

MATEMÁTICA APLICADA, COMPUTACIÓN, INTERDISCIPLINA

Palabras clave: : modelos matemáticos computacionales; interdisciplina; gestión académica.
Key words: computational mathematical models; interdiscipline; academic management.

■ Pablo Miguel Jacovkis

Universidad Nacional de Tres de Febrero y Universidad de Buenos Aires

pablo.jacovkis@gmail.com

■ 1. LOS COMIENZOS

Entré a la carrera de matemáticas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN) de la Universidad de Buenos Aires (UBA) en marzo de 1964. Mejor dicho, a matemáticas y a física, pero pronto me orienté hacia las matemáticas. En seguida comencé a experimentar una contradicción que no se resolvió hasta después de terminar mi carrera: por un lado, siempre me había interesado (en abstracto) “trabajar en matemática aplicada”, entendiendo por eso tratar de usar la matemática para resolver problemas concretos, en particular de Argentina, aunque mis escasos conocimientos de matemática superior me impedían saber qué significaba exactamente estudiar matemática aplicada. Por otro lado, en el Departamento de Matemáticas se aspiraba un aire de devoción hacia la matemática pura, y -aunque no se decía abiertamente, pero se intuía- de desprecio hacia la matemática aplicada. Para peor, la matemática aplicada se hacía solamente en el Instituto de Cálculo, con gente muy valiosa, por cierto, pero allí pa-

recía haber una cultura de no apurarse en recibirse, como si eso no fuera importante, lo cual contribuía a desalentar a muchos estudiantes que podrían haberse inclinado por la matemática aplicada.

Todo esto dejó de tener sentido práctico después de julio de 1966, en que, tras la Noche de los Bastones Largos (la violenta irrupción de la Policía Federal en la FCEN poco después del golpe de estado contra el presidente constitucional Arturo Illia), numerosos profesores renunciaron y la Facultad cambió: a partir de entonces, después de renunciar a mi cargo de ayudante de segunda, mi interés estaba centrado fundamentalmente en recibirme, lo cual sucedió en septiembre de 1967. Después de hacer el año siguiente el servicio militar obligatorio en Azul obtuve una beca del *Consiglio Nazionale delle Ricerche* en Pisa, Italia, en la *Scuola Normale Superiore*, fundada por Napoleón en 1810 a imagen de *l'École Normale Supérieure* de París. Las cartas de recomendación me las hicieron Manuel Sadosky y Gregorio Klimovsky, y

sospecho que la de Sadosky, con referencias a la situación política (las cartas fueron redactadas a mediados de 1968), contribuyó particularmente a que me otorgaran la beca, que era sumamente generosa para los cánones de la época, tanto en Italia como en el resto de los países desarrollados. Pero la beca -de un año de duración- era para estudiar análisis complejo en varias variables, tema hermoso pero de muy lejana aplicación práctica. La sensación de inaplicabilidad que sentía durante mi estadía en Pisa, sumado al hecho de que en Italia en esa época (1969) no se había implementado el doctorado (cualquier graduado era “*dotto-re*”), me decidieron a retornar a Buenos Aires al término de la beca, y a tratar de hacer matemática aplicada donde eso fuera obligatorio: concretamente, ingresé en marzo de 1970 a la consultora Asesores Científico Técnicos S.A. (ACT), que se dedicaba a preparar modelos computacionales (tal vez la primera consultora argentina cuyo objetivo era preparar modelos matemáticos para sus clientes). Esa consultora había sido creada por cuatro integrantes de la

FCEN-UBA que habían renunciado a sus cargos después de la Noche de los Bastones Largos: Manuel Sadosky, Rebeca Cherep de Guber, Juan Ángel Chamero y David Jacovkis (mi padre). ACT había ganado una licitación importante llamada por la Comisión Nacional de la Cuenca del Plata, comisión existente en ese momento, para realizar, en conjunto con empresas francesas, un modelo matemático del tramo Iguazú-Posadas del río Paraná, que después debía continuar aguas abajo (la continuación nunca tuvo lugar, según la tradicional inconstancia del Estado argentino); el director del proyecto era el ingeniero Ludovico Ivanishevich Machado, que había sido el secretario general de la UBA durante la última gestión antes de la irrupción militar de 1966, y el director del modelo matemático era el ingeniero Mario Horacio Gradowczyk, que había sido integrante del Instituto de Cálculo antes de las renuncias. Ambos brillantes profesionales habían sido contratados por ACT para este estudio. Yo pasé a ser entonces un programador y analista de la parte hidrodinámica de dicho modelo y, aparte de la programación, colaboré en la implementación, ajuste, validación y experimentación numérica del modelo, o sea en todo el ciclo de preparación, puesta a punto y uso de un modelo matemático. Aprendí así montones de cosas sobre resolución numérica de ecuaciones diferenciales hiperbólicas en derivadas parciales. Concretamente, el modelo sobre el cual trabajé resolvía las ecuaciones diferenciales de aguas poco profundas unidimensionales de ríos o cauces fluviales sobre fondo fijo y superficie libre (un par de ecuaciones hiperbólicas llamadas usualmente ecuaciones de Saint-Venant), con lo cual obtenía a lo largo del tiempo los valores de alturas y caudales en diversos puntos de discretización del río dado el estado inicial del sistema (condi-

ciones iniciales) y condiciones de contorno en los extremos del tramo fluvial modelizado (por ejemplo, altura aguas arriba y caudales aguas abajo). El método de resolución era el método conocido con el nombre de método de Preissmann (de caja de cuatro puntos), debido a que fue planteado por el talentoso matemático aplicado e ingeniero hidráulico suizo de dicho nombre, integrante de SOGREAH, una de las empresas francesas con las cuales ACT se había asociado. Era un método de diferencias finitas implícito estable para un factor de peso en el tiempo entre $\frac{1}{2}$ y 1; es decir, estable para la formulación del problema lineal simplificado: como en muchos casos, la demostración de estabilidad para el caso general no lineal (el problema es casilineal y se puede presentar en forma de sistema de leyes de conservación de ambas ecuaciones diferenciales, una de conservación de la masa y la otra de conservación de la cantidad de movimiento) no se ha encontrado. Pero en ese sentido la experiencia indica (y vale en este caso) que muchas veces “la estabilidad en el caso lineal se extiende – sin demostración- al caso no lineal”.

A fin del año 1970, terminado el trabajo, Gradowczyk e Ivanishevich formaron una nueva consultora, Estudio Gradowczyk-Ivanishevich S.A.T., y los dueños anteriores de ACT habían vendido sus acciones a algunos de sus empleados; yo entretanto había ganado a mediados de 1970 un cargo de ayudante de primera con dedicación parcial en el Departamento de Matemáticas de la FCEN-UBA y a fin de año trabajé por un corto período para la nueva consultora (por un convenio que ésta había hecho con ACT) en la programación, implementación, ajuste, validación y experimentación numérica de un modelo hidrodinámico con embalse de las planicies de inundación del río Paraná Inferior, para es-

tudiar las perturbaciones debidas al endicamiento de la isla Lechiguana Sur, sobre el delta del río Paraná. En esa época gané otro concurso de ayudante de primera, esta vez con dedicación exclusiva, y me alejé transitoriamente de la consultoría en marzo de 1971.

■ 2. MI PRIMERA DEDICACIÓN EXCLUSIVA

Mi interés al presentarme a un concurso con dedicación exclusiva era hacer una tesis de doctorado: en esa época era inusual para alguien del área de matemáticas pensar en tesis de doctorado a través de beca del CONICET (todavía el CONICET –sigla del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas que en realidad se comenzó a usar un poco más tarde- tenía la fuerte impronta original hacia las ciencias biomédicas que le había dado el Dr. Houssay). Me había inscripto en el doctorado a principios de 1970, e incluso cursé (y aprobé) materias de doctorado durante ese año en que trabajé en consultoría, lo cual me insumió bastante esfuerzo, dado que tenía menos tiempo que el normal para estudiar. Con la dedicación exclusiva me fue más fácil y aprobé casi todos los puntos necesarios para el doctorado. Mi problema era otro: era difícil encontrar tema de matemática aplicada en la FCEN y también encontrar director de tesis; en ese sentido, me sentía bastante sapo de otro pozo en un departamento en el cual a nadie se le ocurría trabajar en temas aplicados (nótese que, desaparecido el Instituto de Cálculo como ambiente de investigación –lo era como columna vertebral de la carrera de computador científico, pero ya no se hacía en él investigación- y desaparecida la computadora –la famosa Mercury Ferranti “Clementina” del Instituto de Cálculo- a mediados de 1970, era muy difícil plantearse una tesis

de investigación con resultados numéricos concretos); a esto se sumaba que el ambiente político en la FCEN era muy desagradable, con un decano llamado Raúl Zardini, muy reaccionario y antisemita. De hecho, poco antes de mi renuncia a la FCEN, había habido un concurso de jefes de trabajos prácticos con resultados que no se correspondían con los antecedentes de los candidatos y un conjunto de docentes auxiliares firmamos una nota de protesta, que yo, junto con otro docente, llevamos a decanato. Zardini, profundamente indignado ante tal insubordinación a las (¿legítimas?) autoridades, reaccionó haciendo publicar una solicitada en *La Nación* con los nombres de todos los firmantes, acusándonos prácticamente de subversivos. El asunto causó bastante agitación en la FCEN, lo cual no es de extrañar dado el ambiente caldeado de 1972, en el que se producían acciones armadas de los Montoneros y el Ejército Revolucionario del Pueblo (ERP) y el gobierno respondía con una violencia inusitada (incluso para los cánones argentinos), violencia que incluyó la matanza de los presos de Trelew que no pudieron escapar en una famosa fuga en agosto de dicho año. Por consiguiente, cuando ese año Gradowczyk e Ivanissevich me propusieron ingresar a su estudio, que estaba haciendo un modelo matemático hidrodinámico relacionado con el complejo vial ferroviario Zárate-Brazo Largo, acepté sin dudar: fue una decisión muy poco común entre los docentes auxiliares con dedicación exclusiva del Departamento de Matemática, y usualmente significaba que uno abandonaba la ciencia definitivamente. Simultáneamente se abrió un concurso de jefe de trabajos prácticos con dedicación parcial en el Departamento de Matemática de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata, para el área de Análisis Numérico, concurso que

gané: el profesor de Análisis Numérico era el Dr. Hugo Folguera, con quien establecí una gran amistad hasta su temprana muerte en 1979 y así mantuve mi relación con el ambiente universitario. Esa relación es siempre importante y útil, aunque uno trabaje profesionalmente en forma privada: de hecho, los años en que no tuve relación con la universidad (o sea desde 1975 hasta 1984), si bien me mantuve actualizado en análisis numérico y en problemas de hidrodinámica y recursos hídricos (e incluso comencé a hacer trabajos originales), me faltó ese diálogo en los pasillos, ese aviso de conferencias y charlas, que hacen que uno, si es (o trata de ser) "científicamente culto" llegue a tener una visión de por dónde hay avances importantes en áreas que pueden llegar a tener relación con lo que uno está haciendo; así tardé más de lo debido en enterarme de la teoría del caos, que provocó cambios importantes de paradigmas de investigación. Por suerte desde 1984 mi relación con la universidad es constante.

Estuve de jefe de trabajos prácticos de análisis numérico entre 1972 y 1975, en que el clima en La Plata se hacía cada vez más opresivo: en particular, la Presidenta María Estela Martínez de Perón, poco después de asumir la presidencia en julio de 1974 a la muerte de su marido, el general Perón, reemplazó al Ministro de Educación Taiana por Oscar Ivanissevich y éste reemplazó a los rectores de las universidades nacionales por funcionarios de extrema derecha, en lo que se llamó la "misión Ivanissevich"; numerosos docentes fueron expulsados y las bandas parapoliciales cometieron muchísimos crímenes. Finalmente, renuncié a mi cargo docente en La Plata en 1975 y, salvo un corto período en Venezuela, durante toda la dictadura trabajé exclusivamente en consultoría. Hubo trabajos interesantes, aunque

muchos de ellos, luego, no se concretaron en las obras correspondientes. Sólo en 1984, con el retorno de la democracia, volví a la Universidad como Director del Departamento de Matemáticas de la Facultad de Ingeniería de la UBA.

■ 3. CONSULTORÍA Y OTRAS ACTIVIDADES

En la consultora de Gradowczyk e Ivanissevich volví a trabajar en modelos fluviales, esta vez participando en la programación, implementación, ajuste, validación y experimentación numérica de un modelo matemático unidimensional usado para calcular la erosión alrededor de varios pilares y puentes del Complejo Vial Ferroviario Zárate-Brazo Largo, que atraviesa los ríos Paraná de las Palmas y Paraná Guazú, para la Dirección Nacional de Vialidad. El trabajo completo era un estudio de suelos, socavaciones y fundaciones debidas a las obras, y pude así tener una idea global de cómo se inserta un trabajo puntual en un estudio más abarcativo.

Lo que había que modelizar era parte del delta del Paraná (pues los resultados del modelo, es decir, el cálculo de alturas y caudales bajo diversas condiciones iniciales y de contorno, serviría de insumo para los cálculos de suelos y socavaciones). Y la idea de Gradowczyk era, usando ecuaciones de compatibilidad en puntos de confluencia (bien descritas en el libro de Stoker *Water waves*), hacer un modelo que modelizara no un tramo fluvial sino una red fluvial deltaica, que tendría por consiguiente eventualmente más de una condición de contorno. Pude preparar un modelo adecuado, aunque con un uso de memoria de cálculo que yo sospechaba que se podía reducir y mucho (el modelo unidimensional del tramo Iguazú-Posadas del río Paraná resolvía cada

sistema linealizado mediante un método de doble barrido aplicado a una matriz banda pentadiagonal). En esa época, la memoria de cálculo, incluso para modelos unidimensionales, en los cuales no existe la "maldición de la dimensionalidad", podía hacerse excesivamente grande para las computadoras normales existentes, los "main-frames".

Simultáneamente con estas actividades, desde principios de 1970 (poco después de mi retorno de Italia) hasta su muerte en diciembre de 1976, colaboré en forma intermitente con Oscar Varsavsky. Varsavsky había sido profesor del Departamento de Matemáticas de la FCEN-UBA hasta pocos meses antes del golpe de 1966, en que renunció para ocupar un cargo en el Centro de Estudios del Desarrollo (CENDES) de Caracas, Venezuela. En la facultad había dirigido un grupo de economía matemática en el Instituto de Cálculo, y desde unos años antes del golpe de 1966 estaba interesado en modelos matemáticos aptos para ayudar al desarrollo económico y social de un país. Si bien algunas de sus ideas me parecían en esa época un tanto exageradas (y su folleto *Ciencia, política y cientificismo* directamente una patente de corso para que quienes no investigaban pudieran decir que estaban trabajando para el socialismo nacional creativo) su formidable inteligencia y su sentido de la modelización (aparte de la amistad que lo unía a mis padres, que significaba que lo considerara un poco un tío mío, querido y admirado pero bastante cascarrabias) me atrajeron siempre. Varsavsky me propuso hacer un modelo matemático de indicadores políticos e incluso viajé en enero de 1975 a Lima, Perú, con fondos de la Organización Internacional del Trabajo gestionados por él, para aplicar las ideas que estábamos plasmando en el análisis de cooperativas azucareras, tema (las coope-

rativas) en boga durante el gobierno militar del general Velasco Alvarado. Varsavsky, además, cuando yo quise irme de Argentina en 1976, me recomendó para un cargo de profesor asistente con dedicación exclusiva del Departamento de Computación de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela, para que diera el curso de Modelos Matemáticos y siguiera investigando en modelización. El modelo de indicadores políticos de Lima no llegó a nada; en mi opinión, no tiene mucho sentido plantearse un modelo de estas características y a la muerte de Varsavsky abandoné todo intento de seguir adelante con este tipo de modelos. Si bien los modelos de prospectiva y escenarios futuros nacionales, regionales y mundiales son importantes, como el modelo Bariloche, el modelo de Meadows y colaboradores, y unos cuantos más (con todas las críticas que, por diversos motivos, se les pueda hacer) son temas que actualmente me interesan mucho, meterse con modelos matemáticos políticos es meterse en camisa de once varas. Al fin y al cabo, los libros de Andrei Amalrik (*Will the Soviet Union survive until 1984?*), Emmanuel Todd (*La chute finale*), y Hélène Carrère d'Encausse (*L'empire éclaté*) predijeron espectacularmente la desaparición de la Unión Soviética sin usar modelos matemáticos y los estudios con modelos matemáticos no (digo esto con cierta tristeza, porque mi especialidad son los modelos matemáticos y me habría encantado que hubieran servido).

Dicho sea de paso, mi colaboración con Varsavsky tuvo un gran beneficio colateral adicional: su programadora era Rosita Wachenchauzer, a quien gracias a él conocí y con quien estoy felizmente casado desde 1973 (y con tres hijas)...

Retomando el hilo de este rela-

to, en 1973, al asumir el gobierno nuevamente el peronismo, después de casi dieciocho años de prohibición, Ivanissevich abandonó el estudio de consultores y pasó a ocupar un cargo directivo en la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande, encargada de gestionar y controlar la construcción y administración de la represa argentino-uruguaya de Salto Grande, a pocos kilómetros de las ciudades de Concordia y Salto. La consultora pasó entonces a llamarse Estudio Gradowczyk y Asociados S. A. T. (EGASAT) y yo pasé a ser uno de los socios y miembro del Directorio. Salvo el corto período de seis meses en el cual estuve en Venezuela entre octubre de 1976 y marzo de 1977, trabajé en dicha consultora hasta mi designación como decano de la FCEN-UBA en 1998, con dedicación exclusiva hasta 1984 y luego con dedicación semiexclusiva. Durante mi actividad en EGASAT me involucré en un gran número de proyectos interesantes y me especialicé en modelos de ríos con fondo fijo y móvil, con estructura arborescente y deltaica, en operación de embalses, en hidrología (modelos de propagación de onda cinemática), en balance hídrico (transformación de lluvia en caudal), en optimización de recursos hídricos y desarrollé métodos originales; de hecho, mi tesis de doctorado, defendida finalmente en 1988, consistió en la demostración y aplicación de algoritmos eficientes para modelizar estructuras fluviales arborescentes y deltaicas: claramente es una tesis de matemática aplicada, porque con esos métodos desarrollé modelos concretos que fueron implementados...

De hecho, una de las habilidades que aprendí trabajando en consultoría, aparte de formular, desarrollar, implementar, validar y utilizar modelos matemáticos de muy diverso tipo, por supuesto, fue el valor de la interdisciplina y la importancia de

poder comprender las maneras de pensar y vocabularios de los especialistas de otras disciplinas. Matemáticas es una carrera por la cual uno puede transitar hasta recibirse sin cursar ninguna materia de otra disciplina; por eso, al menos en Buenos Aires, les resulta a veces tan difícil a los matemáticos entender que las prioridades de otras disciplinas son distintas. En ese sentido, creo que soy muy "políglota": estoy en condiciones de entender los problemas planteados por personas provenientes de otras ramas del saber y, en lo posible, de resolverlos, como mi vida académica y profesional lo demuestra.

Entre 1974 y 1975, sin abandonar EGASAT, fui Jefe de Programación del Grupo de Modelos Matemáticos de la Comisión Mixta Argentino-Paraguaya del Río Paraná. Esta comisión binacional tenía a su cargo los estudios relacionados con la futura represa de Corpus, sobre el río Paraná Superior. Supervisé la programación, implementación y experimentación numérica de un modelo matemático hidrodinámico unidimensional con estructura arborescente (río y afluentes directos e indirectos) para estudiar el río Paraná Superior.

En cuanto a mi mencionada estadía en Caracas, entre octubre de 1976 y marzo de 1977, fue corta, porque por problemas familiares decidí volver a la Argentina. Pero mi estadía en Venezuela me sirvió para aprender bastante sobre todo tipo de modelos matemáticos, en particular sociales, y sobre simulación estocástica, aparte de frecuentar a unos cuantos argentinos exiliados como Manuel Sadosky y su familia, y otros que se habían radicado en Venezuela mucho tiempo antes, como Carlos Domingo, Concepción Ballester y sobre todo Manuel Bemporad, hombre de extraordinaria generosidad.

■ 4. ACTIVIDAD COMO CONSULTOR

Mi experiencia en consultoría fue muy provechosa para mí no solamente por la cantidad de trabajos llevados a cabo con criterios originales (algunos de ellos, y no sólo los de la tesis que ya mencionaré, originaron publicaciones internacionales) sino porque Mario Gradowczyk, originariamente mi jefe y luego mi socio, fue además mi maestro. Gradowczyk, ingeniero con un doctorado en ciencias técnicas en Austria (en una época en que era muy inusual que los ingenieros argentinos tuvieran doctorados, dado que se orientaban esencialmente hacia la profesión y en las facultades de ingeniería en general en el país no había doctorados), fue uno de los más talentosos ingenieros que produjo la Argentina. Al regresar de Austria después de doctorarse formó el grupo de modelos hidrodinámicos en el Instituto de Cálculo, donde contó con la colaboración inestimable del ingeniero Oscar Maggiolo, que era decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, en Montevideo y después fue rector de dicha universidad. Allí comenzó a hacer modelos matemáticos de ríos con fondo móvil; al producirse la Noche de los Bastones Largos renunció a su cargo en la FCEN, estuvo un tiempo en el *Massachusetts Institute of Technology*, luego regresó a la Comisión Nacional de Energía Atómica, de donde se fue para participar en el modelo matemático de la cuenca del Plata, y luego formar su consultora con Iwanishevich. Aparte de trabajar en consultoría durante muchos años Gradowczyk se dedicó también al arte y se convirtió en uno de los mayores expertos mundiales en Joaquín Torres García, el gran pintor uruguayo. Creo que vale la pena comentar un poco algunos trabajos que llevamos a cabo en la consultora.

Entre 1974 y 1975 preparé un modelo hidrológico predictor de crecidas del río Uruguay, usado durante la construcción de la presa de Salto Grande, para la Empresa Constructora Salto Grande S.A. Desde el punto de vista conceptual, el modelo era más simple que un modelo hidrodinámico, en el cual es necesario tomar en cuenta un par de ecuaciones de conservación (masa y cantidad de movimiento): suponiendo una relación unívoca entre la altura y el caudal, todo se reduce a una sola ecuación, la ecuación de la onda cinemática, de propagación de caudales en una cuenca arborescente. La ecuación cinemática fue analizada en un famoso trabajo de Lighthill y Whitham y para resolverla los ingenieros norteamericanos hace muchos años usaban empíricamente un método numérico eficiente, el método de Muskingum, que Jean Cunge, en 1969, analizó matemáticamente en un trabajo fundacional. A ese modelo de una sola ecuación es necesario suministrarle las condiciones de contorno aguas arriba de cada afluente "extremo" (las hojas, en terminología de árboles como estructura de datos), para lo cual es necesario, usando los datos de lluvias en las cuencas altas, transformar lluvias en caudales mediante un balance hídrico, en general muy empírico (es notable la cantidad de problemas de física clásica que todavía no se conocen suficientemente bien desde el punto de vista conceptual). Como los pluviómetros existentes no necesariamente representan cada uno lo que llueve en una subcuenca, es necesario usar el método que los ingenieros hidrólogos llaman de polígonos de Thiessen, y que es el método, de geometría computacional, de diagramas de Voronoi. Pero, a mi juicio, lo interesante de este modelo es la fase predictiva: los pronósticos meteorológicos de lluvia en la alta cuenca se toman como condición de contorno a, digamos, tres días y

el estado del sistema en el momento actual de corrida del modelo constituye las condiciones iniciales; pero esas condiciones iniciales incluyen datos obtenidos en tiempo real y datos "predichos" por el modelo predictor en la corrida anterior (o en la corrida anterior que consideramos más satisfactoria, dado que se pueden hacer varios ensayos). El modelo debe además remplazar, en forma consistente, los datos predichos por datos reales cuando es posible. El modelo fue usado por el cliente durante toda la construcción de la obra y fue necesario resolver detalles técnicos no triviales: de hecho, se contaba con una computadora GE 105 de ¡16 Kb! de memoria, y con ella fue necesario hacer todo el trabajo.

Entre 1977 y 1978 preparé un modelo de frente de onda cinemática para el estudio de la curva de avance de riego e infiltración en surcos en un ingenio azucarero en Jujuy, que desarrollé usando el método de las características. El modelo debía calcular hasta dónde (y con qué caudal en cada punto) avanzaba el agua en cada surco de riego, teniendo en cuenta la pérdida, en cada punto, por infiltración.

Entre 1981 y 1982 preparé un modelo hidrodinámico con estructura deltaica compleja, un modelo hidrodinámico con estructura arborescente, y un modelo hidrodinámico con fondo móvil del río Limay, para estudiar los comportamientos hidráulicos durante la construcción de las presas de Pichi Picún Leufú y Michihua, sobre el río Limay, para Hidronor S.A. Los modelos con estructura deltaica y arborescente tenían embrionariamente ideas de mi futura tesis; el modelo de fondo móvil incorporaba, a las dos ecuaciones hidrodinámicas de conservación de masa y de cantidad de movimiento, una tercera ecuación de conservación de masa sólida cuando el fondo

cambiaba por arrastre de partículas de fondo. El modelo se pensó para régimen subcrítico, y usa dos condiciones de contorno aguas arriba y una aguas abajo. La presa de Pichi Picún Leufú fue ya construida, la de Michihua lamentablemente todavía no.

Entre 1980 y 1986 preparé un modelo hidrológico-hidrodinámico de predicción de crecidas del río Uruguay, usado para la operación de la presa, para la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande. La idea subyacente es la misma que la del modelo predictor mencionado antes, pero la diferencia está en la complejidad: en este caso, la alta cuenca, por medio del balance hídrico, suministra condiciones de contorno (caudales obtenidos a partir de lluvias pronosticadas) a un modelo de propagación de caudales mediante onda cinemática; en los extremos aguas debajo de cada submodelo hidrológico, el caudal predicho servirá de condición de contorno aguas arriba en algún punto extremo del modelo hidrodinámico.

Entre 1981 y 1983 preparé un modelo hidrodinámico unidimensional y un modelo hidrodinámico con fondo móvil y simulación de transporte, decantación y resuspensión de partículas, para analizar varias alternativas de diseño del puerto fluvial de Escobar, para la Administración General de Puertos. El modelo hidrodinámico ya fue descripto; pero el modelo de fondo móvil, a diferencia del antes mencionado, incluye también la posibilidad de que las partículas de fondo no solamente sean arrastradas por la corriente sino que también puedan resuspenderse o decantar. En este sentido es necesaria una cuarta ecuación, que será esta vez parabólica, de difusión de las partículas en el medio líquido, con una fuente o sumidero, que son las partículas que se resuspenden o

decantan, respectivamente. Para que la simulación fuera realista, pero no tan compleja como para usar un modelo hidrodinámico bidimensional, Gradowczyk ideó un método interesante, que consistía en usar "filetes de corriente", cada uno con su respectiva altura de fondo, pero sin dirección transversal de caudal. Esa simplificación permitió obviar la construcción de un modelo bidimensional.

Entre 1986 y 1987 (primera etapa) y 1989 y 1990 (segunda etapa) dirigí la preparación de modelos de optimización lineal, entera y separable y de simulación de un sistema de emprendimientos hídricos con propósito múltiple (embalses, obras de riego, centrales hidroeléctricas, canales) en la cuenca del río Negro, para el Consorcio Latinoconsult S.A.-Inconas S.R.L. y a su vez para Agua y Energía Eléctrica S.E. La responsabilidad a nuestro cargo fue de diseñar, implementar y utilizar un modelo matemático que encontrara los diseños óptimos de las represas posibles a ser construidas en la cuenca del río Negro (ríos Limay, Neuquén y Negro). Los lugares de las represas estaban definidos, pero no necesariamente la construcción de la represa. Un problema interesante que hubo que resolver es el de si había que comprar software de programación lineal y de programación entera o diseñarlos. Este tipo de cuestión no tiene una respuesta fácil y automática, no tiene sentido ni comprar todo enlatado ni "fabricar" todo (dado que el problema no es sólo de software sino de cualquier tema de desarrollo industrial autónomo, uso una palabra más "industrial"); caso por caso, circunstancia por circunstancia, es necesario evaluar los pros y contras de ambas alternativas. En nuestro caso, después de unas cuantas dudas, nos decidimos por confeccionar el software de programación lineal y el de

programación entera nosotros, y la tarea fue llevada a cabo con éxito por un equipo bajo mi dirección, en tiempo y forma. ¿Por qué tomamos esa resolución? El contrato con Agua y Energía establecía el traspaso a dicha empresa de todo software generado durante el contrato. Negociar con un proveedor de software la compra significaba además negociar la autorización para una venta posterior y eso podría traer complicaciones si el contrato no estaba bien definido. Fue una apuesta arriesgada pero exitosa.

Entre 1991 y 1992 preparé un modelo de inundación y drenaje de áreas costeras del Río de la Plata comunicadas por alcantarillas y separadas por terraplenes, para Saneamiento y Urbanización S.A. Este modelo era en cierto sentido bidimensional, porque consideraba "bloques" de terraplenes y comunicación mediante alcantarillas.

Vale la pena recordar también otros modelos que fueron desafíos interesantes y exitosos: el modelo hidrodinámico del río Uruguay, con estructura arborescente, aguas arriba y aguas abajo de la presa de Salto Grande, para analizar propagación de ondas, fluctuaciones máximas admisibles de nivel, hipótesis catastróficas, curvas de remanso, contribuciones de cuencas afluentes, influencias de azudes compensadores y problemas de navegación, para la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (1977-79); el modelo hidrodinámico, con estructura deltaica, del delta del río Paraná, para analizar alternativas de cortes de lechos mayores y cambios de radios de curvatura de los cursos de agua del delta que mejoren la navegación, para la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables (1977-78); el modelo hidrológico-hidrodinámico del río Amazonas Medio e Inferior y su cuenca, para

la Organización Meteorológica Mundial (1981-82); el modelo combinado hidrológico y de operación de embalse de Futaleufú, para Electrowatt Ingenieros Consultores S.A. (1996-98); el modelo de operación combinada de los embalses Los Caracoles y Piedra Negra, para Electrowatt Ingenieros Consultores S.A. (1997).

Cabe mencionar que parte de mi actividad como consultor fue "docente", en el sentido de que el contrato respectivo indicaba que se debía transferir al cliente el producto obtenido (el modelo) tras capacitar al personal del cliente en su concepción, su fundamentación y su uso. Así tuve a mi cargo la transferencia a los respectivos clientes de varios modelos, incluyendo en la transferencia la documentación, fundamentación teórica, manual del usuario e instrucción del personal. Además, implementé el modelo hidrológico-hidrodinámico del río Amazonas Medio e Inferior en Belem, Pará, Brasil; el modelo de predicción de crecidas del río Uruguay en la presa de Salto Grande; dos modelos hidrodinámicos aguas abajo de la presa de Pichi Picún Leufú en Cipoletti, Río Negro; el modelo combinado hidrológico y de operación de embalse en la presa de Futaleufú, en Esquel, Chubut.

Mi última actividad como profesional se desarrolló después de mi decanato, entre 2008 y 2010, en calidad de asesor de SIM&TEC S. A., empresa consultora especializada en mecánica computacional. Allí fui responsable de la paralelización del modelo de elementos finitos METFOR para TENARIS S. A. Siempre consideré, desde el punto de vista académico, que los programas de estudio de carreras de computación en los cuales figura que "se enseñarán los lenguajes de programación tal y cual" son absolutamente obsoletos: un licenciado en ciencias de la

computación de una buena carrera tiene que ser capaz, en una entrevista laboral, ante la pregunta de su potencial futuro empleador "¿Sabe Ud. el lenguaje X?", de responder "No, pero si Ud. me da un manual en una semana programo sin problemas". Y así fue. El lenguaje FORTRAN, por más moderna que sea la versión que se usa, es completamente despreciado en los Departamentos de Computación de casi todo el mundo (y por supuesto en el de la FCEN), por un sinnúmero de motivos que no vienen al caso; simultáneamente, sigue siendo el lenguaje de programación científica más usado en el mundo, especialmente por físicos e ingenieros. Por consiguiente, el modelo METFOR estaba programado en FORTRAN, y yo contraté al joven estudiante Gabriel Bursztyrn (que terminó la licenciatura en ciencias de la computación en la FCEN durante el desarrollo del trabajo) y que por supuesto no sabía nada de FORTRAN: a la semana estaba programando cómodamente, y el trabajo final fue excelente.

■ 5. RETORNO A LA UNIVERSIDAD

Entre 1975 y 1984 estuve bastante alejado de la universidad (salvo los seis meses en Caracas), y no pensaba hacer carrera académica. A partir de 1984 restablecí mi relación con la universidad. Ni bien el gobierno constitucional del Dr. Alfonsín asumió la presidencia el 10 de diciembre de 1983, las universidades nacionales fueron intervenidas con el objeto de normalizarlas, recuperando la autonomía y los postulados de la Reforma Universitaria de 1918, que en el caso de la UBA significaba el restablecimiento del Estatuto de 1958 y el gobierno tripartito. En la Facultad de Ingeniería fue designado Decano Normalizador el ingeniero Julio Guibourg. Debido a mi experiencia en trabajo interdisciplinario

con ingenieros, el Ing. Guibourg me designó en marzo de 1984 Director del Departamento de Matemática. Ocupé dicho cargo con dedicación semiexclusiva hasta 1988, durante todo el gobierno del Ing. Guibourg (hasta 1986) y los dos primeros años del Decano ya designado por el correspondiente Consejo Directivo, el Dr. Félix Cernuschi; reduje por consiguiente mi dedicación a la consultoría. Di mucho impulso a la investigación en ingeniería y a la modernización de los programas de estudio, lo cual probablemente no era la mejor manera de hacerme simpático: en 1988 cambió la composición del Consejo Directivo, y la nueva mayoría, de orientación muy conservadora, en la primera sesión de Consejo el 9 de marzo de 1988 me dejó cesante, con el argumento de que no era bien visto que se hiciera investigación en los departamentos docentes. Irónicamente, ésa fue la única vez que fui dejado cesante en un cargo público: todas las veces anteriores en que me fui de la universidad, en tiempos de la dictadura de Onganía o del gobierno muy represivo de María Estela Martínez de Perón, había sido *motu proprio*, por renuncia. O sea mi cesantía se produjo durante el gobierno constitucional del Dr. Alfonsín... aunque por supuesto el gobierno no era responsable de eso.

Mi reingreso a la universidad motivó que volviera mi interés por la vida académica, para lo cual tenía que terminar mi tesis de doctorado, que tenía completamente abandonada. Me reinscribí por lo tanto en el doctorado, y me reconocieron los puntos de todas las materias aprobadas: el punto faltante (tenía 19 y eran necesarios 20) me fue reconocido por artículos científicos ya publicados y actividad profesional. Así finalmente a fines de 1988 presenté mi tesis de doctorado, después de un esfuerzo considerable: preparé y

escribí mi tesis, con todos los experimentos numéricos incluidos, mientras trabajaba profesionalmente, por un lado, y dirigía el Departamento de Matemática de la Facultad de Ingeniería por el otro. En esencia, la tesis demostraba que para una estructura de red fluvial arborescente (una cuenca fluvial normal) se podía, incluyendo las ecuaciones de compatibilidad en las confluencias, usar un algoritmo tan eficiente como el de tramos fluviales, en el sentido de obtener una matriz banda tri-diagonal con la cual resolver cada sistema lineal a lo largo del tiempo de simulación numérica; y para una estructura deltaica se podía reducir cada sistema lineal a cuatro bloques: un bloque cuadrado superior izquierdo en forma de matriz banda, un bloque cuadrado inferior derecho denso, de orden mucho menor, y dos bordes laterales rectangulares muy ralos, de modo de optimizar memoria de cálculo y tiempo de ejecución casi tanto como para un tramo simple. Es interesante además observar que, si bien yo todo el tiempo estaba pensando en grafos planares (con los cuales se puede representar un delta o cuenca fluvial) la planaridad no interviene en las demostraciones, por lo cual el esquema se adapta perfectamente a un sistema de cañerías en el espacio (en cuyo caso, esto sí, es necesario modelizar con cuidado los codos).

Mi cesantía en Ingeniería causó mucho revuelo en Exactas, de donde habían ido varios matemáticos a trabajar a Ingeniería, y menos de dos meses después yo estaba ya instalado como profesor interino asociado del Departamento de Computación, con un cargo que, por ese motivo, el Rector, Oscar Shuberoff, traspasó a la facultad.

Simultáneamente, en Exactas un grupo de estudiantes y graduados, entre los cuales puedo mencionar

(sin que la lista sea exhaustiva) a Juan Carlos Pedraza, Edith Amatric, Guillermo Durán y Lucas Monzón, se proponía revitalizar el Instituto de Cálculo. El Instituto había sido creado a fines de 1957, en la primera sesión del Consejo Directivo de la Facultad que había recuperado su autonomía después de la caída del gobierno del Gral. Perón en septiembre de 1955, y había comenzado a funcionar en mayo de 1961, con la puesta a punto de su computadora, la mítica "Clementina". Desde esa fecha hasta el golpe de estado de Onganía en 1966 fue, por un lado, la columna vertebral de la carrera de computador científico, y por el otro lado un lugar (el único) en que se hacía investigación y desarrollo en matemáticas aplicadas (y también en computación) en la facultad. Con las nuevas autoridades a partir de 1966 había perdido por completo su calidad de bastión de la investigación en matemática aplicada y computación, quedando solamente reducida a herramienta administrativa de la facultad y a computadora para que los alumnos de computación hicieran sus prácticas. Esta situación duró hasta 1970, en que, debido a la obsolescencia de la computadora (que nunca pudo ser remplazada por una más moderna) y a la imposibilidad de conseguir repuestos, pese al esfuerzo denodado de varios de sus integrantes, la computadora dejó de funcionar definitivamente. (Esto provocó que, hasta que en 1983 comenzó a funcionar una computadora Vax 750 comprada el año anterior, los alumnos de computación científica –y, a partir de su creación en 1982, de la licenciatura en ciencias de la computación– tuvieran que hacer sus prácticas en otras dependencias de la UBA.) Al recuperarse la democracia en diciembre de 1983, de todos modos, el Instituto de Cálculo había quedado reducido a tareas administrativas de la facultad. El propósito de los protagonistas

del esfuerzo de revitalización del Instituto fue que recuperara su sesgo de investigación (ahora separado de sus responsabilidades docentes, ya que existía a partir de 1985 el Departamento de Computación). Colaboré en los proyectos de misión y funciones futuras del Instituto, y finalmente, en noviembre de 1988, el decano Dr. Héctor Torres "recreó" el Instituto, conmigo como director (un mes antes de que defendiera mi tesis de doctorado).

A partir de mi conocimiento (originariamente empírico) de modelización de ríos y cuencas fluviales, por un lado, y de aprovechamientos hídricos, por el otro, empecé a solidificar mis conocimientos teóricos sobre esos temas. Por un lado, comencé a estudiar las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales hiperbólicas (que se pueden poner en forma de leyes de conservación) de los ríos, en particular las condiciones de contorno correspondientes a régimen subcrítico y supercrítico. En el primer caso, son una condición de contorno aguas arriba y una aguas debajo de cada tramos modelizado (o, en el caso de cuencas o deltas, de cada extremo abierto); en el segundo caso, todas las condiciones de contorno deben suministrarse aguas arriba (y a veces no está claro qué es "aguas arriba" en redes fluviales). El paso de régimen subcrítico a supercrítico y viceversa es complicado para las ecuaciones de Saint-Venant, porque no siempre se sabe cuándo se pasará de subcrítico a supercrítico o al revés (o sea, desde el punto de vista práctico, "dónde" y "cuándo" hay que tener disponibles condiciones de contorno), pero lo interesante que descubrí es que si se incluye la ecuación de transporte de partículas de fondo siempre habrá (en un tramo único) dos condiciones de contorno aguas arriba y una aguas abajo: por otro parte, llegué a simular un fenómeno observado

empíricamente, en el caso supercrítico con fondo móvil: la existencia de *antiduna*, o sea de una duna que va hacia agua arriba (naturalmente, lo que va aguas arriba es la *forma* del suelo, o sea información, no las partículas del material de fondo).

En el caso de la ecuación simplificada de la onda cinemática, la función de flujo es convexa o casi convexa para secciones transversales regulares del río. En presencia de irregularidades pronunciadas, sin embargo, la convexidad puede fallar. Con mi antiguo alumno Esteban Tabak, actualmente director del Departamento de Matemática de la Universidad de Nueva York, observamos (y discutimos) consecuencias cualitativas de la forma de la función de flujo para irregularidades típicas, particularmente para ríos con planicies de inundación y ríos encajonados en cañones. Estudiamos además el problema de Riemann para funciones de flujo no convexas.

Dirigí el Instituto de Cálculo hasta marzo de 1998, o sea casi diez años; me alejé de la dirección cuando asumí el decanato de la facultad. Mi propósito fue que el Instituto fuera el lugar donde se pensara la matemática aplicada en forma interdisciplinaria. El Instituto tuvo algunos pocos cargos docentes (sin los cuales no habría podido funcionar) y aparte acogió a docentes de matemática y de computación, además de investigadores del CONICET. Su fuerte estuvo siempre en esa época en estadística, pero además se dio impulso a otras áreas, como la de modelos fluviales y de recursos hídricos (a cargo mío) y aplicaciones de teoría de caos; aparte, durante esa época dos maestrías funcionaron en el Instituto: la maestría en estadística matemática y la maestría en física médica. Cabe mencionar que el Instituto de Cálculo actualmente es un instituto de la UBA con

director designado por concurso (el Dr. Guillermo Durán), y realiza una activa labor interdisciplinaria en consonancia con la filosofía con la que fue recreado.

Simultáneamente, como profesor del Departamento de Computación (a partir de 1994 profesor titular regular), dicté varias asignaturas: métodos numéricos, simulación estocástica y en los últimos años los seminarios sobre historia de la computación y sobre computación, ciencia y sociedad en Argentina, aparte de colaborar siempre en las actividades académicas del departamento.

En 1994 se produjo un hecho político en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires que fue importante en mi vida docente: la mayoría de extrema derecha que controlaba la facultad desde 1988 (y que me había despedido como director del Departamento de Matemáticas ni bien controló el Consejo Directivo de la facultad), primero con su predominio en el Consejo Directivo y luego, durante el período 1990-1994 imponiendo al nuevo decano, fue desalojada del poder, y el Ing. Carlos Raffo fue electo decano. Yo había ganado un concurso de profesor titular con dedicación semiexclusiva en el Departamento de Matemática, pero el Consejo Directivo había pedido la anulación del concurso con el firme propósito de impedir mi nombramiento. El Consejo Superior rechazó ese pedido, y devolvió el expediente a la Facultad de Ingeniería. Entretanto, habiendo sido yo echado, fui designado interinamente, como ya mencioné, en la FCEN, y mi concurso en Ingeniería entró en un limbo, con un Consejo Directivo que insistía en anular el concurso para no designarme y un Consejo Superior rechazando la anulación. Al producirse el cambio político en Ingeniería, en su primera sesión el nuevo Consejo Directivo,

en una actitud por la cual le estaré siempre agradecido, "anuló la anulación de mi concurso", valga la formulación literaria y envió al Consejo Superior el pedido de mi designación como profesor titular, e inmediatamente el Consejo Superior convalidó esa decisión, de manera que me encontré de golpe con dos cargos de profesor titular regular con dedicación semiexclusiva, uno en la FCEN y otro en Ingeniería. Dado el gesto de Ingeniería, me resultaba muy descortés renunciar a un cargo por el cual se había batallado tanto, así que acepté ese cargo a partir de marzo de 1995, reduciendo mi dedicación a parcial y dicté mis cursos siempre, incluso durante todo mi decanato, salvo los seis meses que fui Presidente del CONICET (al dejar muchos años después el decanato de la FCEN recuperé la dedicación semiexclusiva).

Aparte de la dirección del Instituto, el decano Dr. Eduardo Recondo, al comenzar su segundo decanato (1994-1998), me ofreció el cargo de Secretario Académico, que acepté. Fue una época de trabajo muy intenso, pues simultáneamente a mis actividades de gestión en la facultad (la dirección del Instituto de Cálculo y la Secretaría Académica), de continuar con mis tareas de investigación, y de dictar clase en Exactas y en Ingeniería, continuaba con dedicación parcial mis ocupaciones como director y encargado del área de modelización del Estudio Gradowczyk y Asociados S.A.T. De todos modos, la Secretaría Académica la abandoné a mediados de 1996, pero igual fue una época de trabajo muy intenso, sobre todo para acelerar la sustanciación de los concursos.

Una de las actividades que más me satisficieron fue la creación del doctorado en ciencias de la computación, de la cual creo haber sido

el principal protagonista. A principios de los noventa prácticamente no había doctores en computación en Argentina; obviamente no iban a poder dirigir tesis (y tampoco había prácticamente doctores en ingeniería electrónica, otro posible sostén del doctorado). En particular, en el Departamento de Computación de la FCEN los únicos doctores que había eran matemáticos. Lo tradicional (que es lo que hizo Brasil) hubiera sido enviar jóvenes graduados financiados por el gobierno para doctorarse en el extranjero y luego incorporarlos a la docencia e investigación a su regreso. En nuestro país (y sobre todo a comienzos de esa década) ese esquema era imposible: en primer lugar, no había posibilidad de financiamiento nacional (esa situación sólo cambió con los proyectos FOMECA, Fondo para el Mejoramiento de la Calidad Universitaria); en segundo lugar, con sueldos tan bajos como los de los docentes universitarios o investigadores del CONICET, la probabilidad de que un número significativo de flamantes doctores volviera era baja. Mi idea era crear el doctorado, que los doctorandos pudieran hacer sus tesis dirigidos por doctores del extranjero (eventualmente con viajes cortos) o con profesores de otras disciplinas (no necesariamente matemáticos: hasta su lamentable y prematura muerte, el Dr. Carlos Alchourrón, destacado abogado especialista en lógica, dirigía tesis en computación) y que así se fueran formando investigadores. Fui miembro de la subcomisión de doctorado, y representante de la misma ante la comisión de doctorado de la Facultad, hasta poco antes de asumir como decano. Trabajé bastante en el tema, y durante mi desempeño apareció el ya mencionado proyecto FOMECA, que facilitó enormemente la tarea. El FOMECA, originado en créditos del Banco Mundial/Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BM/

BIRF), permitió a Exactas disponer de alrededor de quince millones de dólares (para los cuales fue necesario hacer una cuidadosa ingeniería financiera, dado que la facultad debió aportar una contraparte del 20 al 40%, según la imputación), que se usaron para equipamiento, ingeniería de compras para la biblioteca y las hemerotecas, becas de doctorado mixtas y abiertas, invitación a profesores extranjeros de alto nivel.

El resultado está a la vista: actualmente prácticamente todos los profesores del departamento son doctores, unos cuantos están en el CONICET como investigadores, y la producción de doctores del departamento es similar a la de otros departamentos de la FCEN. En los demás departamentos su impacto también fue tremendamente positivo.

■ 6. INVESTIGACIÓN

Mi interés en la interdisciplina puede observarse registrado en las tesis de doctorado que dirigí hasta ahora: en matemática, física, computación, química e ingeniería. En muchos casos con codirectores, dado que me internaba en disciplinas ajenas, pero siempre fueron aplicadas (o de aplicación inmediata). A decir verdad, no sé si hay algún otro director de tesis en nuestro país que haya dirigido tesis en tantas áreas disciplinarias distintas.

A partir de mi colaboración con la ingeniera Susana Bidner y Gabriela Savioli, cuya tesis de doctorado en matemática dirigí en la FCEN-UBA, con la codirección de la ingeniera Bidner, comenzó una actividad de los tres en modelización del flujo monofásico de petróleo hacia un pozo productor. En la tesis, Savioli introdujo nuevos parámetros en el simulador de ensayos de pozos: un modelo unidimensional que contempla las variaciones radiales

de permeabilidad y porosidad, y un modelo bidimensional que, al considerar la coordenada vertical, permite analizar el flujo vertical de fluidos regido por la permeabilidad vertical y los efectos gravitatorios, amén de las heterogeneidades de permeabilidad y porosidad en ambas direcciones. Para obtener la solución numérica, tanto en caso unidimensional como en el bidimensional, se aplicó una familia de esquemas en diferencias finitas que depende de un parámetro θ , $0 \leq \theta \leq 1$. Continuando con esa idea, eligiendo un ordenamiento adecuado de las ecuaciones e incógnitas involucradas, se obtiene un sistema lineal de ecuaciones con una matriz "casi" pentadiagonal, que se resuelve aplicando un método original basado en el desarrollo en serie de Taylor de funciones matriciales (TSMF). Obtuvimos que una combinación de TSMF y block-SOR con paso de tiempo variable parece ser la mejor política. El simulador numérico descrito se aplicó luego para estudiar el comportamiento de reservorios de dos capas con valores típicos de permeabilidad vertical iguales o menores que los de permeabilidad horizontal. Específicamente, para un pozo de petróleo que produce a caudal constante, se analizó la influencia de la permeabilidad vertical en las respuestas de presión y caudal de cada capa. Se concluyó que la permeabilidad vertical influye en las respuestas de presión y caudal a tiempos cortos e intermedios, por lo que debería ser tenida en cuenta tanto en el diseño como en la interpretación de los ensayos de presión en pozos.

En la tesis de ingeniería en la UBA de Ariel Fraidenraich (que dirigí con la codirección del Dr. Fernando de Andrade Lima, de Recife) y trabajos subsiguientes, se extendió la aplicación de la teoría de los métodos perturbativos de primero y segundo orden al estudio de varios

problemas en hidrodinámica: procesos de difusión y transporte de contaminantes, ecuación de la onda cinemática viscosa, ecuación de Burgers viscosa y finalmente el caso más general de ecuaciones de aguas poco profundas unidimensionales. En todos los casos el propósito es conocer cómo varían los funcionales promedios de las alturas y de las velocidades para variaciones posibles de los parámetros físicos (amplitud de la marea, coeficiente de resistencia de Chézy, y parámetro asociado a las variaciones topográficas). Pero hay un propósito más general: conocer la sensibilidad de los parámetros permite, en el proceso de ajuste de un modelo, saber qué parámetros se intentará ajustar mejor: no tiene sentido dedicar ingentes esfuerzos a mejorar parámetros a los cuales el modelo es poco sensible.

Los patrones espaciales y las variaciones en el tiempo de las concentraciones de sustancias peligrosas, junto a los efectos potenciales sobre la población subyacente, son necesarios para ayudar a la planificación y respuesta en una emergencia química. A tal fin, existen modelos que predicen el transporte y la dispersión de sustancias peligrosas y otros que estiman los efectos potenciales experimentados por la población expuesta. En conjunto, constituyen una poderosa herramienta para estimar las regiones vulnerables y evaluar los impactos potenciales en la población afectada. El desarrollo de metodologías y de modelos, de aplicación directa al contexto en que vivimos, permiten acceder a una representación más clara del escenario de riesgo y consecuentemente disponer de las herramientas adecuadas para una respuesta óptima. En la actualidad, se ha encontrado una importante vacancia en los modelos de exposición a incidentes agudos ya que no contemplan la variable temporal en sus cálculos y es

así como una foto estática de las regiones de amenaza son presentadas por los modelos de uso corriente en situaciones de emergencia. Por lo expuesto, constituye un avance importante para la gestión de riesgos que los respondedores o decisores en una emergencia puedan conocer la evolución temporal no sólo de la nube tóxica sino además de las regiones de daño representativas de la población potencialmente expuesta. En la tesis en química de Yanina Sánchez en la Universidad Nacional de La Plata, que dirigí con la codirección del Dr. Andrés Porta y trabajos subsiguientes, se ha logrado desarrollar un modelo de exposición para incidentes químicos, DDC (*Damage Differential Coupling*), que hace uso de los índices toxicológicos típicos para incidentes agudos (AEGIs, ERPGs, TEELs). El mismo presenta numerosas y evidentes ventajas frente a los métodos vigentes, optimizando los tiempos y mecanismos de respuesta, del mismo modo que la planificación de desastres. Por un lado, DDC es capaz de proporcionar una estimación progresiva de los daños experimentados, y es así como la información cronológica de los efectos potenciales experimentados por la población expuesta es ofrecida por este nuevo método. Utilizando el campo continuo propuesto de los índices toxicológicos, siempre es posible realizar el acoplamiento de dos exposiciones diferenciales y en consecuencia de dos efectos parciales. A través del reciente desarrollo del modelo de exposición DDC se ha logrado optimizar, cuali y cuantitativamente, la estimación de la población afectada por una nube tóxica debido a su capacidad para acoplarse a cualquier modelo atmosférico de dispersión de contaminantes que disponga de una salida de datos en forma temporal. De este modo, DDC analiza los diferentes perfiles de concentración (salida del modelo de transporte) y los asocia

con alguna concentración de referencia de alerta para así identificar las áreas de riesgo. El modelo desarrollado de exposición para incidentes químicos (escenario hipotético de escape de cloro con obstáculos, como edificios) se aplicó a dos tipos de escenarios: Parque Industrial de Pilar (Argentina) y Chicago (EeUu); acoplándose a diferentes modelos de transporte de contaminantes en aire, analizando de este modo los alcances del acoplamiento, de las partes que lo forman y de la aplicación. Los resultados muestran cómo es capaz de predecir la dispersión atmosférica de materiales peligrosos, y demuestran cómo el conocimiento de la influencia de los obstáculos en la trayectoria de la nube tóxica, y en la dispersión de los contaminantes transportados, junto a la información dinámica de la población potencialmente afectada y de los síntomas asociados, contribuyen a una mejor planificación de las medidas de protección y respuesta ya que permiten una mejor comprensión de la situación y del tiempo disponible para la intervención oportuna.

La tesis de doctorado de la Dra. Sánchez, y los trabajos subsiguientes ya mencionados, son parte de un proyecto más ambicioso en el cual participé formando recursos humanos: el proyecto CRISIS, de manejo de políticas de Estado ante emergencias causadas por accidentes, antrópicos o naturales. El proyecto está a cargo de CITEDEF, Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (anteriormente CITEFA, Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas de las Fuerzas Armadas) y en él la Dra. Sánchez participó como tesista financiada por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (y luego por el CONICET). Todo el manejo informático de dicho proyecto está a cargo del Ing. Alejandro Acquesta, que se doctoró en informática

en 2014 en el Instituto Tecnológico de Buenos Aires bajo mi dirección, investigando y aplicando diferentes herramientas informáticas para la gestión de riesgos que, utilizadas a lo largo de todo el ciclo de las emergencias y desastres, pueden contribuir a evitar o reducir los costos en vidas, bienes, económicos y ambientales que dichas situaciones provocan.

A partir de la tesis en ingeniería del Dr. Fernando Ponta en la UBA, que codirigí, produjimos una serie de artículos en el cual planteamos futuros escenarios de aprovechamiento de energía de las corrientes marinas, introduciendo posibles soluciones tecnológicas. Posteriormente dirigí conjuntamente con el Dr. Ponta en la UBA la tesis de doctorado en ingeniería de Alejandro Otero, que incluyó una modelización del comportamiento estructural de las aspas de turbinas eólicas y publicamos algunos artículos sobre el tema.

En la tesis en computación en la FCEN-UBA de Javier Quinteros, dirigida conjuntamente con el Dr. Víctor Ramos, y en trabajos subsiguientes, se modelaron numéricamente procesos asociados a la tectónica de placas por medio del diseño y de la implementación de dos modelos completamente originales basados en el método de los elementos finitos. Fue la primera vez que se aplicaron este tipo de modelos numéricos a las regiones tratadas en la tesis. El primer modelo está basado en las ecuaciones de Stokes de dinámica de fluidos y simula la evolución de largo plazo y en gran escala de la corteza en un orógeno de tipo andino. El otro es un modelo termomecánico basado en la deformación de sólidos, capaz de simular el comportamiento elasto-visco-plástico y reproducir procesos geodinámicos hasta 410 Km. de profundidad bajo

diversas condiciones cinemáticas. Se simuló la evolución durante casi nueve millones de años de un dominio de 150 Km. de profundidad y 300 Km. de ancho. Las ecuaciones se modelizaron mediante elementos finitos y no dejó de ser gracioso para mí trabajar a esa escala temporal: un intervalo temporal de diez mil años era un intervalo muy pequeño...

La colaboración con los doctores Quinteros y Ramos permitió la publicación de varios artículos científicos de modelado numérico de tectónica de placas. En la formación de cordones montañosos como la Cordillera de los Andes entran en juego un sinnúmero de procesos, que suelen tener mayor o menor influencia según la escala espacial y temporal que se desee investigar. Este tipo de procesos de deformación en gran escala suele involucrar extensiones de varios cientos de kilómetros tanto en profundidad como en superficie. Siempre usando elementos finitos se simuló la evolución tectónica de la corteza y el manto terrestres bajo muy diversas condiciones, se usó una técnica de remallado para los casos en que la malla supera un umbral de distorsión, y se representaron comportamientos elásticos, plásticos y viscosos dentro del mismo dominio, y a escalas de tiempo y espacio muy disímiles.

La tesis en física en la FCEN-UBA de Walter Legnani, que dirigí con la codirección del Dr. Pablo Canziani, permitió mostrar la influencia de perturbaciones de escala sinóptica (de longitudes o escalas menores a 5000 Km. aproximadamente) sobre el vórtice polar austral y sobre el agujero de ozono antártico. Estas perturbaciones se propagan desde la tropósfera y alcanzan la estratósfera inferior. Y la tesis de doctorado del ingeniero Gerardo Riccardi, sobre un sistema de modelación hidrológica-hidráulica cuasi bidimensional

multicapa para ambientes rurales y urbanos fue "triangular": un docente de la Universidad Nacional de Rosario presentando una tesis en ingeniería en la Universidad Nacional de Córdoba con un director de Buenos Aires...

■ 7. DECANO DE LA FCEN-UBA

Me desempeñé como Decano de la FCEN entre 1998 y 2002 y entre 2002 y 2006. Durante buena parte de mi decanato la situación económica del país fue la más catastrófica de los últimos decenios; sin embargo, creo que se pudieron hacer reformas y avances exitosos. Por primera vez en la Facultad se llevó a cabo una política de llamado a cargos de profesores vacantes por jubilaciones, fallecimientos y renuncias de modo de tener en cuenta las necesidades y prioridades docentes y de investigación de toda la Facultad, según la propuesta, aprobada por el Consejo Directivo, de una comisión *ad hoc*. Y el mismo Consejo Directivo resolvió que los docentes de esta Facultad tenían que dar obligatoriamente un mínimo de clases por año. Quería mencionar especialmente este logro porque tiene que ver con un problema que se plantea siempre con la autonomía universitaria: la autonomía universitaria es un principio inalienable que ha sido conquistado después de duras luchas, generalmente estudiantiles. La Universidad elige sus autoridades, nombra sus empleados, administra sus recursos –que, si bien son escasos e insuficientes, tampoco son insignificantes- sin participación de los ciudadanos electos para ocupar cargos públicos federales en el país. Es decir, la sociedad argentina le da privilegios a la Universidad pública que no le da a otras instituciones. A cambio de eso, la Universidad tiene que tener claro que por ese motivo tiene una responsabilidad mayor que si no fuera autónoma: cualquier

contribuyente de Jujuy, por ejemplo, tiene derecho a decir "Quiero saber si la Universidad está gastando bien el dinero que obtiene de mis impuestos". La Universidad – y cada Facultad - debe entonces pensar permanentemente que no puede refugiarse en actitudes corporativas, y que la sociedad tiene derecho a saber en qué gasta su dinero, y por consiguiente usarlo de la manera más criteriosa posible, sin confundir autonomía con endogamia, y sin decidir lo que nos conviene a los que trabajamos en la Universidad sin pensar en la sociedad en su conjunto. Gracias a la colaboración de las autoridades de la UBA, la FCEN recuperó espacios con destino al Departamento de Ciencias de la Atmósfera y de los Océanos y al Centro de Investigaciones del Mar y de la Atmósfera; se pudieron adjudicar espacios a grupos del Departamento de Fisiología y Biología Molecular y Celular, a grupos del Departamento de Ecología, Genética y Evolución, a grupos del Departamento de Química Orgánica, y a grupos del Centro de Estudios Avanzados (CEA) de la Universidad que vinieron a hacer investigaciones interdisciplinarias a la Facultad, tras la disolución del CEA. Por primera vez en la historia de la Facultad se asignaron espacios a grupos de investigación por adjudicación temporal, llevado a cabo tras recomendación de una Comisión *ad-hoc*, también creada por el Consejo Directivo. La incorporación a la Facultad en 1998 de la Guardería existente permitió su transformación en un Jardín Materno-Infantil modelo, que incluyó hasta preescolar, en el cual no solamente el costo por padre o madre es bajo sino que es proporcional a su sueldo; a dicho jardín van hijos de docentes, no docentes, becarios, doctorandos y estudiantes, e incluso de personal que trabaja en otras dependencias de la Ciudad Universitaria. La designación y ascenso de personal no docente se

hizo por concurso, cumpliendo el Estatuto del Personal No Docente a rajatabla. La redistribución de espacios en algunos Departamentos, de acuerdo con criterios racionales, contó siempre con el apoyo de las autoridades. Se creó el Departamento de Orientación Vocacional (DOV), que realiza una intensa tarea de orientación vocacional a nivel de colegios secundarios. En el mismo sentido, se crearon y se llevan a cabo ininterrumpidamente desde hace varios años las Semanas de las Ciencias. La asignación de rubros de presupuesto no destinados a sueldos se comenzó a hacer de acuerdo a pautas consensuadas por todos los departamentos, y fue reconfortante comprobar que los departamentos llegaron a un acuerdo unánime teniendo en cuenta los diferentes tipos de gastos docentes por departamento. Fue muy importante la terminación con éxito del programa FOMECE, de reequipamiento para la docencia, por un monto ya mencionado de alrededor de 15 millones de dólares (el más alto de Argentina) sin haber perdido la independencia académica de la Facultad; el personal no docente de la Facultad encargado del FOMECE se capacitó con entusiasmo e idoneidad, lo cual muestra que es un mito el lamentable prejuicio de que los empleados del estado no pueden hacer más que tareas rutinarias. Se fortaleció el Servicio de Higiene y Seguridad del Trabajo de la Facultad, que implementó un muy moderno plan de seguridad ambiental: tiene políticas de emergencia y evacuaciones, de capacitación, de seguridad química, biológica, radiológica, láseres y residuos peligrosos, y todo esto desde antes de la tragedia de Cromañón (el Servicio de Higiene y Seguridad, el primero de la UBA, fue creado en 1990, y avanzó paso a paso hasta su estado actual). Relacionado con este tema, se construyó el droguario único del Pabellón II, y se puso

a punto todo el sistema de campañas del Pabellón II. Se creó el Centro de Microscopías Avanzadas en la Facultad; se reorganizó el Campo Experimental; se creó un programa de becas por razones estrictamente económicas; se pusieron en marcha las pasantías educativas (para estudiantes) y los contratos de tipo salarial (para estudiantes y graduados); se creó INCUBACÉN, la incubadora de empresas de la Facultad.

Durante mi primer período como decano ejercí durante seis meses, de enero a julio de 2000, la Presidencia del CONICET. Dada la difícil situación económica, y el poco interés de las autoridades del momento por la ciencia y la tecnología, entendí que dicha gestión había fracasado, y renuncié a mi cargo, en el cual estaba sujeto a tensiones extremas.

Por último, cabe mencionar que colaboré activamente, conjuntamente con el Centro Argentino de Meteorólogos, durante mi decanato y después, en el proyecto, finalmente exitoso, del traslado del Servicio Meteorológico Nacional de la Fuerza Aérea Argentina al Ministerio de Defensa: desde el punto de vista de una buena administración, un Servicio no puede estar en manos de uno solo de sus usuarios.

■ 8. ACTUALIDAD

Cesé como profesor regular de la UBA, tanto en la FCEN como en Ingeniería, a partir del 1° de marzo de 2012, por razones reglamentarias de edad; a propuesta del Departamento de Computación de Exactas, avalada por una amplia mayoría de consejeros directivos de Exactas (sólo el consejero por la minoría de graduados y el consejero por la minoría de estudiantes se abstuvieron), el Consejo Superior de la UBA me designó profesor emérito, cargo que detento en la actualidad.

Independientemente de ello, a partir de mi retiro de la UBA como profesor regular, por invitación del Rector de la Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF), Aníbal Jozami, me desempeñé como Secretario de Investigación y Desarrollo de dicha universidad. Había comenzado a colaborar con la UNTREF en el año 2009, como asesor del Rectorado, dado que las autoridades de dicha universidad consideraban que había llegado el momento de dar un fuerte impulso a la investigación (que ya existía, pero con poca institucionalización: no había una Secretaría de Investigación, y una de mis tareas fue preparar su creación): dejé esta asesoría al integrarme con dedicación completa a UNTREF. La creación de la UNTREF (así como la de las demás universidades del conurbano bonaerense) tiene un impacto muy positivo en la región, y me siento muy contento de poder ayudar en el fortalecimiento de la investigación en una universidad joven, dinámica y muy creativa.

Sin embargo, no abandoné mis actividades en la UBA: por un lado, prosigo con mis cursos de posgrado (maestría de simulación numérica y control, maestría de ingeniería matemática y doctorado en ingeniería) en la Facultad de Ingeniería, mediante contrato: dicto como siempre las asignaturas Modelos y Sistemas I (modelos estocásticos) y Modelos y Sistemas II (modelos determinísticos); en Exactas colaboro tanto con el Departamento de Computación como con el Instituto de Cálculo en sus actividades, reuniones, jurado de concursos de profesores, etc.

Desde hace poco más de diez años me empecé a interesar bastante en temas de historia de la ciencia en Argentina, especialmente de las matemáticas y la computación, e historia de las relaciones y los conflictos entre ciencia y tecnología por

un lado, y gobiernos autoritarios y democráticos en Argentina. En realidad, desde siempre estuve interesado en la historia (dudé si seguir historia cuando terminé el colegio secundario, e incluso me inscribí en dicha carrera, en la Facultad de Filosofía y Letras, cuando me recibí en la FCEN, pero al final decidí que ya había dado suficientes exámenes en mi vida y, salvo eventualmente los de las materias de doctorado en matemáticas, cuando las cursara, no quería rendir más). Además siempre estuve interesado en qué pasó en Argentina para provocar su decadencia (relativa), cuando a principios del siglo XX se pensaba en otro horizonte, y en particular qué pasaba con su ciencia y su tecnología. Al comenzar a investigar un poco en el tema, y en particular en el área de la computación, que me resultaba más fácil porque en algún sentido había vivido su evolución en “tiempo real” (al fin y al cabo empecé a tomar contacto con ella en la década de 1960, cuando recién estaba comenzando en el país), pude observar que ciertos preconceptos que tenía eran falsos: no es cierto que los gobiernos constitucionales “por definición” apoyaran la ciencia, y los gobiernos militares “por definición” la combatieran. El panorama en nuestro país fue siempre mucho más complejo: muchos gobiernos civiles fueron totalmente indiferentes a la ciencia y a la tecnología, mientras que los gobiernos militares en muchos casos las apoyaron, o al menos apoyaron parte de la ciencia aplicada, o directamente aplicable (o al menos sectores militares dentro de los respectivos gobiernos lo hacían). El problema que los militares nunca pudieron resolver fue cómo apoyar la tecnología y la ciencia aplicada (así fuera nada más que para crear una poderosa industria militar) y simultáneamente sospechar que la comunidad científica fuera muy izquierdista y con elementos “sub-

versivos”, para usar un lenguaje que les gustaba, y por consiguiente combatirla. Escribí varios artículos al respecto, e incluso fui invitado a un congreso internacional en Tenerife para exponer sobre la ciencia en contextos autoritarios.

Escribí ya algunos artículos, incluyendo biografías de algunas personas importantes como Manuel Sadosky, el “padre fundador” de la computación en Argentina, y Pedro Elías Zadunaisky, creador del análisis numérico en el país, tratando de enmarcarlas en el contexto histórico de nuestro inestable país, así como una semblanza de mi maestro Mario Gradowczyk, esta última escrita en colaboración con el fallecido Norberto Griffa, el cual se centró en los aportes de Mario como experto en arte. También escribí sobre dos personas, afortunadamente todavía muy activas y científicamente importantes, en el área de la mecánica computacional, Eduardo Dvorkin y Sergio Idelsohn. En este momento estoy trabajando en la historia de la matemática en la FCEN, y la historia de la computación la escribí en mi libro *De Clementina al siglo XXI: una historia de la computación en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires*.

También me interesé en la computadora como herramienta de los matemáticos (esencialmente, pero no exclusivamente, aplicados). En un trabajo planteé que la computadora no solamente funciona como una poderosa herramienta para la modelización numérica de problemas de ciencias experimentales, sino que en cierto sentido la matemática aplicada puede considerarse una ciencia experimental, cuyo laboratorio es la computadora, y por consiguiente los modelos matemáticos computacionales son o pueden llegar a ser herramientas para

conocer mejor fenómenos de distintas disciplinas. Se observa además cómo la matemática pura también ha comenzado a usar la computadora para calcular constantes universales y demostrar teoremas.

Poco después de concluir mi mandato como decano, me asocié con mi viejo amigo el físico Dr. Roberto Perazzo con el objeto de escribir un libro (*Azar, ciencia y sociedad*) sobre el impacto del azar en la ciencia y en la sociedad a lo largo de los siglos. Naturalmente Roberto se ocupó esencialmente de las partes en las cuales la física estaba involucrada, y yo de las partes en las que la matemática estaba involucrada. Decidimos que los capítulos fueran “hablados” y no técnicos, y que las fórmulas y deducciones duras y puras de matemática y física estuvieran en apéndices a algunos capítulos, de modo que quien no tuviera interés o conocimientos como para leer los apéndices pudiera leer el libro de corrido saltando dichos apéndices, y entenderlo (Roberto dice medio en broma que cada fórmula reduce el número de lectores de un libro a la mitad). Fue un esfuerzo de más de cuatro años, que dio sus frutos: en 2012 EUDEBA lo publicó, como primer libro de una colección de la Facultad de Ingeniería, y tuvo muy buena acogida. Pero decir que fue un “esfuerzo” es equívoco: toda la preparación, discusión, consultas y escritura fueron un placer, y nos sirvieron para aprender una enorme cantidad de temas.

En los últimos años comencé una colaboración con el Dr. Rodrigo Castro sobre modelos mundiales. A partir de un trabajo que escribí para una reunión conjunta argentino-checa con una revisión de modelos mundiales -en la confección de los cuales Argentina tuvo participación, primero con algunos enfoques de Oscar Varsavsky y luego, sobre todo,

con el modelo de la Fundación Bariloche- y estando interesado en qué se podía modelizar exitosamente y qué no, comenzamos a estudiar los modelos dinámicos globales implementados a partir de las décadas de 1960 y 1970 para simular todo el mundo, o porciones importantes de él. En un trabajo ya aceptado y que se publicará en breve analizamos la evolución temprana de modelos computacionales globales, incluyendo los trabajos pioneros de Varsavsky y colaboradores, revisitamos aspectos metodológicos relevantes y discutimos cómo influyeron los distintos enfoques, para finalmente observar cómo confluyen en la disciplina de sistemas complejos y de modelos ambientales. Rodrigo, joven y entusiasta, se está convirtiendo en un especialista en ese tipo de modelos, tanto desde la teoría y formalización como desde la práctica, y en muchos otros temas más.

Hay temas adicionales en los que estoy interesado, pero no creo que valga la pena mencionarlos porque todavía no tengo sobre ellos resultados concretos. Así que cierro acá esta reseña, y aprovecho para agradecer a la Asociación Argentina para el Progreso de la Ciencia y en particular al Dr. Miguel Blesa la invitación a exponer mi trayectoria.

■ BIBLIOGRAFÍA

En esta bibliografía se mencionan algunos trabajos citados y algunos propios que considero representativos de mi actividad.

Acquesta A., Sánchez E. Y., Porta A., Jacovkis P. M. (2011) *A method for computing the damage level due to the exposure to an airborne chemical with a time-varying concentration*, Risk Analysis **31**: 1451-1469.

Cunge J. A. (1969) *Au sujet d'une méthode de calcul de propagation de crues*

- (*méthode Muskingum*), Journal of Hydraulic Research **7**, 205-230.
- Fraidenraich A., Jacovkis P. M., Lima F. R. A. (2003) *Sensitivity computations using first and second order perturbative methods for the advection-diffusion-reaction model of pollutant transport*, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering **25**: 23-29.
- Gradowczyk M. H., Jacovkis P. M., Tamusch A., Díaz F. M. (1980) *A hydrological forecasting model of the Uruguay River basin system*, en: Hydrological Forecasting (Proceedings of the Oxford Symposium), I.A.H.S. Publ. No. 129, 517-524.
- Griffa N., Jacovkis P. M. (2010) *Tras los pasos de Mario Gradowczyk (1932-2010)*, Archivos del Presente **14** (53-54), 241-249. Reproducido en Gabriel Peluffo Linari y Laura Malosetti Costa, Torres García: Utopía y Tradición, EDUNTREF, Caseros, 2011, 111-114 (Catálogo de la exposición del mismo nombre en el Museo de la Universidad Nacional de Tres de Febrero). Reproducido también en: Jorge Zuzulich (comp.), Del pensamiento continuo. Apuntes de/sobre Norberto Griffa, EDUNTREF, Caseros, 2014, 167-174.
- Jacovkis P. M. (1991) *One-dimensional hydrodynamic flow in complex networks and some generalizations*, SIAM Journal of Applied Math. **51**: 948-966.
- Jacovkis P. M. (2002) *La ciencia durante la dictadura*, en: H. Invernizzi y J. Gociol (eds.), Un golpe a los libros, EUDEBA, 387-391.
- Jacovkis P. M. (2005) *Some problems in integrated hydrologic, hydrodynamic and reservoir operation models*, en: S. R. Idelsohn y V. Sonzogni, Applications of computational mechanics in structures and fluids, CIMNE, Barcelona, 58-71.
- Jacovkis P. M. (2006) *The first decade of computer science in Argentina*, en: J. Impagliazzo (ed.), IFIP International Federation for Information Processing, Volume 215: History of Computing and Education 2 (HCE2), Springer, Boston, 181-191.
- Jacovkis P. M. (2008) *Some aspects of the history of applied mathematics in Argentina*, Revista de la Unión Matemática Argentina **49**: 57-69.
- Jacovkis P. M. (2010) *Some aspects of the evolution of computational mechanics in Argentina and the rôle of Eduardo Dvorkin*, en: E. N. Dvorkin, M. B. Godschmit y M. A. Storti (eds.), Mecánica Computacional, Vol. XXIX, AMCA, Santa Fe, 7663-7669 (Proceedings of the IX Argentine Congress on Computational Mechanics – II South-American Congress on Computational Mechanics – XXXI Ibero-Latinamerican Congress on Computational Methods in Engineering ME-COM 2010 – CILAMCE 2010). CD.
- Jacovkis P. M. (2010) *Ciencia, dictaduras militares y gobiernos constitucionales en Argentina*, en: César Lorenzano y Pablo Lorenzano (compiladores), III Congreso Iberoamericano de Filosofía de la Ciencia y la Tecnología, resumen extendido, 870. CD.
- Jacovkis P. M. (2012) *Semblanza del ingeniero Pedro Elías Zadunaisky*, Saber y Tiempo **23**: 157-166.
- Jacovkis P. M. (2013) *De Clementina al siglo XXI. Breve historia de la computación en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires*, Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Jacovkis P. M. (2013) *Sergio Idelsohn and the development of computational mechanics in Argentina*, IACM Expressions **33**/13, 28-29
- Jacovkis P. M. (2014) *Manuel Sadosky y su impacto en la ciencia y en la política argentina*, en: Raúl Carnotta y Carlos Borches (compiladores), Manuel Sadosky. El sabio de la tribu, Libros del Zorzal, Buenos Aires, 17-83.
- Jacovkis P. M., Castro R. (2014) *Computer-based global models*, aceptado para su publicación en Journal of Artificial Societies and Social Simulation.
- Jacovkis P. M., Gradowczyk M. H., Freisztav A. M., Tabak E. G. (1989) *A linear programming approach to water-resources optimization*, Mathematical Methods of Operations Research **33**: 341-362.
- Jacovkis P. M., Perazzo R. (2012) *Azar, ciencia y sociedad*, Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Jacovkis P. M., Savioli G. B., Bidner M. S. (1999) *Mathematical modelling for flow towards an oil well*, International Journal of Numerical Methods in Engineering **46**: 1521-1540.
- Jacovkis P. M., Tabak, E. G. (1996) *A kinematic wave model for rivers with flood plains and other irregular geometries*, Mathematical and Computer Modelling **24**: 1-21.
- Lighthill M. J., Whitham G. B. (1955) *On kinematic waves I. Flood movements in long rivers*, Proceedings of the Royal Society A **229**, 281-316.
- Ponta F. L., Jacovkis P. M. (2003) *Constant-curl Laplacian equation: a new approach for the analysis of flows around bodies*, Computers and Fluids **32**: 975-994.
- Ponta F. L., Jacovkis P. M. (2008) *Marine current power generation by diffuser-*

- augmented floating hydro-turbines*, Renewable Energy **33**: 665-673.
- Preissmann A. (1961) *Propagation des intumescences dans les canaux et rivières*, Premier Congrès de l'Association Française du Calcul, Grenoble, 433-442.
- Quinteros J., Jacovkis P. M., Ramos V. A. (2006) *Evolution of the upper crustal deformation in subduction zones*, ASME Journal of Applied Mechanics **73**: 984-994.
- Sánchez E. Y., Colman Lerner J. E., Porta A. A., Jacovkis P. M. (2013) *Emergencies planning and response: coupling an exposure model with different atmospheric dispersion models*, Atmospheric Environment **79**: 486-494.