

BUSCANDO REDUCIR LA BRECHA ENTRE TEORÍA Y PRÁCTICA DURANTE MÁS DE 40 AÑOS¹

Palabras clave: control automático, aeroespacial, páncreas artificial, matemática aplicada.
Key words: automatic control, aerospace, artificial pancreas, applied math.

El autor describe su trayectoria signada por dos pulsiones: la ingeniería y la música. Más allá de su muy conocido desarrollo de un páncreas artificial, vemos la importancia de proyectos estratégicos, como las actividades espaciales de CONAE para la formación de recursos humanos capaces de brindar soluciones en problemas muy variados.

■ Ricardo S. Sánchez Peña

Director Departamento Investigación y Doctorado (ITBA), Inv. Superior (CONICET)

rsanchez@itba.edu.ar

¹ Editor asignado: Miguel Laborde

■ INICIOS

Mi padre, Miguel, pertenecía a la Fuerza Aérea, era ingeniero aeronáutico y primero de su camada. Estos últimos dos hechos marcaron bastante mi trayectoria profesional. La primera porque me enseñó, a lo largo de varios años, a desarmar, reparar y construir. La segunda porque me puso una vara alta que me hacía sentir en falta si no salía primero. Esto último, más allá del aspecto psicológico negativo, me ayudó a esforzarme y convertirme en un “transpirador de camisetas” a lo largo de mi carrera. Mi madre, Lolita, era profesora de Matemática en un colegio secundario y eso me permitió tener libros a mano que comenzaron a interesarme. Recuerdo sacarle el *Repetto*, *Linskens* y *Fesquet* a sus alumnos particulares de tercer año, cuando yo todavía estaba en la primaria, para tratar de resolver sus problemas.

De pequeño, luego de varias mudanzas nacionales, pasamos dos años en EE.UU. donde mi padre hizo un Master en Astronáutica en la Universidad de Michigan y fue compañero de los primeros astronautas de la NASA. Eso me permitió hablar inglés fluidamente, facilitando mi vida académica. De hecho en nuestro (primer) regreso a la Argentina en 1960, tuve que re-aprender el castellano.

Luego de una breve estadía en Buenos Aires pasé mi infancia en Córdoba, donde concurrí a un colegio bilingüe que cultivaba nuevas metodologías de enseñanza. Allí pude aprender el sistema binario y senario (base 6) en sexto grado. A la vez comencé a tomarle el gusto a la música, así que me enviaron a aprender guitarra y folklore. Esto permitió ejercitar mis dedos y afinar, para poder sacar “de oído” las canciones de los Beatles (no había in-

ternet en ese entonces, donde ahora se encuentran todos los cifrados). En esos años, casi los mejores de mi vida, me dediqué a leer ciencia ficción, algo de matemática, tocar la guitarra, trepar árboles y jugar lo más que pude. Mi afición por la investigación es muy probable que esté relacionada con esto último también, ya que siempre interpreté la resolución de problemas como un juego y un desafío.

■ LOS AÑOS DE ESTUDIO

Realicé el colegio secundario en los Liceos General Paz y General San Martín donde forjé unas pocas amistades que duraron el resto de mi vida. Allí además tuve algunas alegrías deportivas en atletismo: salto con garrocha, salto en largo y 100 metros llanos. Con la garrocha salí campeón intercolegial tres años seguidos, dos veces campeón inter-liceos y una vez campeón na-

cional. Luego durante quinto año, con varios compañeros preparamos el ingreso libre a la Facultad de Ingeniería de la UBA¹, y seis de nosotros entramos en abril de 1972 a Ingeniería Electromecánica orientación Electrónica.

En mis años de universidad pude compaginar la Facultad de Ingeniería con el Conservatorio de Música Juan José Castro. En el primero cursé matemática, física, electrónica y en el segundo guitarra clásica, audiodispersiva, armonía. Al finalizar el primer año de ambas carreras ya estaba decidido: me dedicaría a la música y abandonaría la Facultad. Como podrán imaginarse, con un padre ingeniero y una madre matemática pasé el verano de mis 18 años discutiendo intensamente. Finalmente me convencieron que siguiera hasta tercer año y después decidiera. Como ya se podrán imaginar, al finalizar tercer año me hicieron notar que ya había comple-

tado la mitad de la carrera, ¿por qué no terminarla?

Pude compaginar ambas carreras durante cinco años, que fueron de mucho estudio y de poco dormir. En la Facultad no me daban los tiempos para ir a las clases teóricas, de modo que asistía sólo a las prácticas y estudiaba de los libros y apuntes de cada materia. Simultáneamente, mi profesora de guitarra, Nelly Menotti (alumna de la famosa María Luisa Anido), me introdujo en el mundo de los conciertos e incluso propuso que fuera becado al exterior a perfeccionarme. Una de las enseñanzas que me quedaron de ella fue que mantenía mi curva de aprendizaje en un balance óptimo y positivo. Aclamaba o criticaba mi ejecución según yo estuviera deprimido o exaltado, respectivamente. Esto me permitía no estancarme y mantener siempre un sano impulso a seguir aprendiendo. Esta enseñanza la llevé al resto de los aspectos de mi vida. Además, sin

saberlo, ella aplicó el control automático sobre mi persona.

Ya en quinto año de ambas carreras, empecé a trabajar, me puse de novio y además apareció un problema en mi mano derecha, aparentemente por exceso de esfuerzo (tocaba de 3 a 4 horas diarias), aunque intuyo que fue más para aliviar mi conflicto interno. Todo esto hizo que dejara el Conservatorio para poder terminar Ingeniería. Terminé la carrera sólo para darle el gusto a mis padres, porque no me entusiasma mucho la idea de dedicarme a la tecnología. Además, conservaba la esperanza de continuar con la música y dedicarme a ella de forma profesional.

■ PRIMEROS TRABAJOS

Tuve mi primer trabajo en CITEFA (CITEDEF actualmente) en el área de Microelectrónica, donde me dediqué a temas de confiabilidad en



Figura 1: En la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales, Centro Espacial San Miguel, 1981. El 4to. de la izquierda es el Ing. Pedro E. Zadunaisky, al centro mi padre Miguel, 6to y 9no. desde la derecha, el autor (sin corbata) y el conocido matemático y divulgador científico Leonardo Moledo, gran amigo en esa época, respectivamente.

semiconductores y circuitos híbridos nacionales. Me daba cierto orgullo trabajar en dispositivos creados en el país, lo cual también marcó mi postura frente a desarrollos que realicé a lo largo de mi carrera. Luego de dos años allí, fui invitado por Miguel Guerrero, recientemente llegado de MIT donde completó un Master, a formar parte junto con mi amigo y compañero de estudios Ricardo Pantazis, de su equipo en la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE). La CNIE fue creada dos años luego del inicio de NASA y fue precursora de lo que fue la actividad espacial en Argentina (De León, 2015). En la década del '60 ya se hacían lanzamiento de cohetes y globos con la CNES y la NASA. En los 80's, su maestría en Tecnología Espacial con UTN formó a los ingenieros que desarrollarían los futuros emprendimientos de CONAE. El proyecto satelital SAC-1 con el IAFE fue el precursor de la serie de satélites SAC-A al D, que CONAE puso en órbita a partir de los 90. De allí surgió el querido Mario Gulich que luego pasó a CONAE. Debo aclarar que mi padre en ese momento era presidente de la CNIE, lo cual me ponía en una situación incómoda, al menos a mí. Con el tiempo, evitando el contacto laboral, y demostrando que mi trabajo era tan valioso como el de cualquiera, esta incomodidad se fue diluyendo.

Entre otras tareas, en esa época montamos el primer y más grande laboratorio de ensayos de sensores inerciales, giróscopos y acelerómetros, de uso espacial en Latinoamérica. En ese momento la navegación sólo usaba sensores inerciales, el sistema GPS estaba en sus albores. Usando las estrellas y un teodolito medimos las coordenadas del laboratorio en el techo del mismo, que luego pudimos repetir con uno de los primeros GPS del tamaño de un cajón de vinos. Este laboratorio se

siguió utilizando en la CONAE en años posteriores.

Estando en la CNIE tuve dos circunstancias que marcaron mi futuro. Una de ellas fue trabajar junto al Ing. Pedro Zadunaisky, que fue mi mentor durante esos años y me inculcó el placer por la aplicación de la matemática a diversos problemas, Mecánica Celeste y sensores inerciales en ese entonces. También me dejó grandes enseñanzas en mi vida como docente. Decía que *en la relación docente-alumno, el más importante es el alumno, pero el que más aprende es el docente*. Es así que algunas veces, para aprender un tema en particular, yo dictaba un curso sobre el mismo de modo de generarme una mayor presión que me obligara a estudiarlo con más profundidad. Mi relación con Pedro² fue muy cercana, aprendí mucho de él, particularmente como ser humano. Escribimos juntos mi primera publicación en una revista, me recomendó para una beca de CONICET y me ayudó enormemente para iniciar mi carrera como investigador. Por sobre todo, me reconcilié con la idea que tenía de la ingeniería ya que com-

prendí que se podían realizar tareas creativas también allí.

La otra circunstancia fueron dos viajes a instituciones del exterior. Uno para trabajar en la agencia espacial alemana, el DFVLR en ese entonces (hoy DLR) durante cuatro meses donde colaboré en la implementación del sistema de control de un cohete de sondeo creado por el grupo MORABA³, que portaba un experimento de la Universidad de Berlín. La otra fue un curso intensivo (6 horas diarias) en Francia en la empresa ADERSA-GERBIOS dirigido por el Dr. J. Richalet que me sumergió en los sistemas dinámicos, la simulación, la identificación de sistemas y el control. Este último viaje fue en 1982, durante la guerra de Malvinas y a través de la BBC de Londres nos enterábamos de lo que realmente estaba ocurriendo.

Ambos viajes acrecentaron mi deseo de querer conectar los conocimientos teóricos con las realizaciones experimentales y de formarme. Además pude comprender que podía dedicarme a tareas creativas en el futuro y que para avanzar por



Figura 2: Fotografía tomada en junio de 2009 del autor con su mentor, el Ing. Pedro E. Zadunaisky (izquierda) en ocasión de la finalización de su último libro.

ese camino debía darme una inyección de conocimientos y de manera organizada. A mi regreso tomé la decisión de realizar un Master y posiblemente un doctorado en el exterior.

■ MIS AÑOS EN PASADENA

Desde que me presenté a universidades de EE.UU. y a becas para costear mis estudios, hasta que me aceptaron en el Instituto Tecnológico de California (CalTech) y me otorgaron una beca de OEA, pasó un año. En ese momento eran cartas de ida y vuelta, no había internet y todo llevaba mucho más tiempo. Rendí el TOEFL y el GRE para ingresar y recuerdo que salí del último examen el día que asumió Alfonsín y comenzábamos nuestro periodo democrático. Nueve meses más tarde partí rumbo a California y cuatro meses más tarde se unía mi hijo Pablo y mi pareja de ese entonces. Allí tuvimos la alegría de que naciera nuestra hija Lucila, una auténtica rubia californiana.

En mis casi 4 años en CalTech desarrollé una intensa actividad, pudiendo completar el Master en un año, lo que implicó cursar y aprobar 15 materias, más de la mitad en Matemática aplicada. Fue una enorme inyección de conocimientos. Dado que siempre consideré que la "inteligencia" consistía en el esfuerzo (horas-silla) más que en la inspiración, ese año me demandó un trabajo de aproximadamente 100 horas semanales, nuevamente dormir poco y "transpirar la camiseta". Dos días antes de dar mi último examen del Master, nació Lucila y fue una de las mayores alegrías de mi vida.

Tuve el honor y el placer de tener de profesor a Richard Feynman, además de aprender lo que sería mi futura área de trabajo, el Control Robusto, con las máximas eminencias en ese tema, los profesores John Doyle y Manfred Morari. El PhD me demandó 2 años y 9 meses más.

La financiación para los dos primeros años fue con una beca de OEA de un año, extendida a un

segundo. Luego obtuve una beca externa de CONICET por dos años que me pagaba un buen estipendio para vivir, pero al que tuve que sumarle un *Teaching Assistant* que me solventaba el pago de la universidad (*tuition*). Exponerme a la presión de estudiar en una de las mejores instituciones de EE.UU. representó un antes y un después en mi carrera. En ese lugar no se descansaba nunca, los laboratorios estaban abiertos día y noche. Allí conocí a eminentes profesores de distintos países del mundo y a compañeros de estudio brillantes. Era realmente empezar a jugar en primera y me sirvió además para empezar a tomarme en serio, ya que siempre fui bastante autocrítico. En cuanto al trabajo de investigación, realicé algunas tareas preliminares con dos de mis profesores. Uno fue un problema que combinaba sistemas dinámicos de tiempo discreto y continuo y el segundo, el control de manipuladores robóticos con el Prof. Manfred Morari, dentro de un proyecto para rescate y puesta en órbita de satélites desde el Transbordador espacial, con NASA-JPL.

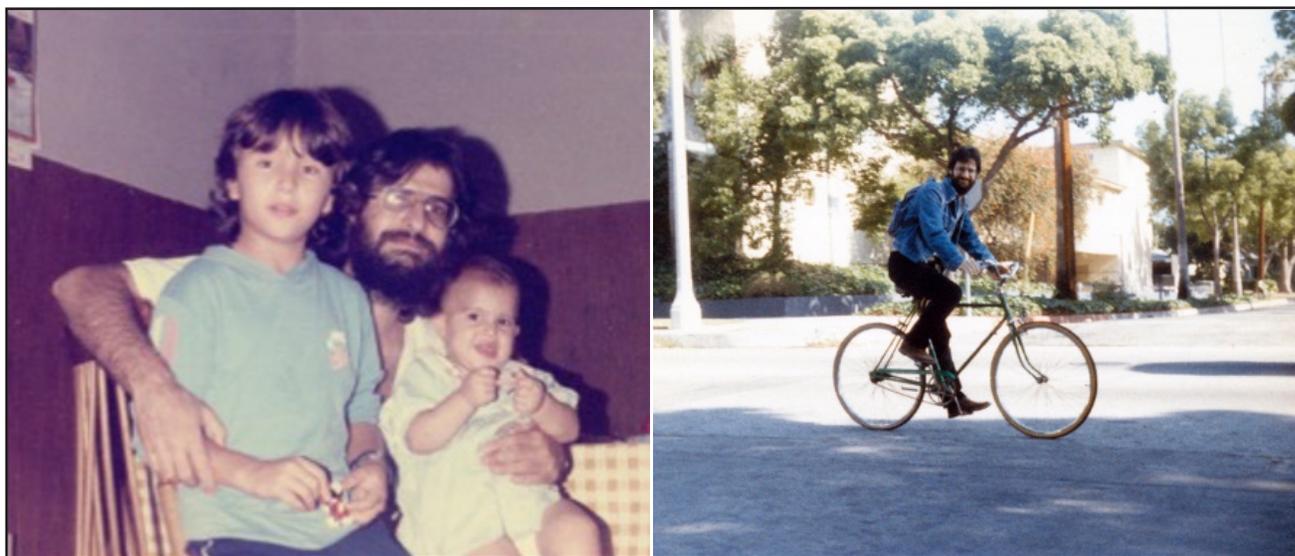


Figura 3: Año 1986, a la izquierda con mis hijos Pablo y Lucila (hoy 44 y 36) y a la derecha en Pasadena de camino a CalTech.

Finalmente mi tesis, guiada por mi director el Prof. Athanasios Sideris, consistió en la resolución de un problema matemático aplicado a la teoría de control robusto: la combinación de incertidumbres dinámicas y paramétricas para el análisis de controladores robustos. Allí tuve la oportunidad de aplicar estos resultados a un proyecto conjunto de NASA-Dryden y CalTech: el avión experimental X29, al que pude ver de cerca en la base de pruebas, a pesar de las restricciones por ser extranjero. La combinación de matemática, algoritmos y experimentos ya aparecía en esta etapa inicial de mi carrera. Poco antes de defender mi tesis doctoral me presenté para entrar a la carrera de CONICET, ya que me permitiría dedicarme enteramente a la investigación a mi regreso a la Argentina.

■ REGRESO A LA ARGENTINA – PARTE 1 (1988-2004)

Mi regreso a la Argentina, luego de completar un doctorado en CalTech no fue lo que se esperaba. La ciencia y la tecnología no eran consideradas importantes, como

lo son actualmente. El ingreso a la carrera de CONICET llevó más de 3 años, yo mientras trabajaba en lo que quedaba de la CNIE en la sede de San Miguel. Luego de más de un año pude ingresar a la CNEA, con la ayuda de Roberto Perazzo (<https://aargentinapciencias.org/publicaciones/revista-resenas/resenas-tomo-3-no-1-2015/>) que era miembro de su Directorio y también a la Facultad de Ingeniería de la UBA (FIUBA), intuía que con la ayuda de Carlos Godfrid. También tuve dos ofertas privadas, la primera para trabajar en mi rol de ingeniero en electrónica en un proyecto de telefonía. La otra de una empresa sudafricana que fabricaba misiles, para dictarles un curso de control robusto. Rechacé ambas, a pesar de los abultados sueldos que ofrecían. La primera ya que me quería dedicar a la investigación, más aún después de haber vivido mi experiencia en CalTech. La segunda porque no hubiera podido dormir sabiendo que los frutos de lo que aprendí durante mi doctorado serían utilizados para fines bélicos.

Antes de entrar en CNEA y en FIUBA y de explicar en infinidad

de ocasiones por qué había vuelto al país, sufrí la hiperinflación de febrero de 1989 que licuó gran parte de lo poco que habíamos podido ahorrar en EE.UU. Parecía que la lógica indicaba que debía regresar a EE.UU., cosa que por supuesto no hice ya que mis mudanzas siempre estuvieron más bien basadas en las emociones y los afectos. A pesar de todo, una vez ingresado al Centro de Cómputo Científico de la CNEA (Constituyentes) y al Departamento de Electrónica de la FIUBA, las cosas fueron mejorando lentamente. El grupo de trabajo en CNEA era excelente, ya que combinaba matemáticos, informáticos e ingenieros. Realicé bastante trabajo teórico y algorítmico en temas de robótica, estructuras flexibles y hasta alguna idea para el control de la planta de agua pesada. Hice colaboraciones con el *Interdisciplinary Center for Applied Mathematics* (ICAM) en *Virginia Tech* donde incluso pude realizar una estadía corta. Fueron cinco años excelentes, más allá de los salarios, ya que pude combinar ambas actividades, investigación y docencia. En esta última pude proponer trabajos de tesis a mis alumnos relacionados con mis actividades en CNEA. En la FIUBA organicé dos cursos de control y con ellos escribí mi primer libro, un parto que me llevó 9 meses exactos. Fue el primero en castellano sobre ese tema y lo presenté a un concurso que organizó por primera vez AADECA⁴ sobre un libro de control automático. Ganó el primer premio y recuerdo muy vívidamente que me fue otorgado en la sede de AADECA por el Dr. Manuel Sadosky, un momento muy emotivo para mí.

A partir de 1992, algunos colegas con los que había trabajado en la CNIE me invitaron a colaborar como consultor en el desarrollo del satélite SAC-B, simultáneamente a la creación de la CONAE, en ese momento ubicado en las Av. Dorrego y



Figura 4: El avión experimental X29, proyecto de NASA-Dryden con CalTech y ejemplo de aplicación de mi tesis doctoral (Wikipedia).

Alcorta. Estuve dos años colaborando con ellos, trabajando en la CNEA y dictando clases en la FIUBA. En CNEA se iniciaron planes de retiros voluntarios y parte del grupo se fue disolviendo. Finalmente en 1994 renuncié a CNEA y pasé a tiempo completo a la CONAE, que en ese momento se mudó a la Av. Paseo Colón, enfrente de la FIUBA. Fue un alivio tener mis dos trabajos sólo cruzando una avenida, luego de deambular por tres lugares distintos de Buenos Aires en transporte público.

■ CONAE Y FIUBA

Uno de los casos más representativos con los que me topé en CONAE -y que demuestra que la realidad genera problemas teóricos interesantes- fue el problema “de las 6 toberas”. Para controlar la orientación de un vehículo espacial (satélite, cohete) en tres dimensiones con toberas de gas, hacen falta, al menos, 4. Una vez puesto en órbita la falla de cualquiera de ellas anula la misión, por eso se usa el criterio de que todo funcione con al menos una falla en cualquier dispositivo. La solución que adopta NASA y las agencias del resto del mundo es colocar 2 grupos de 4 toberas: 8 en total. Dado que nuestros presupuestos no eran los de NASA y que cada tobera para uso espacial costaba más de 50 mil dólares, me pregunté si ese era el mínimo número para resolver el problema de orientación con una posible falla. La solución resultó ser un problema de álgebra lineal, que pudimos resolver con un lema y un teorema (Sánchez Peña y col., 2000). Esto no era sólo un tema teórico que nadie se había planteado anteriormente sino que tenía un valor real para nosotros: ahorrábamos dos toberas que costaban mucho dinero. Además dio cuenta de lo importante que es poder “traducir” al lenguaje de la matemática los problemas de

la realidad. Esta solución luego se utilizó en una prueba de control de orientación de cohetes en un convenio con Brasil (proyecto VS30), donde la etapa argentina realizaba la navegación y el control y portaba sólo 6 toberas. Este experimento, que se concretó en 2007, fue precursor del proyecto de lanzadores argentinos que actualmente tenemos (VEX, Tronador) y de la creación de la empresa VENG. Asimismo, en una etapa posterior de mi carrera en la que trabajé con vehículos aéreos no-tripulados, más conocidos como UAVs o drones, pudimos extender esta solución al uso de motores en hexacópteros (Giribet y col., 2016).

En la CONAE también participé del diseño del sistema de control del SAC-B, A y C (ese fue el orden de los lanzamientos). Fui evaluador del proyecto SAC-D junto con Ana Hernández, lo que nos valió un premio de NASA (ver Premios y Reconocimientos).

Otro problema interesante que desarrollé en esa época con estudiantes de la carrera de Electrónica de la FIUBA y la ayuda de Gustavo Fano, fue el nano-satélite MSU-1. Este pesaba poco más de 1 Kg y debía ser puesto en órbita con el formato de los CUBESat. Tenía como particularidad que su control de orientación estaba basado sólo en fuerzas naturales: el gradiente gravitatorio, el campo magnético terrestre y el (escaso) rozamiento de una órbita baja, diseñando adecuadamente su forma aerodinámica y matriz de inercia. La financiación para la construcción y el lanzamiento fueron aportados por el Rectorado de la UBA. Estos fondos, que estaban en dólares y cubrían la construcción y el lanzamiento, fueron depositados en octubre de 2001 en un banco y 2 meses más tarde congelados por el “corralito”. Este proyecto nunca se pudo concretar pero fue un

precursor de este tipo de tecnologías ya que doce años más tarde se lanzó el primer CUBESat argentino en órbita denominado el **Capitán Beto** (en referencia al tema de Luis A. Spinetta) [https://es.wikipedia.org/wiki/Capit%C3%A1n_Beto_\(nanosat%C3%A9lite\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Capit%C3%A1n_Beto_(nanosat%C3%A9lite))

Pasé del área de satélites al de lanzadores un día después de que Carlos Menem dijera que pondríamos un cohete que nos llevaría a Japón en hora y media. El presidente de CONAE en ese entonces, Conrado Varotto (<https://aargentinapciencias.org/publicaciones/revista-resenas/resenas-tomo-7-no-3-2019/>), me llamó a su oficina y me encomendó que desarrolláramos un cohete lanzador de satélites. En esos últimos años en CONAE me dediqué junto con mi amigo Daniel Caruso a desarrollar el área de lanzadores o más bien llamados “vehículos espaciales de nueva generación”, que dieron lugar a la creación de la empresa VENG. En mi caso, me centré en el sistema de navegación, guiado y control del lanzador. Llegué a la conclusión que debíamos desarrollar los sensores inerciales, giróscopos y acelerómetros y el GPS de uso espacial dentro del país. Esto se debía a que por restricciones internacionales no nos vendían estos dispositivos porque coincidían con los que se usaban para misiles. Extrañamente en esos años, Argentina fue admitida al MTCR (*Missile Technology Control Regime*), un grupo de treinta países que regulaban las exportaciones de material de uso dual. Participé como representante argentino durante cuatro años (2000-2003) y pude observar como aun así nos limitaban la venta de estos sensores, por temas políticos según me comentaron *off the record*. Es así que con distintas instituciones nacionales y con la conducción de Roberto Yasielski y “Beto” Alonso, desarrollamos acelerómetros con el IUA (Córdoba), gi-

róscopos de fibra óptica con el CIOP (UNLP-CONICET) y un GPS que nos permitiera volar a gran altura con el LEICI (UNLP). Estos desarrollos nacionales fueron probados en vuelo como cargas tecnológicas en misiones satelitales de CONAE.

Fueron épocas complicadas para la Ciencia y la Tecnología, después de que un ministro de economía nos enviara a “lavar los platos” en 1994. Sin embargo, también se creó en 1996 la Agencia Nacional de Promoción de la Ciencia y la Tecnología (ANPCyT) como ente financiador de proyectos de investigación, a partir de la iniciativa de Juan Carlos Del Bello (<https://ar-gerentinapciencias.org/wp-content/uploads/2021/03/02-RESENA-Del-Bello-CelResenasT9N1-2021.pdf>), recientemente fallecido. También fue fundamental el programa de incentivos a docentes-investigadores en 1993, para promover la actividad científica en las universidades. Fui beneficiario de estos cambios, especialmente de los subsidios PICT. Me permitió pasar de mi etapa de “matemático aplicado” a la de “ciencias de la ingeniería”. Pude comprar los

primeros equipamientos y comenzar una etapa más experimental, plasmando muchas de las ideas que tenía en papel y en simulaciones. Fui beneficiario de dos PICT en 1997 y 1999 que me permitieron llevar a la práctica algunas ideas. Me pareció excelente que la ANPCyT, así como el NSF en EEUU, otorgara exactamente el dinero que había prometido, en los plazos acordados y que además evaluara los resultados seriamente. En años posteriores, ya como evaluador de proyectos de la ANPCyT, observé además cómo los procesos de otorgamiento de los proyectos pasaban por filtros estrictos que sólo tenían en cuenta la calidad de los mismos.

Por supuesto, en esa época también tuve mi correlato musical, ya que comencé nuevamente a tomar clases de guitarra, esta vez de blues/rock. Incluso armamos una banda (67bis) que tocó varias veces en bares de San Telmo (cercanos a FIUBA y CONAE donde trabajaba) y en un Centro Cultural en diciembre de 2001, ya cercanos a la crisis que afectaría a nuestro país.

■ MIS AÑOS EN CATALUNYA

Luego de los eventos del 2001, empecé a pensar en radicarme en el exterior nuevamente, más pensando en el futuro de mis hijos que en el mío, ya que tenía una buena posición en CONAE y FIUBA. Me contacté con colegas españoles: Pedro Albertos de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) me invitó a dictar un curso allí y ser jurado de una tesis doctoral; Sebastián Dormido y Joseba Quevedo me invitaron a dar charlas en Madrid y Barcelona, respectivamente. Esto me permitió evaluar mejor, desde España, mis posibilidades. Finalmente me presenté y obtuve (con puntaje 100/100) una Beca Ramón y Cajal (RyC) para trabajar en el 2004 en el grupo de Sistemas Avanzados de Control (SAC) de la *Universitat Politècnica de Catalunya* (UPC), en Terrassa en las afueras de Barcelona.

Por ese entonces se abría el *Institut Català de Recerca i Estudis Avançats* (ICREA) que convocaba a científicos de todo el mundo a trabajar en Catalunya (<https://www.icrea.cat/es/quienes-somos>). Era una especie de CONICET internacional con fondos privados y de la Generalitat de Catalunya que admitía sólo investigadores Senior y que cerró sus ingresos al llegar a 300 investigadores, con sólo 5 empleados administrativos. Al año siguiente me presenté a ICREA y obtuve una posición de Profesor de Investigación. En la UPC éramos sólo dos investigadores ICREA en ese entonces. Era una posición muy codiciada, ya que además los sueldos eran mucho mejores que los de la Beca RyC, incluso por arriba de los catedráticos (equivalente a Profesor Titular) de UPC. Con los años, ICREA fue incrementando sus estándares y obtuvo más de la mitad de los fondos europeos para proyectos de investigación de Catalunya con una visibilidad internacional



Figura 5: Presentación de la banda **67bis** en un Centro Cultural de CABA en diciembre de 2001.

enorme a través de sus publicaciones (<https://memoir.icrea.cat/2019/wp-content/uploads/2020/05/icreamemoir-2019-web-1.pdf>). De regreso en Argentina y entre 2011 a 2014 fui convocado como evaluador de ingresos de ICREA en el área de Tecnología, donde ingresaban menos del 9% de los postulantes. Una suerte haber estado allí entre 2005 y 2009, ya que de haber querido ingresar más adelante no hubiera podido.

El grupo SAC estaba formado por unos 20 docentes investigadores y me recibió con los brazos abiertos. Fueron cinco años muy buenos, desde lo académico y desde lo humano, de mucha hospitalidad y donde pude hacer varios amigos que perduran hasta el día de hoy. Incluso los fines de año íbamos a Andorra por un fin de semana donde compartíamos el esquí, charlas distendidas y hasta un Karaoke, una forma de integración, más allá de lo académico.

Cuando llegué, los directores del grupo, Joseba Quevedo y Vicenç Puig me indicaron que tenían un problema de control activo de ruido acústico que no habían podido encarar y resolver y me pidieron si podía estudiarlo. Por otro lado, luego de mi experiencia en la CONAE, me di cuenta que el futuro estaba en los vehículos aéreos no tripulados (UAV o drones), tanto por la falta de costos de lanzamiento como por relajar las condiciones de confiabilidad y costo de los componentes y es así que empecé con ese tema también. Finalmente, Vicenç me pidió si podía ayudarlo en el control de canales y co-dirigir a una de sus estudiantes doctorales. Finalmente, en 2007 vino a trabajar conmigo con una beca posdoc un exalumno, Fernando Bianchi, especialista en temas eólicos. A raíz de esto obtuvimos un contrato por un año para resolver temas de control de gene-

radores eólicos en la empresa Ecoltecnica-Alstom. Ya con cuatro temas de aplicación, más algún que otro tema teórico/computacional que trabajaba con mi amigo Mario Sznaier de *Northeastern University* (EE.UU.) tenía el tiempo bastante ocupado.

Debo confesar que, después de mi experiencia de trabajo intenso en CalTech, tenía la esperanza de que en España podría balancear mejor mi vida profesional y privada, dedicándole más tiempo a esta última. Claramente me equivoqué y me di cuenta que el eje del problema de la falta de balance era yo.

En cuanto al control de ruido acústico lo dividí en dos casos, uno más sencillo que se aplicaba a tubos de aire acondicionado, que tenían un modelo dinámico invariante en el tiempo. El otro a modelos variantes en el tiempo, que se aplicó a cascos de motociclismo, ya que había surgido recientemente una norma europea que limitaba los niveles de ruido para motociclistas profesionales y que no se cumplía en los cascos comerciales. En ambos casos tomé estudiantes de doctorado y

además obtuve dos proyectos CICYT (los equivalentes a nuestros PICT pero con mucho más fondos y en euros), que me permitieron comprar equipamiento para mis múltiples proyectos.

Para esa época además, luego de una conversación con mis colegas sobre si valía la pena escribir otro libro más de control automático, me surgió nuevamente mi *leitmotiv* de acercar la teoría a las aplicaciones. Es así que me contacté con la editorial Springer (Londres) e invité a colegas de todo el mundo a escribir capítulos con un formato de cuatro secciones bien definidas. En la primera se planteaba el problema, en la segunda el *setup* experimental, en la tercera la solución en base a simulaciones y experimentos. En la cuarta, que era la más importante, se describía qué le faltaba a la teoría para poder aplicarse a resolver el problema de forma experimental. Esto era fundamental para los investigadores, ya que ponía de relieve temas útiles (e interesantes) en donde enfocar los esfuerzos. Los 10 capítulos trataron, dentro del área de Identificación y Control, las apli-



Figura 6: Como invitado en un concierto de *Amaltea* en las afueras de Barcelona en 2008. De derecha a izquierda, Albert Masip y el autor.

■ CONSULTORÍAS

caciones más diversas y el libro salió publicado (Sánchez Peña y col., 2007) con la ayuda de mis colegas Joseba y Vicenç y con un prólogo de Karl Aström. Estoy orgulloso de este libro porque refleja la búsqueda que he tenido a lo largo de mi carrera.

En cuanto a mi relación con la música en esos años, pude tocar como guitarrista invitado en varias ocasiones con los grupos de música celta *Amaltea* y *Encanteri*, por invitación de uno de los profesores del grupo, líder de ambos grupos y gran amigo, Albert Masip, en distintos pueblos cercanos a Barcelona.

Una de las tareas más enriquecedoras de mi carrera fue la de asesorar a empresas, ya que podía aplicar mis conocimientos “teóricos” a problemas muy concretos. Desde el año 2005 al 2008 y luego en 2016 me contactó una empresa de EE.UU., radicada en Arizona, ZonaTech, a instancias de mi primer doctorando, el ahora Dr. Darío Baldelli. Esta PyME se dedicaba a su vez a asesorar a empresas e instituciones más grandes, e.g. NASA, sobre temas aeronáuticos. Allí pude colaborar en el control de aviones experimentales

como el de ala variable y problemas aero-elásticos, entre otros temas (Baldelli y col., 2008).

En Barcelona durante el 2008 y 2009, y antes de regresar al país con el Plan de repatriación, tuve un contrato con la empresa de energía eólica Alstom-ecotecnia que me permitió aplicar el control robusto al control de generadores eólicos.

Al poco tiempo de regresar a la Argentina en 2009, la empresa STI radicada en Córdoba me extendió un contrato de 6 meses para consultarme sobre los sistemas de control



Figura 7: Visitas del autor a Zona Technology en 2007, 2008 y 2016 junto a ingenieros de la firma. Foto de arriba-izquierda, al centro el Dr. Darío Baldelli. Foto abajo-izquierda, desde la izquierda el presidente y vicepresidente de la empresa, respectivamente. De todos ellos sólo uno era estadounidense.

de orientación y órbita de la serie de satélites SARE, que además serían lanzados por los cohetes argentinos Tronador II y III.

■ REGRESO A LA ARGENTINA – PARTE 2 (2009) -

Roberto Perazzo y Rafael García, radicados en el ITBA, fueron esenciales en mi regreso, ya que presentaron los papeles para mi repatriación. Esa iniciativa del gobierno de los Kirchner fue mi tercer regreso al país, y por lejos el mejor de todos. Proveía fondos para mi mudanza desde España, pasaje, fondos para un proyecto de tres años con tres becas de doctorado para incorporar estudiantes. Incluso hubiera pagado por los primeros cuatro años de mi sueldo de no ser porque ingresé como investigador a CONICET en 2009. Allí acepté mi primer cargo de gestión (que venía evitando reuientemente desde mis inicios): Director del Doctorado en Ingeniería, cuyo proyecto tuve que presentar a CONEAU a los 20 días de ingresar al ITBA.

Ya radicado en el país comencé a trabajar en el ITBA en diversos temas, siempre buscando aplicar la teoría más reciente a la resolución de problemas. El hecho de contar con fondos de un PICT y tres becas doctorales fue fundamental para jugar varias partidas en simultáneo con la enorme colaboración de los doctorandos. Es así como continué los trabajos que traía de la UPC en el área de control de ruido acústico en cascos de motociclismo y en el control de UAVs. En este último caso, utilizamos cuadrotoros y hexacópteros y ampliamos el foco al control de formaciones de varios de ellos, con un subsidio de EE.UU. Asimismo, inicié dos temas nuevos, uno de modelado en la propagación del Mal de Chagas (que no pudo finalizarse), y otro con un doctoran-

do del INTI sobre control aplicado a los comparadores criogénicos de corriente, utilizando el efecto Hall cuántico. El proyecto principal y que involucró la mayor parte del tiempo fue el del Páncreas Artificial, que detallaré en la próxima sección.

Para no perder mi afición a la música, al poco tiempo de regresar tomé un año de clases de “slide”⁵ en el Collegium Musicum, para aprender una técnica característica del blues.

■ PÁNCREAS ARTIFICIAL

Desde mi regreso de España venía pensando en dedicarme a aplicaciones biomédicas. Luego de escuchar una sesión plenaria de un ex-alumno de CalTech, Frank Doyle, sobre el control de la glucosa en sangre para diabéticos tipo 1 (insulino-dependientes), más conocida como diabetes juvenil, me pareció que había espacio para hacer algún aporte. Más aún, Roberto Perazzo me comentó que su nieto Benjamín de 3 años era insulino-dependiente y ese hecho me terminó de decidir. A partir de 2010 empecé a trabajar en el tema, que era básicamente un problema de control automático, que normalmente resuelve el organismo sano, pero que en el caso de los insulino-dependientes lo debe resolver un sistema de control externo.

Al principio y gracias a mi contacto con Frank, pudimos empezar a colaborar con su grupo radicado en la Universidad de California, Santa Bárbara. Pude enviar a uno de mis doctorandos a trabajar allí dos meses y probar con el simulador de 300 pacientes (que no estaba a la venta) nuestros algoritmos de control.

Más allá de la teoría, hubo innumerables escollos que superaron el problema de control. Primero con-

vencer a los médicos de que esto era una excelente idea para estos pacientes, ya que no tomaban muy en serio que ingenieros (por más doctores que fuéramos) trataran esta enfermedad. Luego de dos años, uno de ellos me comentó una noticia de prensa sobre el Páncreas artificial que estaba desarrollando un grupo de un tal Frank Doyle. Le dije que ya hacía dos años que colaborábamos con ellos y ahí me creyeron. Yo a esto lo llamé el síndrome de “triunfó en el exterior”, lo que se hace en Argentina no es tomado en serio, pero producido en EE.UU. o la UE, está bien.

Hubo innumerables peripecias para pasar de las simulaciones a las pruebas en pacientes: conseguir fondos, armar un equipo con el grupo de la UNLP de Garelli y De Battista que ya venían trabajando con España, integrar a un equipo de médicos del Hospital Italiano, aprobaciones del Comité de Ética y de ANMAT, etc. Luego comenzamos a colaborar también con otro de los grupos que están a la cabeza en este tema: el de Kovatchev en la Universidad de Virginia. Allí conocimos a un médico argentino, Daniel Chernavvsky que ayudó muchísimo para que podamos realizar pruebas en Argentina. Coordinado desde ITBA, conseguí financiación de las Fundaciones Nuria (Argentina) y Cellex (España). Es así como en 2016 y 2017 realizamos las primeras pruebas clínicas en Latinoamérica con 5 pacientes durante 36 horas. La segunda de ellas con un algoritmo de control desarrollado por nosotros, el **ARG** (*Automatic Regulation of Glucose*), siglas cuidadosamente seleccionadas. En ambas utilizamos un dispositivo que nos prestó la Universidad de Virginia, el DiAs (*Diabetes Assistant*) que permitía alojar nuestro algoritmo en un celular y conectar con la bomba de insulina y el monitor de glucosa vía Bluetooth.

Por supuesto, además de la esperanza que se abrió para los casi 400 mil insulino-dependientes en Argentina por el éxito que tuvieron las pruebas y los *papers* publicados (Sánchez Peña y col., 2018), surgió una enorme difusión en la prensa local y regional. Sin embargo, uno de los hechos que más me impactó de este proyecto fue la relación con los pacientes. Los médicos están acostumbrados a recibir el agradecimiento de los pacientes, pero los ingenieros no. Me resultó muy emocionante como los pacientes estaban no sólo entusiasmados durante la prueba clínica sino sumamente agradecidos. Para ellos fueron unas vacaciones de su enfermedad en la que no tuvieron que hacer prácticamente nada: ni medirse la glucosa, ni los cálculos de carbohidratos ingeridos y de la insulina a inyectar, ni despertarse de noche. No lo podían creer, de hecho querían que la prueba clínica no terminara.

Como parte de nuestros “15 minutos de éxito” hubo notas en TV, radio, primera plana de diarios y notas en revistas no científicas. Esto llamó la atención de la presidencia y recuerdo que durante un viernes en que estaba reunido en la ANCFEN⁶, me llaman de CONICET para preguntarme que compromisos tenía el martes siguiente ya que me llamaban de Casa Rosada. Yo me quedé pensando en cómo venía mi agenda y cuando del otro lado de la línea sintieron que yo dudaba me dijeron de forma tajante: “te quiere ver el presidente, ¿qué tenés que pensar?”.

Debo confesar que ese fin de semana me la pasé debatiendo qué hacer, ya que fui (y sigo siendo) muy crítico del gobierno de Mauricio Macri y en particular en lo que respecta al tratamiento que se dio a la Ciencia, Tecnología y a la Salud (ambos ministerios pasaron a secretarías). La verdad es que no me

agradaba la idea pero, por otro lado, existía la posibilidad que esto le diera un impulso al proyecto y que en consecuencia pudiéramos conseguir fondos para poder continuar las pruebas de modo de desembocar en un prototipo. Mi esperanza y la del equipo también era que se pudiera producir en el país y distribuirlo de forma gratuita o a muy bajo costo a los insulino-dependientes, de forma similar a como se les entregan tiras reactivas o insulina.

Asistí a la invitación e incluí a una de nuestras pacientes, Silvia Crespo, y al médico a cargo del equipo del Hospital Italiano, Luis Grosembacher. Estuve muy tenso durante toda la reunión que duró más de media hora, pero logré indicarles a él y al Viceministro del Min-CyT los fondos y el tiempo necesario para poder contar con un prototipo aprobado por ANMAT y que pudiera fabricarse localmente. El Presidente le indicó al Viceministro que había que apoyar este proyecto y que tomara cartas en el asunto. Foto para la prensa y fin del encuentro.

Como yo ya había imaginado, el Viceministro me pasó a un empleado de menor rango del ministerio y así sucesivamente. El “apoyo” consistió en pagarle a una empresa que trabajaría con nosotros para convertir esto en un dispositivo comercial. Luego de varias reuniones me di cuenta que en el Ministerio no entendían lo que era un proyecto de investigación y los pasos para convertirlo en un producto. Menos aún parecían acordar con socializarlo al grupo de diabéticos insulino-dependientes. Me quedó la impresión que aquí sólo veían un negocio redituable. Finalmente desistí, seguimos con el proyecto como veníamos y buscando otras fuentes de financiación. Esto fue un ejemplo representativo del tratamiento de la Ciencia y la Tecnología durante ese gobierno:



Figura 8: Tapa de Clarín (15/11/2017) en ocasión de la primera prueba clínica en Latinoamérica con un Páncreas Artificial y un algoritmo (ARG) desarrollado en el país, para el Día Mundial de la Diabetes.

prometer, no cumplir y sacarse la foto diciendo que se la apoya.

Actualmente (2021) realizamos la tercera prueba clínica en un ambiente ambulatorio y durante seis días con este mismo algoritmo y un nuevo dispositivo, desarrollado en la UNLP, que reemplaza al DiAs y que se llama **InsuMate**. El próximo paso, financiación mediante, será probar en más de 30 pacientes, al menos un par de meses en sus hogares durante su vida cotidiana.

Paralelamente durante esos años, pudimos armar una banda de rock/blues con colegas/amigos del ITBA y de la FIUBA, casi todos investigadores y becarios de CONICET, salvo mi hija Lucila que era la cantante. Tocamos en la fiesta de fin de año del ITBA en 2016 bajo un nombre característico de la profesión: *The Deadlines*.

■ MÁS APLICACIONES

A partir de 2014, amplié las aplicaciones al área de energía no convencional, mediante el control de celdas de H₂ y de electrolizadores, con experimentos realizados en España y Argentina respectivamente. Este proyecto se realiza con un colega (y amigo) de la UPC en España, el Dr. Ocampo-Martínez y un becario de CONICET a punto de obtener el primer doctorado de doble titulación del ITBA con la UPC.

Para ese entonces no quería tomar nuevas aplicaciones, ya que había extendido demasiado el rango de las mismas (tenía trabajos en ocho revistas diferentes de teoría y aplicaciones de IEEE⁷). Sin embargo, cuando un ex-compañero del colegio secundario de mi hijo Pablo, ahora investigador de CONICET en el área de neurobiología, Joaquín Piriz, me contactó, acepté casi sin

dudarlo⁸. Me propuso aplicar control automático sobre grupos de neuronas del cerebro, probando con ratas y utilizando una técnica nueva denominada optogenética. Actualmente armamos un equipo de investigadores y becarios de CONICET y ANPCyT provenientes de la ingeniería y la neurobiología para desarrollar estos temas, con la ayuda de un PICT.

Finalmente, ya en épocas de pandemia y antes de la aparición de las vacunas, parecía que el único remedio para el control de la enfermedad era la regulación, tanto en duración como en intensidad, de las cuarentenas. Resultó por lo tanto una aplicación sumamente útil de la teoría de control, la regulación de los tiempos y niveles de cuarentena, con miras a reducir la ocupación de camas de terapia intensiva y en consecuencia de muertes. Es así que nos pusimos a trabajar con colegas de



Figura 9: Foto en ocasión de la fiesta de fin de año de ITBA (2016) con el grupo *The Deadlines*. De derecha a izquierda: M. Frías (Inv. CONICET y CoDirector Inv. & Doctorado), Lucila Sánchez Peña, Juan Giribet (Inv. CONICET), Luciano Zemín (Becario CONICET) y el autor. Faltaba el pianista, Demián García-Violini (posdoc CONICET) que estaba en la Univ. de Virginia dedicado al proyecto de Páncreas Artificial.

la UNLP, la UNQ y el ITBA en este tema. Lamentablemente no fueron utilizados sus resultados, que son generales y que podrían aplicarse a otras epidemias y/o pandemias similares. Supongo que más allá de las propuestas basadas en modelos matemáticos y teoría de control, tenían mayor influencia los aspectos políticos y psicológicos para la aplicación de cuarentenas. Esto terminó en una publicación (García-Violini y col., 2021), con la esperanza de que en el futuro no haya que utilizar estos resultados.

En cuanto a mis aficiones musicales que nunca abandoné durante esos años, tomé un curso de Ensamble de la Escuela de Blues de Buenos Aires. Antes de que nos alcanzara la pandemia, hicimos una presentación en el Conventillo Cultural

Abasto, en 2019. Eso nos dio pie para armar un grupo (**Banda X**) que comenzó ensayos presenciales en febrero de 2020 y de más está decir que obviamente no pudo continuar, al menos de forma presencial. Sin embargo, gracias a la tecnología pudimos compaginar un par de temas grabando las pistas por separado cada uno en su casa.

■ PREMIOS Y RECONOCIMIENTOS

Tuve el gusto a partir de cierto momento de mi vida, de recibir diferentes reconocimientos por mi trabajo. Más allá de que uno nunca espera un reconocimiento por su trabajo ya que es lo que nos gusta hacer⁹, e incluso a veces en la comparación con otros pareciera no merecido, siempre es un motivo de ale-

gría. Entre ellos, mi primer libro de Control fue premiado por AADECA, que años más tarde me premió por mi trayectoria internacional. También recibí premios de instituciones internacionales de prestigio: NASA y el IEEE. El Premio Consagración otorgado por la ANCEFN en 2013 y en 2014 mi ingreso como miembro titular en la sección de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología fueron siempre un motivo de orgullo.

■ AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a algunos de mis ex-alumnos y colegas con los que trabajé y terminé desarrollando una relación personal: "Beto" Alonso, Daniel Caruso, Roberto Yasielski, Roy Smith, Cecilia Galarza, Carlos Godfrid, Cristina Parpaglione, los tres Pablos: Anigstein, Parrilo y Ser-



Figura 10: Concierto del Ensamble de Blues, Conventillo Cultural Abasto, Bs.As., noviembre 2019, con parte del grupo Banda X.

Jueves 03 de abril de 2014 | 18:30

La NASA premió a dos científicos argentinos

Ricardo Sánchez Peña y Ana Hernández fueron evaluados por la performance que realizaron en el proyecto del satélite argentino SAC-D

Por [Víctor Ingrassia](#) | LA NACION

Dos científicos argentinos fueron premiados recientemente por la NASA debido a su trabajo de revisión, evaluación y puesta a punto del satélite argentino SAC-D/Aquarius hecho en la Argentina.



Figura 10: Nota de prensa de La Nación y foto del autor en la sala de ensayos del SAC-D en Brasil.

vidia, Darío Baldelli, Juan Giribet, Alejandro Ghersin, Fernando Bianchi, Albert Masip, Ari Ingimundarson, Joseba Quevedo, Vicenç Puig, Rafael García, Patricio Colmegna, Demián García-Violini, Fabricio Garelli, Hernán De Battista, Daniel Cheriñavsky y Marcelo Frías. A mis profesores de guitarra: Nelly Menotti, Rafa Nasta, Gabriel Grätzer y Daniel "Alambre" González. A los que me ayudaron a lo largo de mi carrera: Pedro Zadunaisky, Manfred Morari y Roberto Perazzo. Finalmente a mis amigos de la vida con los que además tuve el placer de trabajar:

Ricardo Pantazis, Carlos Ocampo-Martínez y Mario Sznaier.

■ REFERENCIAS

Baldelli D.H., Lee D.H., Sánchez-Peña R., Cannon B. (2008), Modeling and Control of an Aeroelastic Morphing UAV, AIAA Journal of Guidance, Control and Dynamics, 31(6), pp. 1687-99.

De León P. (2015), Historia de la Actividad Espacial en la Argentina, Lenguaje Claro editora.

García-Violini D., Sánchez Peña R., Moscoso-Vásquez M., Garelli F. (2021), "Non-pharmaceutical intervention to reduce COVID-19 impact in Argentina", ISA Transactions. (en prensa) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2021.06.024>

Giribet J., Sánchez Peña R., Ghersin A. (2016) "Analysis and design of hexacopter fault tolerance", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems 52(4).

Sánchez Peña R., Alonso R., Anigstein P. (2000) "Robust Optimal solution to the Attitude/Force control problem", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronics* 36(3).

Sánchez Peña R., Quevedo Casín J., Puig V. (Eds.) (2007), *Identification and Control: The gap between theory and practice*, Springer-Verlag, London.

Sánchez Peña R., Colmegna P., F. Garelli, De Battista H., García-Violini D., Moscoso-Vázquez M., Rosales N., Fushimi E., Campos-Nañez E., Breton M., Beruto V., Scibona P., Rodríguez C., Giunta J., Simonovich V., Belloso W.H., Chervavsky D., Grosembacher L. (2018), *Artificial Pancreas: Clinical Study in Latin America without Premeal Insulin Boluses*, *Journal of Diabetes Science and Technology*, 12(5), pp. 914-925.

■ NOTAS

1 Antes de la existencia del CBC, el ingreso consistía en un curso de 1 año y la carrera duraba un mínimo de 6 años más.

2 Ese nombre era el de su cédula, aunque su nombre real era Mauricio, como lo llamaba su esposa, un hecho que no todo el mundo conocía.

3 Mobile Raketenbasis (base móvil de cohetes).

4 Asociación Argentina de Control Automático.

5 Tubo de vidrio o metal que se desliza por las cuerdas de la guitarra, dando un sonido característico del blues del Delta del Mississippi o

de Chicago. También denominado bottleneck ya que inicialmente se hacían con el cuello de una botella. Requiere de afinaciones abiertas diferentes a las tradicionales.

6 Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

7 Institute of Electrical and Electronic Engineers.

8 Mi padre siempre me marcaba que tenía el SI fácil.

9 Mi amigo y colega Mario Sznaier siempre dice que cuando se enteren que este trabajo nos apasiona, nos dejarán de pagar.