre presente la física de los fenómenos en estudio, por la otra, me he involucrado en la historia, la geografía y la idiosincrasia de los habitantes. Al haberme dedicado especialmente a la docencia y la investigación tecnológica (tal vez las actividades menos rentables en el país) no sólo me siento un profesional agradecido por todos los honores recibidos, sino también por haber tenido la inmensa fortuna de formar discípulos, armar equipos, generar proyectos duraderos y participar en varias acciones fundacionales.

La vida me ha dado mucho más de lo que pudiera haber merecido. Me permitió ir a estudiar a Francia y hacer un doctorado en los tiempos heroicos de "mayo del 68", me permitió dictar clase o conferencias en quince países y varias provincias argentinas, me permitió a fines de los sesenta integrar el grupo fundacional del Laboratorio de Hidráulica del INA, me permitió a principio de los setenta formar parte del equipo fundacional de las empresas EIH (Estudio de Ingeniería Hidráulica) y TECMES (Técnica de Mediciones Especiales), me permitió de 1995 a 1999 integrar el grupo fundacional de la epopeya urbanística "La Plata,

patrimonio de la Humanidad" y la fundación de la Red Iberoamericana de Institutos Nacionales de Hidráulica, que presidí en la década del 2000.

Además, me permitió participar en la verificación del diseño de las obras hidroeléctricas más importantes del país durante medio siglo, alcanzar los más impensables premios como investigador y como profesional y, por si fuera poco, seguir viviendo en "mi ciudad" de La Plata disfrutando de una gran familia, en particular de mis dos queridos hijos y mis cuatro hermosos nietos. Pero finalmente quiero agradecer el apoyo constante, la comprensión y la inmensa paciencia de mi mujer, que siempre supo que compartía mi pasión con la ingeniería hidráulica y nunca intentó competir con ella.

■ BIBLIOGRAFÍA

Alvarado Montero, L. (1985), "Uso de enrocados en obras hidráulicas", en *Anales de la Universidad de Chile, Estudios en honor de Francisco Javier Domínguez Solar*, 5ª Serie, N° 8, pp. 319-348.

Caruso, H.A. y Lopardo, R.A. (1969), "Limites de l'influence superficielle de la barrière pneumatique", *Comptes Rendus de l'Académie de Sciences de Paris, Série A, Tome 268*, pp. 79-81.

Chividini, M.F. et al. (1983), "Evaluación de la socavación máxima aguas abajo de aliviaderos en salto de esquí", *XI Congreso Nacional del Agua*, Córdoba, Vol. 6, pp. 187-206.

Hager, W.H. (1992), "Energy Dissipators and Hydraulic Jump", Springer, New York.

Hoffmans, G.J. y Verheij, H.J. (1997), "Scour manual", A.A. Balkema,

Taylor & Francis, Rotterdam, The Netherlands.

Khatsuria, R.M. (2004), "Hydraulics of spillways and energy dissipators", Taylor & Francis.

Lopardo, R.A. et al (2014), "Modelación física de flujo macroturbulento en disipador a resalto forzado", *Anales. XXVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, IAHR*, Santiago, Chile, 2014.

Lopardo, R.A. y Casado, J.M. (2009), "Boundary layer separation beneath submerged jump flows", *Harmonizing the Demands of Art and Nature in Hydraulics*, Proc. XXXII IAHR Congress, Venecia, Italia.

Lopardo, R.A. y Henning, R.E. (1985), "Experimental advances on pressure fluctuations beneath hydraulic jumps", en *Proc. XXIst IAHR Congress*, Melbourne, Australia, Vol. 3, pp. 633-638.

Lopardo, R.A. y Solari, H.G. (1980), "Fluctuaciones de presión en la base de resalto libre", *Anales IX Congreso Latinoamericano de Hidráulica IAHR*, Mérida, Venezuela, Vol. 1, pp. 77-89.

Lopardo, R.A. (1988), "Stilling basin pressure fluctuations". *International Symposium on Model Prototype Correlation of Hydraulic Structures*, ed. P. Burgi, Colorado Springs, U.S.A., pp. 56-73.

Lopardo, R.A. (2010), "Prototype measurements of pressure fluctuations in The Dalles stilling basin", *disc. of Z. Deng et al, Journal of Hydraulic Research*, Vol. 48, N° 6, pp. 822-823.

Lopardo, R.A. (2013), "Extreme Velocity Fluctuations below Free Hydraulic Jumps", *Journal of En-*

- gineering, Volume 2013, Res. Article ID 678064.
- Lopardo, R.A., De Lío, J.C. y Vernet, G.F. (1982), "Physical modelling on cavitation tendency for macroturbulence of hydraulic jump", en *Proc. Hydraulic Modelling of Civil Engineering Structures*, Coventry, Inglaterra, 1982, pág. 109-121.
- Lopardo, R.A., Orellano, J.A. y Vernet, G.F. (1977), "Baffle piers subjected to flow induced vibrations", *Proc. XVII IAHR Congress*, Baden Baden, Vol. 4, pp. 445-452.
- Novak, P. et. al (2010), "Hydraulic Modelling- An Introduction", Spon Press, Taylor and Francis, London.
- Schleiss, A.J. y Bollaert, E. (2002), "Rock scour due to falling high velocity jets", A.A. Balkema Publishers Lisse, Holanda.
- Vischer, D.L y Hager, W.H. (1995), "Energy dissipators", *IAHR Hydraulic Structures Design Manual* N° 9, A. A. Balkema, Rotterdam, Holanda.