

Ingeniería verde

LA ALQUIMIA
DEL HIDRÓGENO

H₂O,
FÓRMULA VITAL

NUEVAS ENERGÍAS
EN CUATRO RUEDAS



n.º1

· 2017 · Año 1 ·

A thick, yellow, three-dimensional rectangular bar is positioned diagonally across the upper half of the image, behind the main text.

**NO SIGAS
ESPERANDO
LO NUEVO.
NOSOTROS
YA LO
TENEMOS.**

Mirá cómo estamos aplicando
la innovación y el profundo
conocimiento de la industria a
los desafíos reales de negocios en
[accenture.com/EmpleosArgentina](https://www.accenture.com/EmpleosArgentina)

NEW APPLIED NOW

SUMARIO

STAFF

Comité Editorial

(Por Res. Decano 543/17)

Dr. Ing. Juan Giribet

Ing. Fernando Horman

Dr. Ing. Sergio Lew

Ing. Ariel Stainoh

Coordinador editorial:

Lic. Daniel Krupa

Equipo de producción

Identidad gráfica y diseño

Lic. Daniela Noceti

DG Carla Percivale

Redacción de contenidos

Lic. Daniel Krupa

Jerónimo Liñán

Editor de fotografía

DG Martín Dubovich

Corrección

Bettina Villar

Asistente de producción

Marisol Rivera

Impreso en

Pesout SA

en junio de 2017.

Revista .ing es una publicación

de distribución gratuita.

ISSN 2545-7691

La reproducción parcial de los contenidos

de esta publicación deberá ser autorizada

previamente por su Comité Editorial.

Contacto

Av. Paseo Colón 850 - CABA

C1063ACV - Argentina

prensa@fi.uba.ar

www.ingenieria.uba.ar



EDITORIAL

Una nueva propuesta editorial para alentar el encuentro de nuevas miradas sobre el ejercicio de la profesión.

05

BREVES

El CBC, ahora en sede Av. Las Heras. Importante acuerdo internacional. Publicación en *Cerebral Cortex*. Premian a graduado en Abu Dhabi.

06 | 07

INGENIERÍA VERDE

La alquimia del hidrógeno.

08 | 09

INGENIERÍA VERDE

H₂O, fórmula vital.

10 | 15

INGENIERÍA VERDE

Nuevas energías en cuatro ruedas.

16 | 19

ZOOM

Sistemas nanométricos cáscara-carozo de sílice y magnetita.

20 | 21

DOSSIER

Análisis electrocardiográfico latido-a-latido de la variabilidad de la repolarización ventricular en pacientes posinfarto del miocardio.

22 | 30

NUESTROS GRADUADOS

Toda una trayectoria en el sector petrolífero - Ing. Ricardo Chacra.

32 | 33

ACTORES DE LA FIUBA

Bodas de oro - Néstor Beherens.

34

rip

editorial



Muchas veces me preguntan qué es la ingeniería y suelo responder que es la más hermosa de las disciplinas, pues se encarga de resolver problemas para que las sociedades vivan más y mejor, dar calidad de vida en todo sentido, en la salud con aplicaciones de las diferentes técnicas de diagnósticos preventivos y de tratamientos, en la provisión de agua potable, en el saneamiento de nuestras aguas, en la generación y provisión de energía eléctrica, rutas, autopistas, transportes aéreo marítimo, puentes, puertos ciudades y tantas otras creaciones propias de la ingeniería.

Pero a pesar de ese atractivo, en nuestra sociedad y muchas del mundo, se instaló la idea de que la ingeniería era una carrera “dura”, dadas las dificultades que debían enfrentarse para quien la estudiara, lo que junto a un período de desindustrialización ocurrido durante los años noventa, más la destrucción de la escuela industrial –histórica “proveedora” de alumnos a las carreras de ingeniería–, impactaron en una fuerte caída de la cantidad de graduados año a año.

Se produjo así un descenso en la matrícula que llevó a tener unos seis mil graduados por año, lo que representa aproximadamente un graduado por cada ocho mil habitantes cuando los países desarrollados logran un ingeniero cada dos mil quinientos.

A pesar de no haberse definido hasta la fecha una verdadera política de Estado y en especial que posicione a la ingeniería como una materia de observación estratégica y ponerla en el centro de la discusión para el crecimiento de nuestro país, varias fueron las acciones y programas que se han ido tomando para comenzar a revertir la situación.

En paralelo, y a partir de esta coyuntura, desde la Universidad de Buenos Aires, puntualmente desde nuestra Casa de Estudios se impulsaron, articularon, gestionaron y activaron una batería de programas de difusión de nuestras carreras en los colegios secundarios, tutorías para alumnos de los primeros años de la carrera; la oferta de becas con fondos propios y externos con el foco puesto principalmente en la enseñanza de la ingeniería de grado pero también para el fomento de la actividad científica y la actualización de conocimientos a través de sus más de treinta posgrados, una serie de medidas que permitieron reactivar la enseñanza de la ingeniería en todos sus niveles.

No todo ocurre de la noche a la mañana, pero ya se observa una tendencia muy favorable a partir de estas políticas públicas, que se tradujeron en un aumento de la cantidad de alumnos que llegan desde el CBC para adentrarse en el mundo de la ingeniería.

La falta de ingenieros no vino sola, trajo de la mano otra problemática, urgente y global: la necesidad de que cada una de las especialidades de la ingeniería contemple su impacto sobre el medio ambiente.

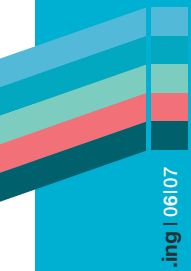
Dicho así parece fácil, pero es y será todo un desafío para los actuales y futuros profesionales de esta disciplina poner en diálogo el impacto de la actividad humana –con el exponencial aumento de sus necesidades (nuevos caminos, más antenas, edificios más altos y un infinito etcétera)– con lo que se conoce como “agenda verde”.

Conjugando este panorama, que exige una mirada transdisciplinaria, *.ing* se perfila como un proyecto editorial que busca posicionarse como mucho más que la apertura de otra vía de comunicación para la difusión de las últimas investigaciones científicas; el ejercicio de la profesión y la amplificación de las distintas acciones de una gestión.

El objetivo central es que *.ing* sea percibida como una plataforma de conocimiento, impulsada por y desde la Facultad de Ingeniería de la UBA, para el encuentro de nuevas miradas sobre el ejercicio de la profesión. Por eso, decidimos que el primer número esté destinado al abordaje de una ingeniería sustentable, innovadora, creativa, que contemple la mejora continua de la calidad de vida de las actuales generaciones, pero también de las que vendrán.

Cumplo con este lanzamiento y le agradezco en especial la labor desinteresada del Comité Editorial y el esfuerzo de todos los que colaboraron a que esta sea una realidad para saldar una deuda que tenía nuestra Casa de Estudios, que hasta los golpes constitucionales de los años 70, asombraba a nuestro mundo académico con la revista *Ciencia y Técnica*, editada en aquel entonces por nuestro Centro de Estudiantes de Ingeniería.

**Prof. Ing. Horacio Salgado
Decano**



BREVES

+ de **2300**
alumnos
en Las Heras
representa el

83,7%

de todos los **estudiantes**
del CBC de ingeniería
de la CABA.

01

El CBC, ahora en sede Av. Las Heras

A través de su Secretaría Académica, la FIUBA informa que en este primer cuatrimestre de 2017 se ha logrado que todos los cursos del Ciclo Básico Común que se ofrecen en los turnos de mañana y tarde para estudiantes ingresantes a las carreras de ingeniería domiciliados en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, tomen lugar en la sede de Av. Las Heras 2214. Haber alcanzado este objetivo significa que más de 2300 estudiantes –el equivalente al 83,7 % del total de estudiantes del CBC de Ingeniería de la CABA–, iniciaron sus clases en las aulas de dicha sede. Vale señalar que esta iniciativa comenzó a implementarse gradualmente desde 2015, y está enmarcada en un trabajo que la FIUBA viene realizando de manera sostenida con el Ciclo Básico Común con el objetivo de integrar ambos ciclos de la carrera.

02

Importante acuerdo internacional

La Facultad de Ingeniería de la UBA y el Instituto Central de Ingeniería y Tecnología de Plásticos (CIPET), dependiente del Ministerio de Químicos y Fertilizantes del Gobierno de la India, firmaron el pasado 17 de abril un acta de acuerdo para el desarrollo de programas de intercambio de estudiantes, profesores e investigadores; proyectos conjuntos de investigación y convenios de cooperación específicos en áreas de interés común. El decano Salgado remarcó la importancia de esta clase de acuerdos de cooperación internacional para la Facultad. “Se trata de un punto de inflexión en las relaciones de la FIUBA con otros países, que van en línea con la política de internalización de la UBA promovida desde el inicio de su gestión por el rector Barbieri. El convenio supone una carta de intención abierta a establecer pautas de trabajo que enriquezcan el intercambio científico y tecnológico y posicionen, a su vez, a nuestra Casa de Estudios en los más altos rankings de investigación científica con transferencia”, señaló el titular de la FIUBA.





03

Publicación en *Cerebral Cortex*

A partir de un trabajo conjunto con la Universidad de Texas y el Janelia Research Campus del Howard Hughes Medical Institute, miembros del Instituto de Ing. Biomédica de la FIUBA publicaron los resultados de una investigación en *Cerebral Cortex*, reconocida revista científica de alto impacto.

El estudio sostiene que el procesamiento de la información en la corteza cerebral depende no solo de los estímulos entrantes sino del estado en que se encuentra la red de neuronas en ese momento. Es decir que el mismo estímulo es procesado de manera diferente según el contexto en que es recibido. Un componente que puede influir en este procesamiento es la actividad neuronal espontánea previa a la aparición del estímulo. Los investigadores midieron la distribución de la actividad espontánea previa al estímulo sobre la población de neuronas y encontraron que la precisión en la decodificación es mayor cuanto menor es esta actividad. De esta manera, la distribución de la actividad espontánea sobre la red neuronal crea un contexto interno que dinámicamente filtra los estímulos entrantes, modulando la precisión con la que estos estímulos son codificados.

04

Premian a graduado en Abu Dhabi

La comunidad de la FIUBA felicita al Ing. Camilo Fosco, graduado de esta Casa de Estudios, por la obtención del 1er. puesto en la Hackatón NYU Abu Dhabi 2017, competencia de programación e innovación internacional desarrollada en abril pasado en Emiratos Árabes. Fosco, seleccionado por el Departamento de Computación para representar a la UBA en el certamen, integró un grupo de trabajo compuesto por jóvenes profesionales de diferentes universidades de Estados Unidos, Europa y países árabes, con quienes diseñó una aplicación enfocada en la problemática de los refugiados sirios y su inclusión laboral en Turquía. El proyecto premiado propone una plataforma dual para conectar refugiados con la comunidad local, con el objetivo de generar lazos laborales y superar las barreras del lenguaje.

La alquimia del hidrógeno

El Dr. Miguel Laborde, director del Laboratorio de Procesos Catalíticos de la FIUBA, detalla las propiedades del hidrógeno y explica por qué este elemento se constituye como una de las principales fuentes de energía amigable con el medio ambiente.

El hidrógeno es una molécula que difícilmente se halle aislada en el medio ambiente. En líneas generales, se encuentra formando un compuesto con algún otro elemento y su producción involucrar varias etapas, donde en alguna de ellas interviene un catalizador, es decir, una sustancia que acelera la reacción química. En la actualidad, la mayor producción de este elemento proviene de reacciones a partir de combustibles de origen fósil, aunque también hay una pequeña fracción que deriva de la electrólisis del agua, y más recientemente, se ha empezado a investigar la producción de hidrógeno a través de reacciones que involucran bioalcoholes. Es este último proceso el que concierne al Instituto de Tecnologías del Hidrógeno y Energías Sostenibles (ITHES) de la FIUBA, cuyos trabajos se basan en el uso de bioetanol como materia prima.

Según explica el Dr. Miguel Laborde, director del instituto, la etapa de producción de hidrógeno consiste en alimentar un reactor que opera a

700 °C con una mezcla de agua y alcohol para llevar a cabo una reacción conocida como “reformado” en presencia de un catalizador producido en el laboratorio. “Con este procedimiento obtenemos mayoritariamente hidrógeno (H_2) y otros elementos secundarios en pequeñas cantidades, como dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O) y monóxido de carbono (CO). Vale aclarar que de acuerdo a la aplicación, esta corriente gaseosa puede o no requerir una purificación ulterior para cumplir con las especificaciones necesarias. En nuestro caso deseamos contar con una corriente libre de CO, por lo que adicionamos dos etapas de purificación para convertir el CO en CO_2 vía reacciones catalíticas con reactores que operan aguas abajo del reactor de reformado: el de Water Gas Shift (WGS) a 250 °C y el de Oxidación preferencial de CO a 180 °C (COPrOx).

Así como en la industria, donde el hidrógeno suele emplearse en la misma planta una vez obtenida la pureza deseada, el proceso global

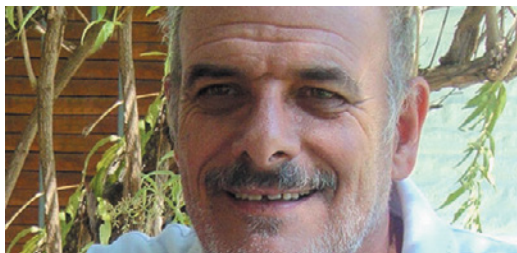
desarrollado por esta área de investigación de la Facultad contempla las etapas de producción-purificación en línea con la etapa de consumo.

Al ser consultado por la reputación del hidrógeno como energía limpia, el Dr. Laborde argumenta que el carácter no contaminante del H_2 como combustible depende de la materia prima utilizada para obtenerlo, del proceso y del origen de la energía requerida. “El hidrógeno tiene una elevada densidad energética en base másica (120 MJ/kg) en comparación al gas natural (50 MJ/kg) y la nafta (44,8 MJ/kg), por lo que el peso del combustible resulta menor en los tanques de almacenamiento. Pero, por otra parte, también tiene una baja densidad energética en base volumétrica (10,37 MJ/Nm³ contra 39 MJ/Nm³ del gas natural), con lo cual se requieren tanques de almacenamiento grandes y pesados si se desea almacenarlo a alta presión, o bien un almacenamiento líquido o en forma de hidruros metálicos, es decir, implica una tecnología muy sofisticada y costosa. “Una de las opciones reside en el uso de sólidos porosos donde el hidrógeno se absorbe con metales y reacciona para dar hidruros bajo condiciones adecuadas de presión y temperatura. De esa manera se transporta un sólido en lugar de un elemento gaseoso. Para lograr el proceso inverso, basta con modificar las condiciones del elemento, como por ejemplo elevar la temperatura”, señala Laborde. En definitiva, su consideración como un vector energético con importantes ventajas medioambientales y de disponibilidad sobre los combustibles fósiles tradicionales tiene que ver con su alto contenido energético en base másica”, asegura.

Y agrega: “Casi el cincuenta por ciento del hidrógeno producido mundialmente deriva del gas natural y solo un cuatro por ciento proviene de electrólisis. Pese a que la electrólisis genera H_2 de muy alta pureza, su costo de funcionamiento es muy elevado en comparación con el reformado de gas natural, de uso a escala mundial y de carácter contaminante. Es por ello que las nuevas tecnologías de producción de hidrógeno tienen la obligación de optimizar y abaratar el proceso, de manejar el cambio de escala y de ser amigables con el medio ambiente”.

Una alternativa auspiciosa para ese cambio de paradigma en el sector del hidrógeno se da, justamente, con el empleo de alcohol en el proceso de elaboración, pues además de ser una materia prima renovable y no tóxica, puede obtenerse a partir de fuentes como la caña de azúcar y el maíz, cultivos muy difundidos en la región latinoamericana. Otra de las ventajas es el efecto casi nulo en la generación de dióxido de carbono, uno de los gases responsables del efecto invernadero.

En cuanto a su ámbito de aplicación, el hidrógeno goza de una vasta utilidad para las industrias. Se emplea en la producción de amoníaco, urea,



Dr. Miguel Laborde, director del Laboratorio de Procesos Catalíticos.

“Las nuevas tecnologías de producción de hidrógeno tienen la obligación de optimizar y abaratar el proceso, manejar el cambio de escala y ser amigables con el medio ambiente”.

fertilizantes nitrogenados en la industria química; como vector energético para el combustible de vehículos o dispositivos eléctricos con eficiencia superior a los motores de combustión y en la fabricación de esponjas de hierro dentro del sector siderúrgico. Como resultado de este carácter diverso en tanto insumo, la incursión del Laboratorio de Procesos Catalíticos de la FIUBA en la producción de hidrógeno mediante el uso de alcohol derivó en desarrollos tecnológicos para empresas internacionales –Copersucar (Brasil) y Abengoa (España)–, como así también en el patentamiento de métodos de obtención de catalizadores para las reacciones de monóxido de carbono con agua o para la descomposición de hidrocarburos.

Para el desarrollo de tales aplicaciones, esta área de investigación dispone de equipos de flujo para realizar los ensayos de desempeño catalítico tanto a escala laboratorio como a piloto, incluyendo la infraestructura necesaria para la síntesis y caracterización de los catalizadores.

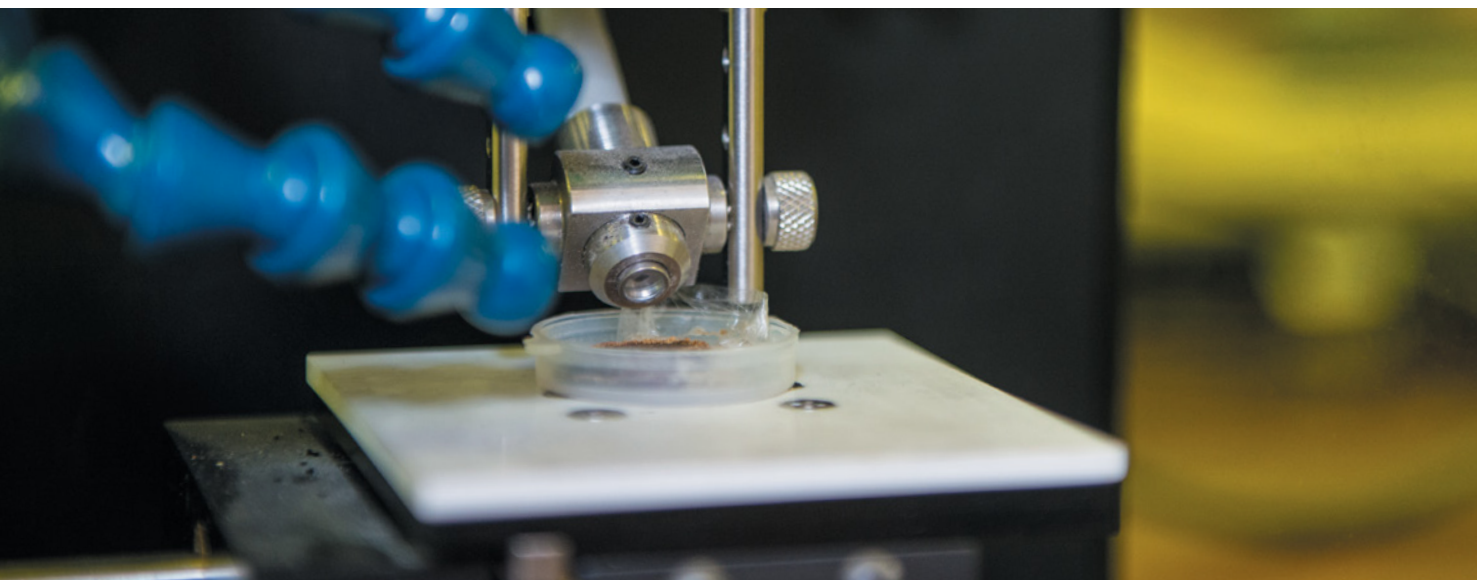
Con respecto al perfil de su equipo de trabajo y al financiamiento de sus investigaciones, este laboratorio que integra el Instituto de Tecnologías del Hidrógeno y Energías Sostenibles (ITHES) está conformado por once investigadores, cuatro becarios doctorales, dos técnicos, un empleado administrativo y tres estudiantes avanzados; y cuenta con el apoyo económico de la UBA, el CONICET y la Agencia de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT).

Por último, entre las principales líneas de trabajo que desarrolla actualmente el instituto se destaca la producción de hidrógeno mediante el reformado de etanol con adsorción simultánea de CO_2 (SE-ESR) y mediante el reformado de CH_4 proveniente de gasificación de biomasa algal; la producción de 1,2-propanodiol a partir de la hidrogenólisis de glicerol en fase vapor; la elaboración de catalizadores para la reacción de Water Gas Shift a escala laboratorio y piloto, y la simulación dinámica del funcionamiento de pilas de combustible y baterías de litio. ■

H₂O, fórmula vital

El equipo del **Laboratorio de Química de Sistemas Heterogéneos** se encuentra trabajando fuertemente en soluciones concretas para el tratamiento de aguas contaminadas junto con la reutilización y el reciclado de residuos.





El empleo de residuos con alta disponibilidad en el país –como la cáscara de maní, los bagazos de caña de azúcar, la cáscara de palta, de nuez de pecán, el salvado de trigo y la cáscara de banana– es uno de los caminos a recorrer a la hora abordar el tratamiento de aguas. Esta alternativa cobró fuerza en enero de 2016, en el marco de la repentina aparición masiva de diferentes especies de plantas acuáticas que provocó todo un caos en la Ciudad de Buenos Aires y alrededores.

La presencia intempestiva de malezas alteró el suministro de agua potable debido a la obstrucción de las tomas de agua de plantas potabilizadoras e incluso generó inconvenientes con el suministro de energía. Las “responsables” de semejante estado de situación fueron reconocidas como: la *Salvinia molesta*, la *Azolla pinnata*, la *Lemna minor*, la *Limnobiium leavigatum* y la *Pistia estratiotes*, cinco especies de macrófitas acuáticas flotantes que crecen en nuestro país y que se encuentran en el listado de la FAO (Food and Agriculture Organization) como especies indeseables.

Vale señalar que los principales efectos del crecimiento excesivo de plantas acuáticas consisten en la reducción del caudal de agua en los canales (por la restricción física y por el aumento de la resistencia friccional al caudal), lo que proporciona un hábitat de cría y alimentación para los vectores patógenos, y causa con frecuencia un aumento considerable de los costos de mantenimiento. En

muchos casos, incluso, los costos de la eliminación de las malas hierbas pueden superar los beneficios de la agricultura de regadío. La proliferación de macrófitas acuáticas puede producir la pérdida de la biodiversidad por reducción de la producción de plancton, esto puede dar lugar a una mayor mortandad entre los peces pequeños, debido a los predadores. También genera el aumento de las tasas de evapotranspiración, lo que acelera el proceso de eutrofización de los cuerpos de agua.

Como si el cuadro descripto no fuera suficientemente crítico, es menester recordar que la muerte de estas plantas provoca una acumulación creciente de desechos en el fondo, con el incremento correspondiente de la demanda biológica de oxígeno. En centrales hidroeléctricas, el crecimiento descontrolado de las macrófitas causa problemas en las turbinas, lo que obliga a realizar frecuentes descargas por los vertederos para la salida de las plantas, generando desperdicio de agua y disminución de la producción eléctrica. Además pueden traer perjuicios económicos como la disminución de agua potable y de áreas de ocio e impidiendo la navegación. Por todo eso, estas plantas precisan ser controladas o retiradas de muchos ambientes acuáticos.

Dado este contexto, el reciclado y la reutilización de los grandes volúmenes de residuos como los detallados es un gran desafío. En el Laboratorio de Química y Sistemas Heterogéneos (LaQuíSiHe)

de la FIUBA, desde hace varios años los investigadores se encuentran analizando y probando la versatilidad de estos residuos como adsorbentes de bajo costo para el tratamiento de aguas contaminadas. “Nuestro principal enfoque en este momento es la contaminación producida por la presencia de metales pesados. Ya que metales como el cobre, el plomo y el cromo, y metaloides como el arsénico son considerados un peligro para la salud pública y para el medioambiente, es importante evaluar las posibilidades de remoción tanto de cuerpos de aguas como de efluentes líquidos. Los metales tienen alta persistencia en el ambiente, por lo que su amenaza se multiplica dado que pueden bioacumularse en organismos de niveles tróficos inferiores y llegar a su biomagnificación. Esto tiene implicancia directa en el ecosistema y en la salud de poblaciones no expuestas directamente al agua contaminada. La contaminación de las aguas con metales pesados generalmente es antropogénica, aunque existen casos como el arsénico que es de origen geológico”, dice la Dra. Susana Boeykens, directora de este espacio de investigación.

“El tratamiento de aguas con este tipo de contaminantes es muy importante ya que muchos de ellos son nocivos e incluso son considerados cancerígenos o posibles cancerígenos por la Agencia Internacional de la Investigación para el Cáncer (IARC); es decir que a muy bajos niveles de exposición puede desarrollarse la enfermedad. Volviendo al caso particular del arsénico, este produce la enfermedad denominada Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico más conocido como HACRE y que en una de las últimas fases puede desarrollar cáncer de piel.

Dada la importancia del reciclado y la reutilización de residuos o de malezas, y dada la problemática de la contaminación con metales, se busca una solución que sea un aporte en ambos sentidos, entonces con este objetivo, se prueban nuevas tecnologías como alternativas para la descontaminación de aguas”, señala Boeykens, quien sostiene que para el trabajo de investigación, tanto con los residuos de las industrias agrarias como con las malezas es preciso realizar un acondicionamiento previo específico para cada tipo de material. Una vez recolectados, se deben acondicionar mediante procedimientos

de bajo costo económico: lavar, secar, moler y tamizar para realizar los ensayos sistematizados. “Este acondicionamiento permite utilizarlos como rellenos tanto en reactores de tipo Batch (TAD) como en reactores tubulares (TUB), para el tratamiento de aguas contaminadas. El proceso mediante el cual se produce la remoción de los contaminantes involucra la interacción del contaminante a remover con la superficie del material de relleno del reactor y se denomina proceso de adsorción”, cuenta.

De acuerdo a lo que explican desde el LaQuíSiHe, recientemente se han incrementado los estudios para el desarrollo de estas nuevas tecnologías de adsorción y para el tratamiento de aguas contaminadas, por su potencial conveniencia económica.



Dra. Susana Boeykens, directora del LaQuíSiHe.

“El proceso mediante el cual se produce la remoción de los contaminantes involucra la interacción del contaminante a remover con la superficie del material de relleno del reactor y se denomina proceso de adsorción”.

“Numerosos trabajos empleando algas y residuos agroindustriales señalan una alta capacidad para concentrar metales contaminantes del agua en sus estructuras”, revelan.

La bioremediación de la contaminación debida a metales pesados representa uno de los principales desafíos de la biotecnología ambiental. Existen varios procesos convencionales establecidos para el tratamiento y recuperación de metales de soluciones diluidas o aguas residuales, la desventaja es que resultan costosos y generalmente producen lodos difíciles de disponer. En este sentido, se deben realizar esfuerzos de innovación tecnológica sobre procesos basados en bioadsorbentes no convencionales en etapa de aplicación, para aumentar el número de opciones y brindar un mayor espectro de posibilidades en regiones de menor desarrollo económico. “La descontaminación de aguas residuales que contienen metales es una preocupación ambiental apremiante. Todas las actividades de procesamiento de metales pesados tienen pérdidas, a veces en grandes cantidades. Evidentemente, la industria aún no ha mostrado resultados que satisfagan las necesidades de cuidado de la vida humana y el ambiente; esta falencia incide en una baja calidad de vida de la población afectada. El desarrollo e implementación de un proceso de bajo costo para la recuperación

de metales pesados, es esencial para mejorar la competitividad de las operaciones y para minimizar el riesgo ambiental de los efluentes”, dice la directora del LaQuiSiHe.

Los sistemas acuáticos son grandes cuerpos receptores de muchas corrientes de desechos, producidos principalmente por actividades antropogénicas. En ciertas regiones de la Argentina (norte, centro y oeste), a expensas de la contaminación natural con especies como el arsénico, se cuenta con estadísticas alarmantes de casos de HACRE (Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico). También se encuentran alergias vinculadas a contaminaciones variadas y casos de cáncer, principalmente en los niños, promovidos por metales pesados, asociados al uso del agua sin los controles adecuados. Las entidades que se ocupan del bienestar en estos ámbitos, manifiestan la necesidad de nuevas tecnologías, sobre todo de bajo costo y a pequeña escala, que faciliten la difusión de soluciones en las esferas de la sociedad que más sufren las consecuencias de la contaminación de las aguas.

“A nivel local, la industria que se instaló en las afueras de la ciudad en la primera mitad del siglo pasado hoy se encuentra rodeada de viviendas, debido al crecimiento demográfico y la migración de gente desde el exterior y el interior del país en busca de alguna oportunidad de trabajo; buena parte de esa industria, que se ha transmitido de padres a hijos, suele tener plantas de tratamiento de efluentes con graves deficiencias. El gran Buenos Aires en particular, es un área urbana con zonas de gran industrialización, con población aledaña de bajos recursos que muchas veces no posee acceso al agua potable. Existen

“Numerosos trabajos empleando algas macrófitas y residuos agroindustriales señalan una alta capacidad para concentrar metales contaminantes del agua en sus estructuras”.



Dr. Ing. Néstor Caracciolo, Lic. Andrea Saralegui, Estefanía Chamorro, Dra. Natalia Piol, Dra. Susana Boeykens, Lic. Ana María Maury y Carolina Dickerman.

Contexto

Argentina se encuentra en décimo lugar en el *ranking* mundial de producción de maní con un total anual de entre 220 y 500 mil toneladas. La cáscara de maní, desecho de la industrialización del grano, suele ser un inconveniente, representa entre una cuarta y una quinta parte de la cosecha y es un residuo que habitualmente se incinera a cielo abierto, lo cual genera grandes cantidades de humo contaminante. El bagazo de la caña de azúcar es el material fibroso que queda luego de triturar la caña; por cada diez toneladas de caña que se tritura, quedan tres o cuatro toneladas de bagazo húmedo. Según datos del Consejo Profesional de Ingeniería Agronómica, Argentina produjo un volumen de caña molida de 17,50 millones de toneladas (2013) y 20,35 millones (2012). El bagazo de

la caña de azúcar es, cada vez más, empleado como combustible para generar vapor y electricidad en los ingenios, pero también como fuente de materia orgánica cuando se lo devuelve al suelo. La cáscara de palta representa alrededor del 13% en peso de la fruta, en Argentina actualmente es un cultivo en crecimiento ya que los diferentes suelos y climas resultan favorables para su desarrollo. Estas condiciones agronómicas también favorecen la producción de pecán de alta calidad y a contra-estación. El cultivo comercial del pecán en Argentina ha crecido exponencialmente en los últimos años lo que permitirá a mediano plazo ubicar al país como uno de los tres principales productores mundiales de este fruto seco y como el principal exportador mundial de productos en base a pecán

con alto valor agregado. Por otro lado, el trigo es uno de los cereales más cultivados en el mundo. En Argentina se producen anualmente alrededor de 15,5 millones de toneladas de trigo. El 75% se exporta y aproximadamente 4,6 millones de toneladas se destinan a la molienda para producir 3,4 millones de toneladas de harina. Como subproductos de este proceso se extraen aproximadamente 500 000 toneladas de salvado y germen anuales que se destinan casi totalmente para alimentación animal. El cultivo del banano es el más destacado de los cultivos tropicales de la Argentina, con una producción anual de bananas variable que va desde los 180 000, hasta las 205 000 toneladas, siendo la banana la fruta más consumida de Argentina, con un promedio anual per cápita de 12 kg.

muchas zonas en que los cultivos particulares y microemprendimientos, tales como huertas orgánicas, se valen de agua de pozo para el riego. En consecuencia, coexisten diferentes problemas que podrían llegar a tener un punto en común. Por un lado, los efluentes industriales con altos contenidos de contaminantes metálicos generados por las empresas necesitan alguna clase de tratamiento antes de ser dispuestos, y por otro lado, está la necesidad de obtener agua segura para la población y para el empleo como agua de riego. La combinación de estos efectos ha generado numerosos problemas toxicológicos en la población circundante”, grafica Boeykens.

La búsqueda de nuevas tecnologías de bajo costo para la remoción de la contaminación, entonces, se configura como el gran desafío actual. Los filtros familiares existentes en el mercado se utilizan para mejorar el aspecto y sabor y para eliminar microorganismos del agua que puedan producir enfermedades. Los equipos de mayor porte y mucho más onerosos adicionan una etapa de ósmosis inversa o de resinas para eliminar también contaminantes inorgánicos, y no se presentan en la opción hogareña. La puesta en práctica de los equipos de tratamiento experimentales, de bajo costo, permiten a las pequeñas comunidades participar en el cuidado y control del medio ambiente circundante. El hecho de acercarles nuevas tecnologías desarrolladas para su problemática particular y a su alcance económico es un aporte sustancial para su desarrollo, ya sea para la pequeña industria como para la

entidad de gestión, como el caso de municipalidades. Esto es muy importante desde diferentes perspectivas. En el ámbito de la salud pública el aseguramiento de la calidad del agua es muy importante, ya que evita los problemas toxicológicos crónicos producidos sobre la población expuesta a aguas contaminadas, con niveles de metales pesados por encima de los recomendados por los niveles guía (Ley Nacional N° 24.051, 1992; Decreto 831/93). “De este modo –insiste Boeykens– se disminuirán los efectos producidos sobre la salud de la población, generando mejor calidad y expectativas de vida, con la consecuente disminución en costos paliativos”.

En cuanto a terrenos para producción agrícola-ganadera cuyas napas posean naturalmente un alto contenido de metales pesados, se espera que estos reactores mejoren la calidad del agua incrementando el rendimiento, generando ganancias para los dueños y nuevas posibilidades de trabajo para el sector. El empleo de estas aguas de riego sin tratamiento alguno, resulta en una disminución en el tamaño y calidad de los cultivos, con la consecuente merma en el rendimiento económico del campo e incluso descartando su factibilidad para la utilización agronómica”.

Vale señalar que además de la dirección de la Dra. Susana Boeykens, el LaQuíSiHe cuenta con la Dra. Cristina Vázquez como vice directora, y con siete investigadores formados, dos investigadores de apoyo, tres tesis de doctorado, ocho tesis de maestría, siete tesis de grado y nueve alumnos. ■

INGENIERÍA
VERDE

ing | 16 | 17





Nuevas energías en cuatro ruedas

El Dr. Ing. Hernán Tacca, líder del **Laboratorio de Control de Accionamientos, Tracción y Potencia (LABCATyP)** de la FIUBA, brinda detalles sobre la imperiosa necesidad de repensar el tránsito urbano a partir de la puesta en marcha de vehículos no contaminantes.



La creciente incorporación de carriles exclusivos (denominados aquí “Metrobus”) podría en el futuro evolucionar hacia verdaderos sistemas de autobuses de tránsito rápido (BRT en inglés) con algunas de las modalidades de operación internacionalmente conocidas (acceso a nivel, pago en dársenas, andenes cerrados, etc.). Cuando se incorpora un carril exclusivo a una calle o avenida con mucho tránsito, la emisión de contaminantes en las horas pico crece, ya que los automóviles que circulan al lado del carril exclusivo ven entorpecido su desplazamiento, y por ende demoran más tiempo en realizar el mismo recorrido. Este panorama deriva en una mayor acumulación de motores de combustión interna, más pequeños y de menor rendimiento, que funcionan durante más tiempo para cubrir un mismo trayecto. En otras palabras, si bien el uso de carriles exclusivos prioriza el transporte público colectivo por sobre el automóvil –que en la mayoría de los casos transporta un único pasajero– resulta conveniente indagar en una tendencia afín a la conversión del parque automotor en vehículos eléctricos de emisión cero.

Esa línea de trabajo, precisamente, es seguida por el Dr. Ing. Hernán Tacca (investigador, docente y actual director del Departamento de Ingeniería Electrónica) y su equipo con el objetivo de contribuir a un pronto cambio de paradigma en lo que refiere a la movilidad urbana.

“La tecnología híbrida presenta hoy un menor costo de operación pues las baterías de litio son todavía muy costosas y en el modo de operación de carga y descarga completa tienen una vida útil muy corta”.

“En lo posible, en las grandes ciudades deberían emplearse subterráneos, tranvías y trolebuses (en ese orden de prioridad). Por su alto costo de inversión la solución paliativa son los carriles exclusivos. Para esta aplicación, la diferencia entre la emisión final en la vía de comunicación, en la hora pico, no cambiará demasiado si los autobuses son puramente eléctricos o híbridos, pues queda dominada por las emisiones de los automóviles, dado que al circular los autobuses por carriles exclusivos lo hacen en menor tiempo y a velocidades en las que los motores tienen mayor eficiencia. En consecuencia, siendo la emisión total comparable, la tecnología híbrida presenta

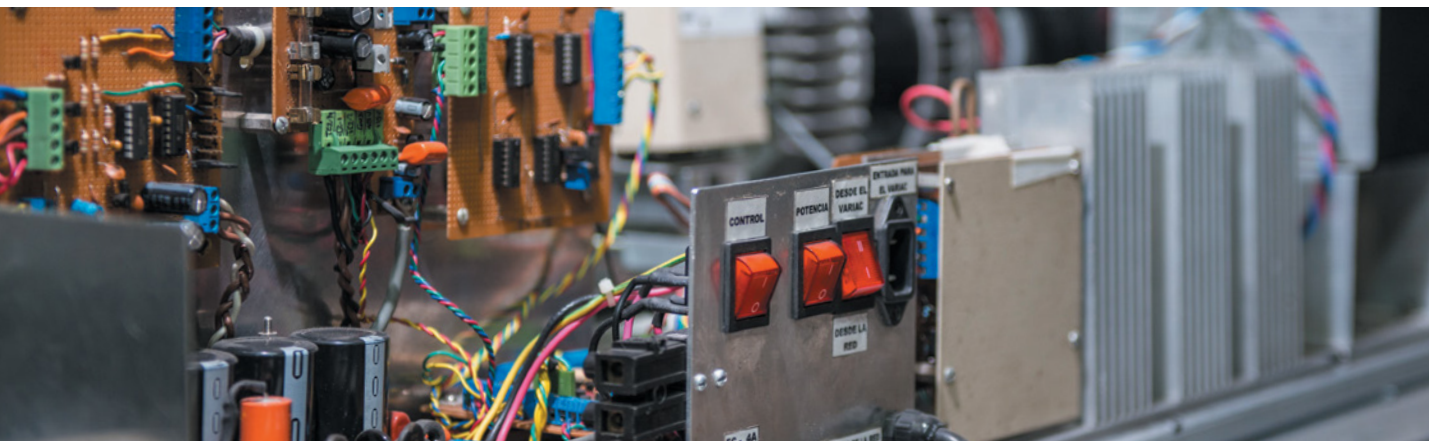
hoy un menor costo de operación pues las baterías de litio son todavía muy costosas y en el modo de operación de carga y descarga completa tienen una vida útil muy corta”, sostiene Tacca, para quien la industria local, con la colaboración de universidades y otros centros de investigación, “estaría en condiciones de diseñar y fabricar autobuses híbridos y puramente eléctricos. Si se emprendiera el desarrollo de un autobús híbrido de tipo serie, podría luego extenderse a trolebuses y autobuses de emisión cero (puramente eléctricos). Convendría también encarar el diseño de autobuses articulados de baja emisión”.

Según explica este especialista de la FIUBA, los vehículos híbridos combinan motores de combustión con motores eléctricos en dos formas distintas: en los denominados híbridos paralelos ambos tipos de motores suministran mecánicamente el par motriz a las ruedas, mientras que en los de tipo serie la tracción es provista por motores eléctricos que se alimentan de un reservorio de energía cuya carga proviene total o parcialmente de un generador impulsado por una máquina térmica.

Otro punto destacado por el director del Departamento de Electrónica de la Facultad tiene que ver con el impacto de los avances tecnológicos en las nuevas baterías. “Pareciera que para el uso urbano se va a imponer el automóvil exclusivamente eléctrico, pues las actuales baterías de litio podrían brindar autonomías aceptables para este uso. Es en el caso del transporte público automotor, así como en ferrocarriles ligeros, donde la alternativa híbrida sigue resultando de interés. Aunque el tema de la tracción no se vincula estrictamente con el de la conducción o guiado del vehículo, está emparentado al guiado autónomo por la cantidad y complejidad de la electrónica de última generación que ambas tecnologías implican, y es probable que en dos o tres décadas la mayor parte de los vehículos (tanto públicos como privados) sean robots con tracción eléctrica”.

El Laboratorio de Control de Accionamientos, Tracción y Potencia (LABCATyP), dependiente de dicho departamento, dispone del instrumental típico para desarrollo de circuitos electrónicos de potencia, dentro del cual se destaca un sistema para el diseño de accionamientos capaz de simular en tiempo real controladores concebidos en lenguajes de simulación gráficos de alto nivel.

“En este sentido –dice Tacca– hemos realizado el estudio de factibilidad para una terminal automotriz demostrando la posibilidad de realizar autobuses híbridos basados en un bastidor de



fabricación nacional actualmente en producción. El objetivo es desarrollar autobuses de 12 a 14 metros que cumplan con las exigencias actuales de la ley de tránsito vigente. La FIUBA, con la participación de sus distintos departamentos docentes, estaría en perfectas condiciones de diseñar o asesorar a terminales automotrices interesadas en emprender este tipo de proyectos”.

En la actualidad el laboratorio cuenta con dos investigadores formados y dos de apoyo, y es sede de cuatro trabajos de tesis doctoral y de una tesis de maestría. “Se han realizado otras tesis de posgrado en el pasado y habitualmente se realizan tesis de grado sobre temas diversos de electrónica de potencia. También se reciben todos los años pasantes de instituciones extranjeras”, detalla Tacca.

Acerca de su financiamiento, Tacca menciona al sistema UBACyT, así como la obtención de otros subsidios, algunos específicos, como el de la convocatoria realizada por la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación de la Nación para proyectos sobre transporte. “Hemos recibido donaciones de fundaciones empresarias para compra de equipamiento y donaciones menores por parte de empresas tipo pyme. Una parte del financiamiento proviene de servicios de asesoramiento y transferencias de tecnología a empresas pequeñas y a veces a otros centros de investigación públicos”, cuenta.

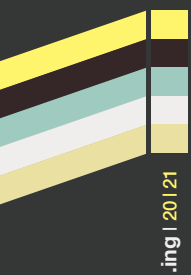
“Es una asignatura pendiente”, responde Tacca cuando se le pregunta por su opinión sobre el vínculo actual entre la universidad pública y el mercado industrial de base tecnológica. Y agrega: “Actualmente la mayoría de los centros de investigación intentan hacer transferencias de conocimientos a las empresas pero estas no siempre están en condiciones de recibir y aprovechar esas posibilidades. Por otra parte, en un contexto de



Dr. Ing. Hernán Tacca, actual director del Departamento de Ingeniería Electrónica.

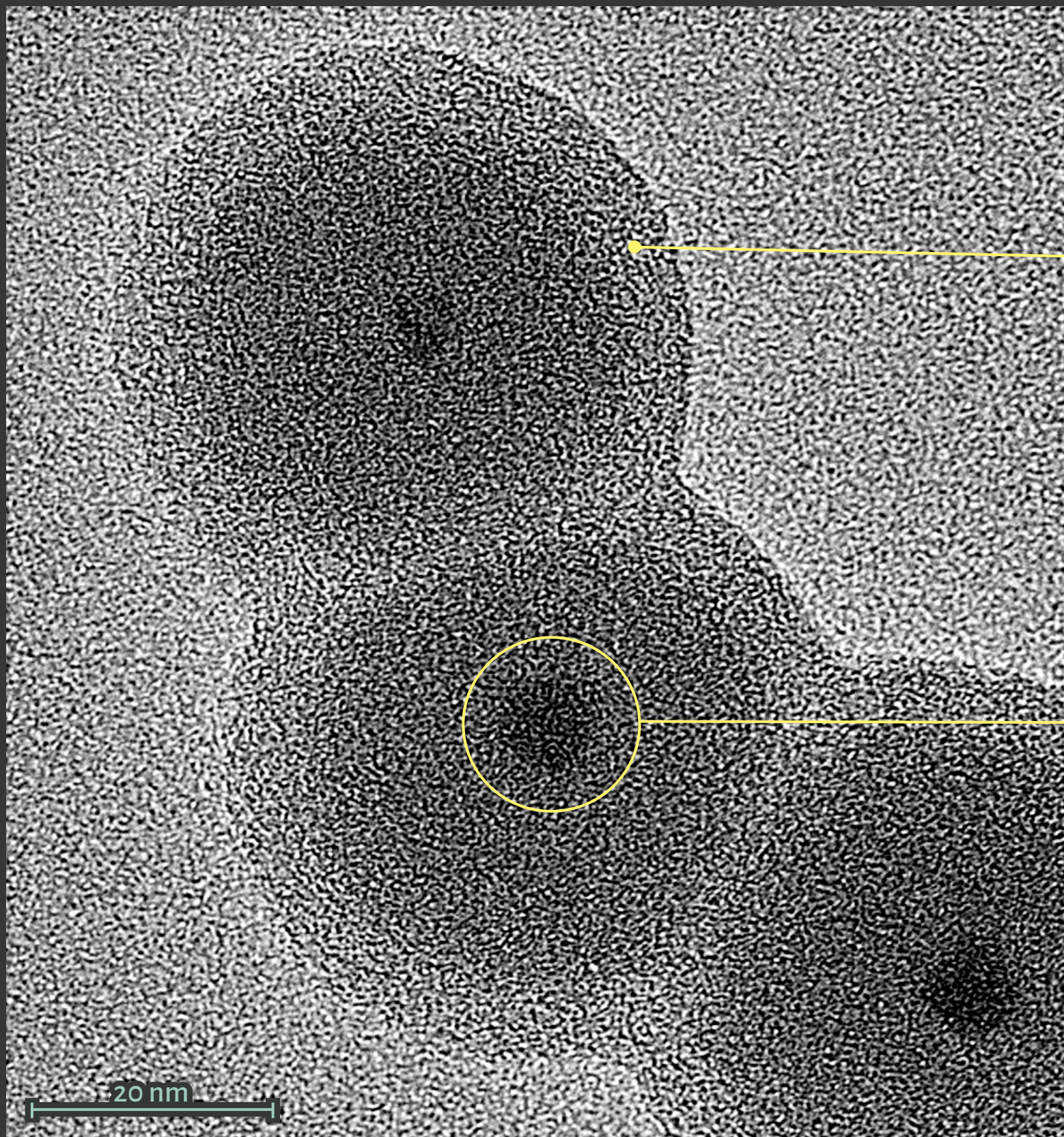
desprotección y de apertura unilateral de nuestro mercado no hay alicientes para tomar riesgos de inversión en el desarrollo de nuevas tecnologías. Con aranceles en algunos casos inferiores a los del Mercosur, las pequeñas y medianas empresas no podrán competir con las de Asia ni las de Brasil. Esto afectará adversamente el nivel de empleo en los puestos para desarrollo tecnológico dentro de las pymes y será un escollo que limitará las oportunidades de realizar transferencias tecnológicas a ese tipo de empresas”.

Sobre los próximos proyectos a abordar, Tacca explica que continúan investigando sobre temas de tracción eléctrica y también sobre temas básicos de convertidores de potencia y fuentes conmutadas de alta tensión. “Recientemente, hemos comenzado a trabajar en técnicas de procesamiento eléctrico de alimentos, que pensamos que tendrían un gran potencial de desarrollo en un país de matriz agropecuaria como el nuestro”, argumenta. ■



ZOOM

.ing | 20 | 21



Sistemas nanométricos cáscara-carozo de sílice y magnetita



CÁSCARA DE SÍLICE AMORFO

Este material es muy estable, no magnético y aislante eléctrico.

Sobre esta cáscara se puede adherir otro compuesto sobre el que pueden adherirse a su vez contaminantes biológicos, como virus o bacterias; o contaminantes químicos, como el arsénico o el plomo.



NÚCLEO DE NANOPARTÍCULA DE MAGNETITA

La dimensión nanométrica de la partícula de magnetita hace que esta manifieste el efecto de superparamagnetismo. Este efecto hace que la nanopartícula solo reaccione magnéticamente cuando se aplica un campo magnético.

Con este campo podemos orientar, detectar o mover al sistema de forma controlada.

Este sistema magnetita-sílice forma entonces la base para un sistema de **detección de contaminantes**, o de **preconcentración** para otros análisis de contaminación de aguas u otros líquidos.

Este desarrollo científico nanotecnológico –que actualmente se está realizando en el **Laboratorio de Sólidos Amorfos de la Facultad de Ingeniería de la UBA**– también puede ser usado como sistema modelo para el estudio de efectos como la magnetoresistencia gigante o el efecto Hall Gigante, de gran relevancia tecnológica.

Análisis electrocardiográfico latido-a-latido de la variabilidad de la repolarización ventricular en pacientes posinfarto del miocardio.

Dr. Pedro Arini y Ing. Esteban Valverde

Instituto de Ingeniería Biomédica, Facultad de Ingeniería, UBA, Argentina.
Instituto Argentino de Matemática, "Alberto P. Calderón" CONICET, Buenos Aires, Argentina.

Resumen

Diversos estudios han mostrado que la variabilidad latido-a-latido de la repolarización ventricular, la cual puede ser computada mediante el índice de la varianza espectral de la onda T (TSV del inglés *T-wave spectral variance*), constituye un marcador de riesgo cardíaco. Más aún, se ha reportado que las propiedades del potencial de acción son alteradas durante los estadios del infarto en curación *healing* (días, semanas posinfarto) y cicatrizado *healed* (meses posinfarto).

Sin embargo, no existe información respecto de la influencia del tiempo luego del infarto de miocardio (MI del inglés *myocardial infarction*) en la modulación de la variabilidad de la repolarización ventricular latido-a-latido.

En el presente trabajo hemos evaluado el índice TSV durante los estadios *healing* y *healed* del MI utilizando las doce derivaciones estandarizadas del ECG (electrocardiograma).

Para esto se utilizaron los ECG de sujetos sanos o controles ($n=49$) y los ECG de pacientes luego de sufrir un MI ($n=38$), uno dentro de los primeros siete días (MI7) y otro luego de los sesenta días (MI60) de la fecha del infarto.

Hemos considerado las derivaciones preferenciales del ECG como aquellas en las cuales el índice TSV ha presentado un cambio relativo mayor a 10 en MI7 respecto del control. Los resultados indican que el índice TSV mostró un incremento significativo ($p < 0.0005$) en las derivaciones I, II, aVR, aVF, V3, V4, V5 y V6 en la fase *healing* del MI (MI7). Además, en la fase *healed* del MI (MI60),

el índice TSV tiende a disminuir hacia el valor de los controles. Además, calculamos el índice TSV multi-derivación (ML del inglés *multilead*) basado en las derivaciones preferenciales del ECG. En este sentido, el criterio ML mostró una mejor *performance* al cuantificar la variabilidad de la repolarización latido-a-latido que cualquier otra derivación del ECG considerada. La sensibilidad, especificidad y AUC del índice TSV fueron: 92%, 90% y 0.96 para MI7; y 76%, 84% y 0.81 para MI60, respectivamente.

Por otra parte, la variabilidad de la repolarización ventricular latido-a-latido ha sido cuantificada por el índice de variabilidad del intervalo QT (QTVI del inglés QT variability interval). Aunque los resultados obtenidos con el índice TSV fueron comparables con los obtenidos con el QTVI, este último no reflejó el efecto de modulación asociado al tiempo transcurrido desde el MI. Además, fueron calculadas las derivaciones preferenciales dependiendo del sitio de oclusión usando el índice TSV, siendo V4 para el infarto anterior y aVF para el infarto inferior, respectivamente. Finalmente, este estudio podría ayudar a entender el rol de los estadios *healing* y *healed* posteriores al MI en la modulación latido-a-latido de la repolarización ventricular.

Introducción

Se ha observado que luego del infarto de miocardio, los pacientes tienen una alta incidencia de arritmias ventriculares y muerte súbita cardíaca [1]. Además, las modificaciones persistentes de

la heterogeneidad de la repolarización ventricular constituyen un importante indicador de riesgo cardíaco en pacientes con isquemia cardíaca [2]. Por otra parte, se ha demostrado que varias fases arrítmicas ocurren luego del comienzo del MI inducido [3]. La hipótesis más fuerte, avalada por resultados experimentales, sugiere que la arritmia cardíaca puede ser explicada como consecuencia de alteraciones en la actividad eléctrica en zonas específicas del corazón, luego del MI [3]. Durante las etapas de curación *healing* (días, semanas) o de cicatrización *healed* (meses) del MI, es posible inducir taquicardias ventriculares sostenidas [4]. Este fenómeno sugiere la existencia de caminos de reentrada y bloqueos de conducción en las diferentes fases del MI.

La repolarización ventricular es un proceso complejo que varía en duración latido-a-latido. En este sentido, varias investigaciones clínicas han estudiado la variabilidad latido-a-latido en el intervalo QT, como un camino para cuantificar la labilidad de la repolarización ventricular [5-7]. Por otro lado, se ha mostrado que modificaciones en la morfología de la onda T están asociadas con un incremento en la heterogeneidad de la repolarización ventricular [8, 9]. Existen evidencias de que, bajos niveles de amplitud en la variación latido-a-latido en la repolarización ventricular pueden ser medidos utilizando el índice de varianza espectral de la onda T (TSV), basado en la transformada bidimensional del Fourier (FFT-2D, del inglés *Fast Fourier Transform*), la cual permite detectar cambios dinámicos en el patrón de repolarización independientemente de la definición exacta del fin de la onda T [10-13]. Steinbigler y colaboradores mostraron que el índice TSV reveló un incremento en la heterogeneidad de la repolarización ventricular en pacientes propensos a desarrollar taquicardia ventricular (VT del inglés *ventricular tachycardia*) y fibrilación ventricular (VF del inglés *ventricular fibrillation*) luego de sufrir un MI, en dos derivaciones ortogonales estandarizadas de Holter, mientras que el intervalo QT corregido no mostró diferencias significativas [10]. Además, Valverde y colaboradores estudiaron la evolución temporal del índice TSV en una sola derivación de ECG utilizando un modelo de infarto crónico en animales [11]. Luego, en otro trabajo posterior, Valverde y colaboradores encontraron que existe una derivación preferencial de ECG para analizar el índice TSV dependiendo del sitio de oclusión, durante un procedimiento de intervención coronaria percutánea (PCI del inglés *percutaneous coronary intervention*) [13].

Basados en los estudios citados anteriormente, nos proponemos entender la relación entre las fases del infarto *healing* y *healed* y la variabilidad de la repolarización ventricular latido-a-latido. En consecuencia, los objetivos de este trabajo son: (1) analizar las fases del MI utilizando el índice TSV y evaluar las derivaciones preferenciales para aplicar un criterio ML; (2) estudiar las derivaciones preferenciales dependiendo del sitio de oclusión; (3) mostrar la comparación entre el índice TSV y el índice de variabilidad del QT, y evaluar ventajas y desventajas de ambos.

Materiales y métodos

Base de datos

Se utilizó la base de datos de ECG *Physikalisch-Technische Bundesanstalt* (PTB), la cual se encuentra libremente disponible en *Physio-Bank* [14]. Esta base de datos comprende 52 sujetos sanos y 148 pacientes con MI. Los registros de ECG fueron digitalizados a 1000 muestras por segundo, con una resolución de 16 bits sobre un rango de ± 16.384 mV con 2000 unidades A/D por mV. Cada registro incluye las 12 derivaciones simultáneas y convencionales de ECG.

Seleccionamos los siguientes grupos de acuerdo con el resumen de la historia clínica incluida en la base de datos PTB [15]: el registro de ECG de sujetos sanos (control), $n=49$ (37 hombres y 12 mujeres 43 ± 14 años), y aquellos pacientes infartados sin taquicardia ventricular documentada (VT) y/o fibrilación ventricular (VF), que simultáneamente comprenden dos registros de ECG, $n=38$ (31 hombres y 7 mujeres, 55 ± 10 años): un registro dentro de los primeros siete días (MI7, fase *healing*) del MI, y otro 60 días (MI60, fase *healed*) luego del MI. Con el objetivo de analizar el índice TSV en las derivaciones preferenciales dependiendo del sitio del MI, agrupamos a los pacientes MI sin VT/VF en dos grupos: aquellos pacientes que presentaron al área anterior afectada, $n=20$: anterior ($n=2$), antero-lateral ($n=7$) y antero-septal ($n=11$); y aquellos pacientes que presentaron infarto en el área inferior, $n=17$: inferior ($n=10$), infero-lateral ($n=6$), infero-postero-lateral ($n=1$).

Ninguno de los sujetos analizados presentó bloqueo de rama o defectos de conducción intraventricular. La duración de los QRS de los sujetos sanos fueron comparables con los pacientes MI. Los datos se estudiaron anónimamente utilizando la información disponible, por lo que ningún estamento ético se requirió para esta investigación [14].

Preprocesamiento del ECG

Aplicamos preprocesamiento de señales a las 12 derivaciones de los registros del ECG de todos los grupos. Los registros de ECG fueron filtrados con filtro notch (Butterworth, 2° orden, 50 Hz) para minimizar la interferencia de la línea de red. Un filtro de interpolación cúbica se utilizó para atenuar los movimientos de línea de base y artefactos respiratorios [16]. Luego, los complejos QRS y sus puntos extremos fueron detectados en cada derivación de ECG utilizando una versión modificada del algoritmo propuesto por Pan and Tompkins [17]. Un QRS patrón se construyó calculando la mediana del total de los complejos QRS para cada derivación. Posteriormente, si el coeficiente de correlación entre los complejos QRS y cada patrón fue mayor al 98%, un nuevo QRS centrado fue calculado, de lo contrario el complejo se rechazó. A partir de 80 ms del punto final del QRS centrado, se definió una ventana de 250 ms de duración de manera de construir una matriz de ondas T [13]. Esto determinó la matriz de entrada de ondas T alineadas para el proceso FFT-2D.

Además, consideramos diferentes anchos de ventana para la matriz de ondas T. Para esto, computamos en cada sujeto y para cada derivación de ECG el ancho de la onda T usando un delineador wavelet de ECG [18]. Luego, observamos que una ventana de 250 ms fue suficiente para cubrir el total del proceso de repolarización ventricular en control, MI7 y MI60 respectivamente.

Índice de la variancia espectral de la onda T

Calculamos el índice TSV usando el algoritmo descrito en [12], el cual fue modificado por Valverde y colaboradores en [13]. Brevemente, la FFT unidimensional (FFT-1D) se aplicó a cada onda T en la matriz de ondas T, determinándose su contenido frecuencial. Con el objetivo de evitar discontinuidades, los datos de entrada fueron previamente multiplicados por una ventana de Blackman. El resultado es una matriz conteniendo el espectro de potencia de cada onda T, en el cual el eje-x corresponde al contenido de frecuencia en Hz y la amplitud (eje-z) corresponde a la magnitud del espectro de potencia, expresado en μV^2 . Una segunda FFT-1D se aplicó al ensamble de espectro de potencia de cada onda T de manera de evaluar la periodicidad de aparición de cada contenido en frecuencia (eje-y), expresado en ciclos-por-latido (cpb, del inglés *cycles-per-beat*). Hemos calculado el índice TSV, sin unidades (n.u.), como la relación de la energía espectral con variabilidad latido-a-latido mayor a 0cpb y la energía espectral total, desde 0 a 50Hz. En consecuencia, calculamos la variabilidad latido-a-latido de la onda T de la siguiente manera:

$$TSV = \frac{\text{energía espectral} > 0cpb}{\text{energía espectral total}} \Big|_{< 50 \text{ Hz}}$$

Además, evaluamos la relación ruido/amplitud de la onda T (NTR del inglés *Noise/T-wave amplitude Ratio*) entre la energía espectral del ancho de banda del ruido (50-100Hz) respecto de la energía espectral de la onda T (0-50Hz), para variaciones > 0cpb [13].

$$TSV = \frac{\text{energía espectral (50-100 Hz)}}{\text{energía espectral (0-50 Hz)}} \Big|_{< 0 \text{ cpb}}$$

Aquellos pacientes que mostraron al menos una matriz de ondas T con menos de 64 ondas T consecutivas, fueron rechazados. La relación de ruido se obtuvo en cada matriz y a aquellos pacientes con una NTR mayor a 0.30 se los consideró ruidosos y se rechazaron.

Cambio relativo del índice TSV y criterio ML

El valor medio $\overline{TSV}^C$ de cada sujeto control se obtuvo para cada derivación, y de la misma manera, se obtuvieron $\overline{TSV}^{MI7}$ y $\overline{TSV}^{MI60}$. Los resultados se presentaron como media $\pm$ desvío estándar de la media (SEM). Además, para cada derivación de ECG, el cambio relativo entre los grupos MI7 y control se definió como

$$R^{MI7} = \frac{\overline{TSV}^C}{\overline{TSV}^{MI7}}$$

y de la misma manera se calculó

$$R^{MI60} = \frac{\overline{TSV}^{MI60}}{\overline{TSV}^C}$$

Basado en el análisis del cambio relativo, seleccionamos las derivaciones de ECG preferenciales a aquellas que presentaron un $R^{MI7} > 10$. Más aún, propusimos calcular el criterio ML de la siguiente manera:

$$TSV_{ML}^C = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M TSV(i)^C$$

Para la situación control, en donde $i = 1..M$, son las llamadas derivaciones preferenciales de ECG. De la misma manera, TSV_{ML}^{MI7} y TSV_{ML}^{MI60} fueron calculados. Además, los valores medios $\overline{TSV}_{ML}^C$, $\overline{TSV}_{ML}^{MI7}$ y $\overline{TSV}_{ML}^{MI60}$ también fueron calculados.

Derivaciones preferenciales del ECG dependiendo del lugar del infarto

Evaluamos dos conjuntos de pacientes: aquellos con MI anterior e inferior. Estudiamos la dependencia de las derivaciones del ECG de acuerdo con el lugar del daño de miocardio. En este sentido, calculamos el índice TSV aplicando el siguiente criterio: primero, el cambio relativo en MI7 debe ser máximo y simultáneamente el MI60 debe ser menor que 10; en segundo lugar, la diferencia del índice TSV entre control y MI7 y entre control y MI60 debe ser estadísticamente significativa.

Índice de variabilidad del intervalo QT

Para comparar el índice TSV con otro método estandarizado el cual cuantifica la variabilidad de la repolarización latido-a-latido, el índice de variabilidad del intervalo QT (QVTI) fue calculado [5]. El QVTI cuantifica la magnitud de las fluctuaciones del intervalo QT, normalizado por tanto la duración y la magnitud de las fluctuaciones de la frecuencia cardíaca. Para calcular el QVTI, el comienzo de cada complejo QRS y el final de la onda T fueron medidos usando una versión modificada del delineador wavelet para ECG propuesto por Martínez y colaboradores [18].

Por cada sujeto, se obtuvo un único QVTI como el valor medio del QVTI obtenido en todas las derivaciones. Propusimos este único valor de manera de evitar inconveniencias al seleccionar diferentes derivaciones de ECG por cada paciente, como se implementó en [5-7]. El análisis del QVTI se realizó en los grupos control, MI7 y MI60 (ver sección 3).

Análisis estadístico

De manera de determinar la significancia estadística del índice TSV entre control, MI7 y MI60, dicho índice se calculó en cada paciente y por cada derivación. El test de normalidad de D'Agostino se utilizó con el objetivo de cuantificar la discrepancia entre la distribución del índice TSV y una distribución ideal Gaussiana. Además, para evaluar la influencia de la frecuencia cardíaca en la estimación de la variabilidad de la onda T, analizamos el intervalo RR en todos los latidos considerados para las situaciones control, MI7 y MI60. El valor medio de los intervalos RR de

todos los grupos se obtuvo promediando el intervalo RR de cada sujeto.

Se utilizaron el test no paramétrico de Mann-Whitney a dos colas para analizar muestras no apareadas y el test de rango de Wilcoxon para analizar muestras apareadas. Cuando el valor de $p < 0.05$, las diferencias fueron consideradas estadísticamente significativas.

Para evaluar la *performance* del índice TSV, evaluamos la sensibilidad, especificidad y el área bajo la curva (AUC del inglés *Area Under the Curve*) para los grupos MI7 y MI60, ambos respecto del grupo control.

Resultados

El TSV se calculó para los grupos control, MI7 y MI60. El test de Mann-Whitney no paramétrico a dos colas se usó entre control y MI7 y también entre control y MI60. La media $\pm$ SEM de los valores del TSV, para cada derivación, con su significancia estadística, son presentados en la Fig. 1.

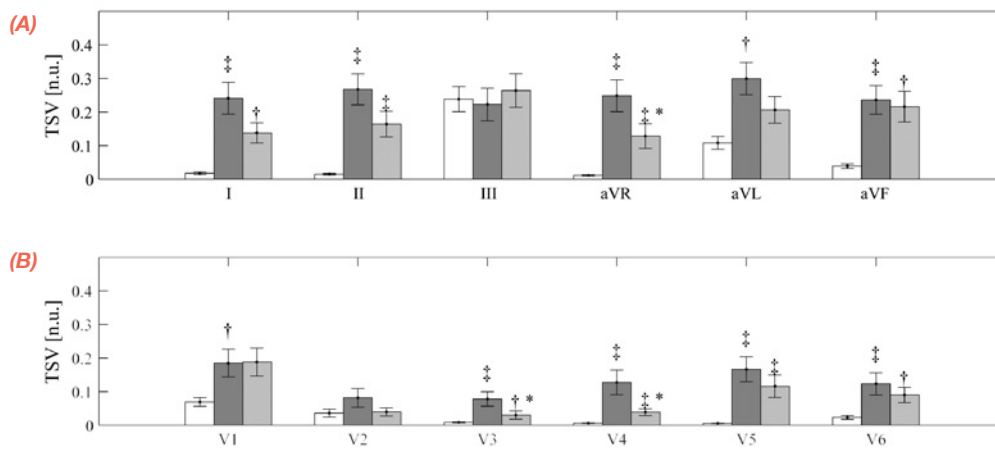


Fig. 1

Gráfico de barras mostrando el índice TSV de los sujetos sanos (barras blancas), primeros siete días del MI (barras gris oscuro) y luego de 60 días del MI (barras gris claro), sin unidades, como la media $\pm$ SEM de cada derivación. (A) Derivaciones frontales del ECG y (B) derivaciones precordiales del ECG. † $p < 0.05$, ‡ $p < 0.0005$ respecto del grupo control. * $p < 0.05$ indica diferencia estadísticamente significativa del índice TSV entre MI7 y MI60.

El cambio relativo del TSV para MI7 y MI60, ambos respecto de los sujetos sanos, para cada derivación, son mostrados en la Fig. 2. Hemos observado que las derivaciones preferenciales son: las derivaciones frontales I, II y aVR, y las derivaciones precordiales V4 y V5.

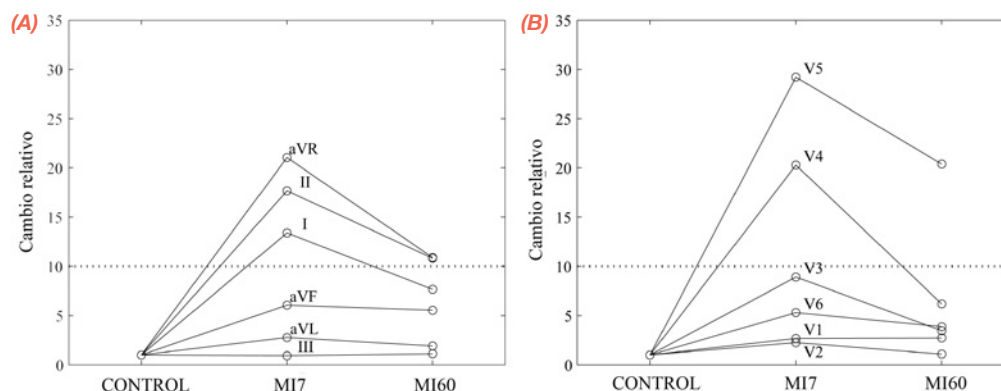
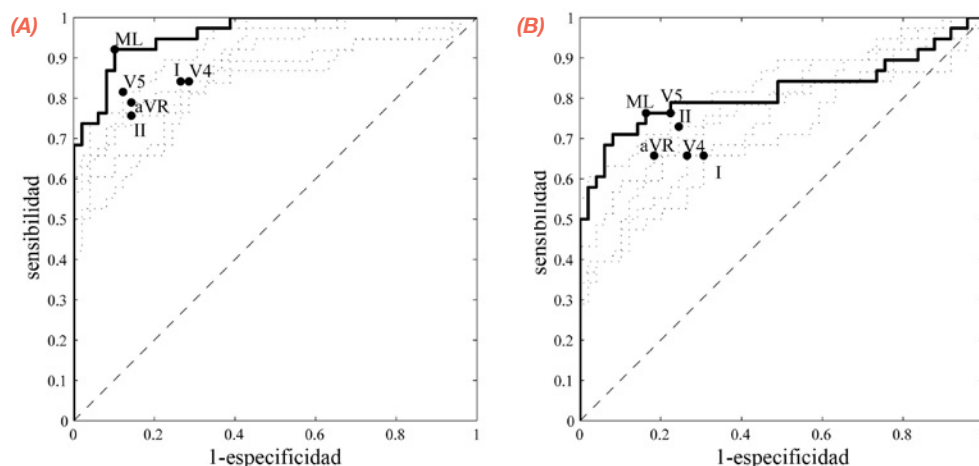


Fig. 2.

Cambio relativo, expresado en veces, de la población completa, para el grupo MI7 (RMI7) y para el grupo MI60 (RMI60) ambos respecto de grupo control, para cada derivación. (A) Muestra las derivaciones frontales y (B) muestra las derivaciones precordiales.

Fig. 3

Curvas de sensibilidad vs. 1-especificidad para las derivaciones preferenciales (línea de puntos) y ML (línea sólida). El valor umbral óptimo del TSV para cada derivación considerada y ML se encuentran en los puntos llenos: (a) MI7 respecto del grupo control y (b) MI60 respecto del grupo control.



El criterio ML mostró que $\overline{TSV}_{ML}^C = 0.011 \pm 0.002 \pm^*$; $\overline{TSV}_{ML}^{MI7} = 0.212 \pm 0.035 \dagger$ y $\overline{TSV}_{ML}^{MI60} = 0.117 \pm 0.020$, todos expresados como media $\pm$ SEM, siendo $\dagger$ $p < 0.0005$, y $\dagger$ $p < 0.05$ para MI7 y MI60 respecto del grupo control y $*$ $p < 0.05$ entre MI7 y MI60.

Las curvas de sensibilidad vs. 1-especificidad para las derivaciones preferenciales de ECG y ML son mostradas en la Fig. 3 para los grupos MI7 y MI60, ambos respecto de la situación control.

La Tabla 1 muestra la sensibilidad, especificidad y AUC de los índices TSV por cada derivación y ML para los grupos MI7 y MI60 respecto del grupo control.

Tabla 1.

Sensibilidad y especificidad, expresados en porcentaje, y AUC, sin unidades, de los índices TSV de cada derivación, ML y QTVI para ambos grupos MI7 y MI60 respecto de los sujetos sanos.

		I	II	III	aVR	aVL	aVF	V1	V2	V3	V4	V5	V6	ML	QTVI
MI7	Sens	84	76	31	79	53	76	55	63	74	84	82	63	92	88
	Espec	73	86	72	86	84	71	61	51	67	71	88	78	90	92
	AUC	0.84	0.86	0.44	0.90	0.65	0.77	0.65	0.61	0.76	0.86	0.93	0.78	0.96	0.95
MI60	Sens	66	73	37	66	47	54	50	58	61	66	76	82	76	82
	Espec	69	76	72	86	71	78	65	53	67	73	78	51	84	82
	AUC	0.72	0.77	0.49	0.76	0.59	0.67	0.58	0.53	0.67	0.75	0.84	0.71	0.81	0.88

La Tabla 2 muestra el índice TSV (media $\pm$ SEM), el cambio relativo, la sensibilidad, especificidad, AUC y las derivaciones preferenciales dependiendo del sitio del MI, obtenidos al separar a los grupos por infarto anterior e inferior respecto de los sujetos sanos, considerando los estadios MI7 y MI60.

Tabla 2.

Valor medio del TSV $\pm$ SEM, sin unidades, cambio relativo, sin unidades, sensibilidad y especificidad, expresados en porcentaje, AUC, sin unidades y derivaciones preferenciales del ECG dependiendo del sitio del MI, considerando los grupos anterior e inferior respecto de los sujetos sanos, siendo $\dagger$ $p < 0.0005$ and $\dagger$ $p < 0.05$ para MI7 y MI60 respecto de la situación control.

		$\overline{TSV} \pm \text{SEM}$	R	Sens	Spec	AUC	Lead
Anterior	MI7	$0.141 \pm 0.056 \dagger$	22	90	73	0.90	V4
	MI60	$0.054 \pm 0.017 \dagger$	9	70	90	0.81	
Inferior	MI7	$0.250 \pm 0.078 \dagger$	21	76	80	0.86	aVR
	MI60	$0.081 \pm 0.036 \dagger$	7	76	69	0.76	

El QTVI (media $\pm$ SEM), sin unidades, mostró diferencias significativas entre control (-1.31 ± 0.07) y MI7 (0.14 ± 0.12), $p < 0.0005$. De la misma manera, el QTVI mostró diferencias significativas entre control y MI60 (-0.19 ± 0.14), $p < 0.0005$. Sensibilidad, especificidad y AUC se muestran en la Tabla 1. No se encontraron diferencias significativas entre MI7 y MI60.

En la Fig. 4 puede observarse un paciente en particular en el cual el espectro de potencia muestra un decremento en la energía a todas las periodicidades excepto a 0cpb para MI60 (Fig. 4f) respecto de MI7 (Fig. 4e), resultando en un menor índice TSV en el estadio MI60 respecto al MI7. Además, en la misma figura puede observarse el espectro de los sujetos (Fig. 4d).

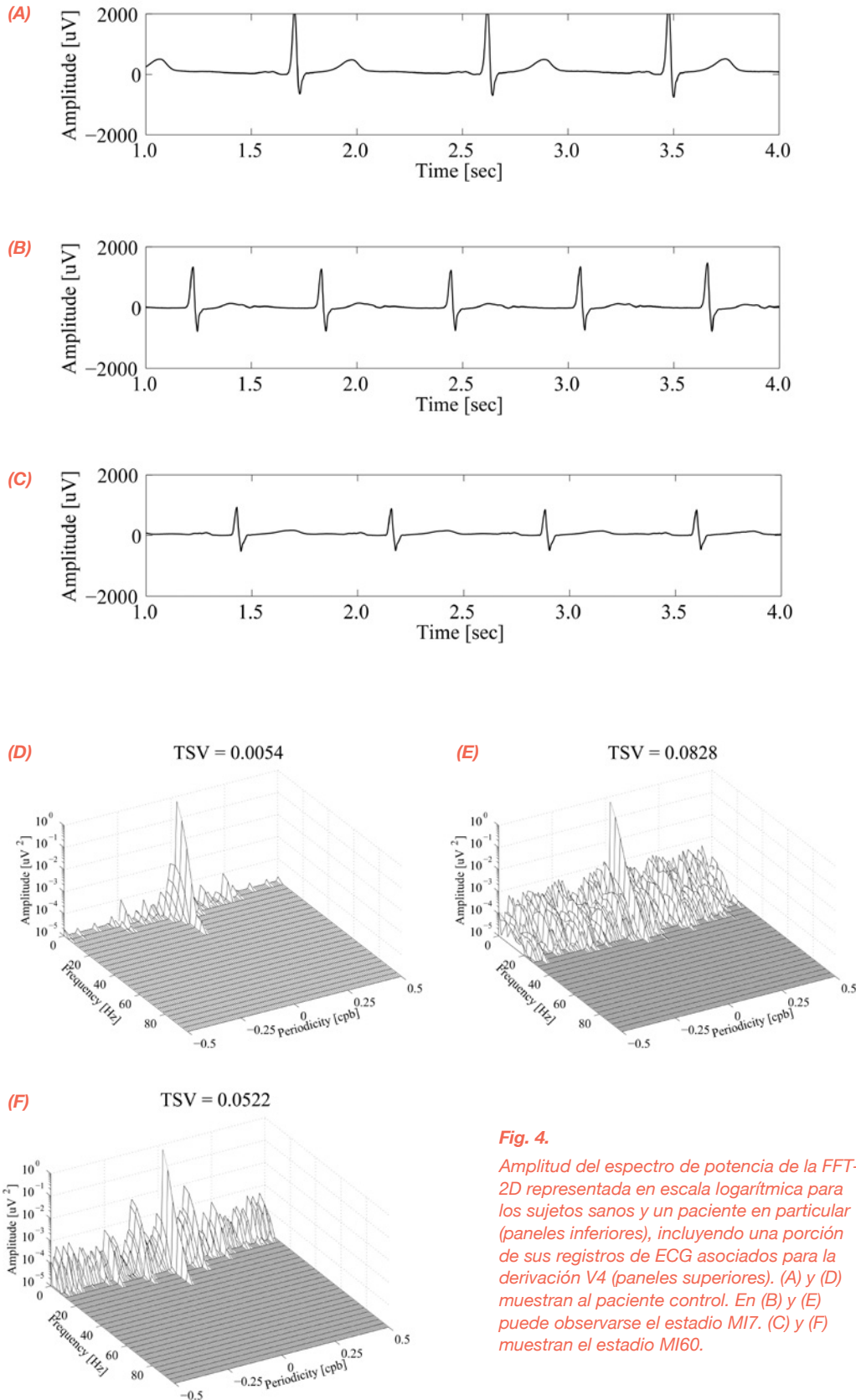


Fig. 4.

Amplitud del espectro de potencia de la FFT-2D representada en escala logarítmica para los sujetos sanos y un paciente en particular (paneles inferiores), incluyendo una porción de sus registros de ECG asociados para la derivación V4 (paneles superiores). (A) y (D) muestran al paciente control. En (B) y (E) puede observarse el estadio MI7. (C) y (F) muestran el estadio MI60.

El intervalo RR (media $\pm$ SEM) presentó diferencias significativas entre MI7 (730 ± 19 ms) respecto de control (896 ± 21 ms) y MI60 (843 ± 19 ms), $p < 0.0005$ respectivamente. Por otra parte, no se observó diferencia estadísticamente significativa entre los grupos control y MI60.

La duración del QRS (media $\pm$ SEM) no mostró diferencias significativas entre control (84 ± 1 ms) y ambos grupos MI7 (87 ± 2 ms) y MI60 (89 ± 2 ms), $p = \text{NS}$ respectivamente. Además, no se observaron diferencias significativas entre los grupos MI7 y MI60.

Discusión

Se sabe que la fase *healed* del MI es el estadio clínico más frecuente para desarrollar VT sostenida. Sin embargo, el primer episodio de la VT puede ocurrir años después del MI, frecuentemente sin la aparición de evidencia clínica [19]. En consecuencia, es amplio el rango, yendo desde la VT sostenida tolerable hasta la muerte súbita. Además, es probable que varios eventos necesiten coincidir para producir un paro cardíaco, una susceptibilidad subyacente a una VT/VF debido a una cicatriz del miocardio, anomalías en la conducción y repolarización junto con alteraciones en la modulación autonómica [20]. Más aún, ha sido recientemente evaluada la asociación de los patrones de repolarización y despolarización electrocardiográficos con la vulnerabilidad hacia las taquiarritmias ventriculares [21]. Los resultados mostraron que anomalías en la despolarización ventricular son más comunes en pacientes post-MI con una VT/VF previa que en aquellos con taquiarritmias ventriculares documentadas. Simultáneamente, se ha mostrado que una morfología anormal de la onda T y alternancias de la onda T parecen reflejar la enfermedad cardíaca más que una vulnerabilidad específica a las VT/VF [21].

En el presente trabajo, cuando analizamos las derivaciones preferenciales del ECG, se observó un incremento del índice TSV en MI7 y una tendencia a disminuir en MI60 respecto de los sujetos normales. De la misma manera, en [11], el modelo animal mostró un comportamiento similar del índice TSV entre los 15 y 45 días luego de la cirugía en comparación con la situación control.

Ambas evidencias podrían estar asociadas a la idea de que el índice TSV sufre algún tipo de modulación en los dos estadios del infarto: primero, la etapa *healing* del MI (MI7) con un abrupto incremento del índice TSV y luego, en la fase *healed* del MI (MI60), con una tendencia a disminuir el índice TSV hacia los valores control.

Análisis del índice TSV en MI7

Observamos que $\overline{TSV}^{MI7}$ comparado con $\overline{TSV}^C$ fue estadísticamente significativo para todas las derivaciones del ECG menos para las derivaciones III y V2, como puede observarse en la Fig.1. Estos resultados sugieren que el índice de variabilidad latido-a-latido podría no ser fuertemente dependiente de la derivación de ECG analizada dentro de los primeros siete días del MI. Sin embargo, en un análisis más exhaustivo del índice TSV, encontramos que

las derivaciones preferenciales alcanzaron un valor máximo de cambio relativo que va desde 13 hasta 29 (ver fig. 2). De acuerdo con los resultados recién mencionados, observamos que la sensibilidad va desde 76% hasta 84%, la especificidad desde 71% hasta 88% y el AUC desde 0.84 hasta 0.93, como puede observarse en la Tabla 1.

La razón por la cual la repolarización latido-a-latido está modificada no es fácil de explicar, pero podemos ofrecer una explicación hipotética. La zona de borde epicárdico (EBZ del inglés *epicardial border zone*) [4,22], es una región propensa a causar VT/VF durante la fase *healing*. En esta etapa el remodelado eléctrico incrementa el tejido conectivo y el edema, produciendo una anisotropía no uniforme [3]. Dicho fenómeno puede producir caminos de reentrada y bloqueos de conducción, incrementándose el riesgo cardíaco. Más aún, se ha demostrado que el remodelado eléctrico luego del MI no está confinado al EBZ, sino que también puede extenderse a regiones no infartadas del miocardio, produciendo una marcada heterogeneidad de la repolarización ventricular a lo largo del tiempo [23]. Además, experimentos en vivo durante la fase *healing* presentaron electrogramas fraccionados que produjeron activación lenta y discontinua la cual frecuentemente cambió latido-a-latido [24].

Por esto, podemos hipotetizar que estas inhomogeneidades a lo largo del tiempo podrían ser trasladadas a los cambios del índice TSV. La hipótesis recién mencionada puede reforzarse cuando la variabilidad de la repolarización latido-a-latido se calculó utilizando el intervalo QT. En este sentido se observó que la variabilidad del QT está influenciada por varios factores que juegan roles diferentes dependiendo del remodelado estructural y eléctrico tal y como se observó en [25].

Análisis del índice TSV en MI60

Observamos que $\overline{TSV}^{MI60}$ comparado con $\overline{TSV}^C$ fue estadísticamente significativo para todas las derivaciones menos para las derivaciones III, aVL, V1 y V2 como puede observarse en la Fig.1. Además, en el análisis de las derivaciones preferenciales de ECG, todas fueron significativamente diferentes cuando el índice TSV se contrastó entre MI60 y control. Además, el cambio relativo, RMI60, fue mayor que 10 para II, aVR y V5, pero no para I y V4. Simultáneamente a los resultados recién presentados, puede observarse que R^{MI60} disminuye hacia R^{MI7} , como puede observarse en la Fig. 2. Además, cabe resaltar que las derivaciones aVR, V3 y V4 son estadísticamente significativas cuando se comparó $\overline{TSV}^{MI7}$ respecto de $\overline{TSV}^{MI60}$. Estos resultados muestran que luego de 60 días del MI, los índices TSV de las derivaciones preferenciales de ECG tienden a disminuir hacia los valores de la situación control. Además, la sensibilidad fue desde 66% hasta 76%, la especificidad desde 69% hasta 82% y el AUC desde 0.72 hasta 0.84, como puede observarse en la Tabla 1. Debido a que el índice TSV en MI60 se mantiene mayor con respecto a los sujetos sanos, pero menor que en MI7, podríamos suponer

que el índice de variabilidad latido-a-latido podría estar marcando un infarto silencioso o un área de menor isquemia en los ventrículos, fenómeno que puede ser expresado en forma de cambios sutiles a niveles del microvolt en la morfología de la onda T.

Por otro lado, un estudio experimental comparó las fases de MI *healing* (1-2 semanas) y *healed* (2-16 meses) [22]. Ellos observaron que en esta última fase el perfil de la duración del potencial de acción (APD del inglés *Action Potential Duration*) retornó casi a valores normales, sugiriendo la presencia de un proceso que ha sido denominado “remodelado inverso” en concordancia con otros estudios [26, 27]. Además, se ha mostrado la existencia de características en la variabilidad latido-a-latido al comienzo y final del complejo QRS [28], resultados que pueden correlacionarse con la inestabilidad eléctrica miocárdica y un clínicamente importante valor predictivo para las arritmias ventriculares. Considerando los siguientes estudios [26-28], nuestros resultados soportan la hipótesis de que, en la fase *healed* del MI hay un cierto decremento en la diferencia de los APD a lo largo del tiempo (esto es, los perfiles retornan a los valores normales), fenómeno que podría trasladarse a una disminución del índice TSV.

Evaluación del criterio ML

Con el objetivo de obtener una única estimación de la variabilidad latido-a-latido en los pacientes infartados, calculamos el valor medio del índice TSV utilizando las derivaciones preferenciales. En este sentido, el criterio ML mostró mejores resultados que cualquier derivación de ECG para la sensibilidad, especificidad y AUC, tal y como puede observarse en la Fig. 3 y en la Tabla 1 (92%, 90% y 0.96 para MI7; y 76%, 84% y 0.82 para MI60).

Selección de las derivaciones preferenciales de ECG de acuerdo al sitio del MI

Cuando los pacientes fueron estudiados de acuerdo al área infartada, observamos que las derivaciones preferenciales de ECG que dependían del sitio del MI eran V4 para el infarto anterior y aVR para el infarto inferior respectivamente (ver Tabla 2). Observamos que, aunque hay derivaciones de ECG de acuerdo al sitio del infarto, el criterio ML alcanzó mejores resultados en sensibilidad, especificidad y AUC que aquellos obtenidos a partir de las derivaciones preferenciales dependiendo del sitio de MI, como puede observarse en las Tablas 1 y 2.

Comparación entre el índice TSV y QTVI

Puede observarse en la Tabla 1 que el índice TSV para el criterio ML mostró una mayor sensibilidad para MI7 y mayor especificidad para MI60 que el QTVI. Más aún, el QTVI mostró una mayor especificidad para MI7 y mayor sensibilidad para MI60 que el índice TSV para el criterio ML. Además, ambos índices tienen la misma significancia estadística entre control y MI7 y MI60 respectivamente. El índice TSV para el criterio ML mostró diferencias estadísticamente significativas entre

MI7 y MI60 mientras que el QTVI no las detectó ($p = \text{NS}$). Por lo tanto, el TSV mostró el efecto de modulación sobre la variabilidad latido-a-latido producida por el tiempo transcurrido luego del MI, como previamente se observó en el modelo animal [11].

Las técnicas anteriormente descritas para la evaluación automática del intervalo QT latido-a-latido se basan principalmente en el criterio de detección del punto final de la onda T, en consecuencia la medición del QT es altamente dependiente de la morfología de la onda T; cuando dicha onda es baja en amplitud y pendiente. Por lo tanto, es posible introducir errores en la medición de dicho intervalo [10, 29, 31]. En contraste, Berger y colaboradores [5] propusieron la variabilidad del QT como una técnica robusta e insensible a las inexactitudes en la medición del intervalo QT utilizando compresión o estiramiento del segmento JT en cada latido analizado al hacerlo coincidir con un latido templado. Además, con la técnica del índice TSV no solo obtenemos los cambios manifestados en los intervalos definidos por el pico de la onda T o por la posición del punto final de la onda T, sino también por los cambios morfológicos del proceso completo de repolarización durante el MI. Luego, el uso del criterio ML puede ofrecer una herramienta robusta para calcular la variabilidad de la repolarización latido-a-latido.

Limitaciones del estudio

Hemos propuesto este estudio preliminar de manera de abrir camino para una posterior investigación clínica. Por lo tanto, sería de utilidad realizar ensayos clínicos adicionales para una mejor evaluación del índice TSV e identificar pacientes con riesgo de eventos arrítmicos durante las fases *healing* y *healed* del MI.

Desafortunadamente, la base de datos PTB no contiene imágenes adicionales o estudios electrofisiológicos, por ello es que utilizamos el tiempo transcurrido desde el MI como indicador de las dos diferentes fases (*healing* y *healed*), principalmente basamos este artículo en varios trabajos sobre electrofisiología cardíaca [3, 4] y evidencias clínicas [19-21].

La técnica de la FFT-2D no suprime el ruido, en consecuencia resultados confiables dependen de la relación del bajo nivel de ruido/amplitud de la onda T.

Aunque hemos aplicado una ventana para la onda T de una duración lo suficientemente extensa como para cubrir el total del proceso de repolarización, deberíamos reconsiderar la longitud de la ventana tomada en futuros trabajos, por ejemplo en pacientes con síndrome de QT prolongado [32, 33].

Conclusiones

El resultado más importante encontrado en este trabajo es la influencia del tiempo transcurrido luego del MI, tanto en la fase *healing* como en la *healed*, en la modulación de la variabilidad de la repolarización ventricular latido-a-latido utilizando el criterio ML. Finalmente, la mejor detección de la variabilidad de la repolarización latido-a-latido en los grupos anterior e inferior se obtuvieron en las derivaciones V4 y aVF respectivamente.

Referencias

- [1] Myerburg, J.; Castellanos, A.: "Sudden Cardiac Death" en *Cardiac Electrophysiology: From Cell to Bedside*, Saunders, Elsevier, Philadelphia, 2009.
- [2] Schwartz, P. J.; Wolf, S.: "QT Interval Prolongation as Predictor of Sudden Death in Patients with Myocardial Infarction", *Circulation*, 1978, 57:1074-7.
- [3] Pinto, J.; Penelope, A.; Boyden, P.: "Electrical Remodeling in Ischemia and Infarction". *Cardiovasc Research*, 1999, 42:284-97.
- [4] Wit, A.; Janse, M.: *The Ventricular Arrhythmias of ischemia and infarction: Electrophysiological Mechanisms*, Futura, Mount Kisco, Nueva York, 1993.
- [5] Berger, R.; Kasper, E.; Baughman, K.; Marban, E.; Calkins, H.; Tomaselli, G.: "Beat-to-Beat Interval Variability: Novel Evidence for Repolarization Lability in Ischemic and Nonischemic Dilated Cardiomyopathy", *Circulation*, 1997, 96:1557-65.
- [6] Haigney, M.; Zareba, W.; Gentlesk, P.; Goldstein, R.; Illovsky, M.; McNitt, S.; et ál.: "Interval Variability and Spontaneous Ventricular Tachycardia or Fibrillation in the Multicenter Automatic Defibrillator Implantation Trial Patients", *Journal of the American College of Cardiology*, 2004, 44:1481-7.
- [7] Piccirillo, G.; Magrí, D.; Matera, S.; Magnanti, M.; Torrini, A.; Pasquazzi, E.; et ál.: "QT Variability Strongly Predicts Sudden Cardiac Death in Asymptomatic Subjects with Mild or Moderate Left Ventricular Systolic Dysfunction: a Prospective Study", *European Heart Journal*, 2007, 28(11):1344-50.
- [8] Zabel, M.; Malik, M.; Hnatkova, K.; Papademetriou, M. D.; Pittaras, A.; Fletcher, R. D.; et ál.: "Analysis of T-Wave Morphology from the 12-Lead Electrocardiogram for Prediction of Long-Term Prognosis in Male Veterans", *Circulation*, 2002, 105:1066-70.
- [9] Arini, P. D.; Bertrán, G. C.; Valverde, E. R.; Laguna, P.: "T-Wave Width as an Index for Quantification of Ventricular Repolarization Dispersion: Evaluation in an Isolated Rabbit Heart Model", *Biomedical Signal Processing and Control*, 2008, 3:67-77.
- [10] Steinbigler, P.; Haberl, R.; Nespithal, K.; Spiegel, A.; Schmücking, I.; Steinbeck, G.: "A New Method to Determine Inhomogeneous Repolarization by Wave Beat-to-Beat Variability in Patients Prone to Ventricular Arrhythmias", *Journal of Electrocardiology*, 1998, 30:137-44.
- [11] Valverde, E. R.; Quinteiro, R. A.; Arini, P. D.; Bertrán, G. C.; Biagetti, M. O.: "Beat-to-Beat Repolarization Variability Measured by T Wave Spectral Variance Index in Chronic Infarcted Animals. Ann Noninvasive Electrocardiol", 2002, 7(4):319-25.
- [12] Steinbigler, P.; Haberl, R.; Steinbeck, G.: "T Wave Spectral Variance for Noninvasive Identification of Patients with Idiopathic Dilated Cardiomyopathy Prone to Ventricular Fibrillation even in the Presence of Bundle Branch Block or Atrial Fibrillation", *Pacing and Clinical Electrophysiology*, 2004, 27:156-65.
- [13] Valverde, E. R.; Bertrán, G. C.; Arini, P. D.: "Beat-to-Beat Ventricular Repolarization Variability Evaluated During Acute Myocardial Ischemia", *Biomedical Signal Processing and Control*, 2013, 13:869-75.
- [14] Goldberger, A.; Amaral, L.; Glass, L.; Hausdorff, J.; Ivanov, P. H.; Mark, R.; et ál.: "PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals", *Circulation*, 2000, 101(23):e215-20.
- [15] Bousseljot, R.; Kreiseler, D.; Schnabel, A.: "Nutzung der EKG-Signaldatenbank CARDIODAT der PTB über das Internet", *Biomed Tech*, 1995, 40(1):317-8.
- [16] Meyer, C. R.; Keiser, H. N.: "Electrocardiogram Baseline Noise Estimation and Removal Using Cubic Spline and State-Space Computation Techniques", *Computers and Biomedical Research*, 1977, 10:459-70.
- [17] Pan, J.; Tompkins, W.: "A Real-Time QRS Detection Algorithm", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 1985, 32(3):230-6.
- [18] Martínez, J. P.; Almeida, R.; Olmos, S.; Rocha, A. P.; Laguna, P.: "A Wavelet-Based ECG Delineator: Evaluation on Standard Databases", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2004, 51(4):570-81.
- [19] Callans, D.: "Ventricular Tachycardia in Patients with Coronary Artery Disease" en *Cardiac Electrophysiology: From Cell to Bedside*, Saunders, Elsevier, Philadelphia, 2010.
- [20] Exner, D.: "Noninvasive Risk Stratification After Myocardial Infarction: Rationale, Current Evidence and the Need for Definitive Trials", *Canadian Journal of Cardiology*, 2009, 21A-7A.
- [21] Hyytinen-Oinas, M.; Ylitalo, K.; Karsikas, M.; Seppänen, T.; Pekka Raatikainen, M.; Uusimaa, P.; et ál.: "Electrocardiographic Abnormalities and Ventricular Tachyarrhythmias After Myocardial Infarction", *Scandinavian Cardiovascular Journal*, 2010, (1):15-23.
- [22] Ursell, P.; Gardner, P.; Albala, A.; Fenoglio, J.; Wit, A.: "Structural and Electrophysiological Changes in the Epicardial Border Zone of Canine Myocardial Infarcts During Infarct Healing", *Circulation Research*, 1985, 56:436-51.
- [23] Qin, D.; Zhang, Z. H.; Caref, E. B.: "Cellular and Ionic Basis of Arrhythmias in Postinfarction Remodeled Ventricular Myocardium", *Circulation Research*, 1996, 79(3):461-73.
- [24] Josephson, M. E.; Wit, A. L.: "Fractionated Electrical Activity and Continuous Electrical Activity: Fact or Artifact?", *Circulation*, 1984, 70:529-32.
- [25] Tereshchenko, L. G.; Berger, R. D.: "Towards a Better Understanding of QT Interval Variability", *Therapeutic Advances in Drug Safety*, 2011, 2(6):245-51.
- [26] Friedman, P. L.; Fenoglio, J. J.; Wit, A. L.: "Time Course of Reversal of Electrophysiological and Ultrastructural Abnormalities in Subendocardial Purkinje Fibers Surviving Extensive Myocardial Infarction in Dogs", *Circulation Research*, 1975, 36:127-44.
- [27] Wong, S.; Basset, A.; Cameron, J.; Epstein, K.; Kozlviskis, P.; Myerburg, R.: "Dissimilarities in the Electrophysiological Abnormalities of Lateral Border and Central Infarct Zone Cells After Healing of Myocardial Infarction in Cats", *Circulation Research*, 1982, 51:486-93.
- [28] Ben-Haim, S. A.; Becker, B.; Edoute, Y.; Kochanovsky, M.; Azaira, O.; Kaplinsky, E.; et ál.: "Beat-to-Beat Electrocardiographic Morphology Variation in Healed Myocardial Infarction", *American Journal of Cardiology*, 1991, 68(8):725-8.
- [29] Critelli, G.; Marciano, F.; Mazzarella, M.; Migaux, M.: "QT Interval Measurements of Long-Term ECG Recordings: Application of an Automatic Holter Analysis System", *Computers in Cardiology*, 1982, 8:481-4.
- [30] Pisani, E.; Pellegrini, F.; Ansuini, G.; Di Noto, G.; Rimatori, C.; Russo, P.: "Performance Evaluation of Algorithms for QT Interval Measurements in Ambulatory ECG Recordings", *Computers in Cardiology*, 1985, 11:459-62.
- [31] Algra, A.; Le Brun, H. Zeelenberg, C.: "An Algorithm for Computer Measurement of QT Intervals in the 24 Hour ECG", *Computers in Cardiology*, 1987, 13:117-9.
- [32] Vahedi, F.; Diamant, U.; Lundahl, G.; Gransberg, L.; Jensen, S.; Bergfeldt, L.: "Instability of Repolarization in LQTS Mutation Carriers Compared to Healthy Control Subjects Assessed by Vectorcardiography", *HeartRhythm*, 2013, 10(8):1169-75.
- [33] Moss, A.; Zareba, W.; Benhorin, J.; Locati, E.; Hall, W.; Robinson, J.; et ál.: "ECG T Wave Patterns in Genetically Distinct Forms of the Hereditary Long QT Syndrome", *Circulation*, 1995, 92(10):2929-34.



FACULTAD
DE INGENIERIA
Universidad de Buenos Aires

ENTERATE
DE LAS ÚLTIMAS
NOVEDADES
DE LA FIUBA
EN NUESTRAS REDES SOCIALES

www.ingenieria.uba.ar





NUESTROS
GRADUADOS

.ing | 32 | 33



Toda una trayectoria en el sector petrolífero

Encuentro con el Ing. Ricardo Chacra, uno de nuestros egresados que logró fundar su propia empresa.

Para Ricardo Chacra no existe la suerte, sino la confluencia entre conocimiento y oportunidad. Y al igual que en los desarrollos informáticos, para llegar al éxito hace falta ensayo y error; convivir con el fracaso.

Esa misma filosofía de trabajo, que aconseja cuando asiste como orador a las juras de nuevos profesionales en la FIUBA, lo llevó a crear su propia empresa petrolera con apenas 40 años. “ROCH nace en 1990 a partir de la desregulación general de la actividad petrolera que se implementó en esa época. Yo venía trabajando en el sector desde 1975. Pasé por diferentes empresas argentinas e internacionales y trabajaba como gerente de operaciones en una compañía, hasta que decidí arrancar con un proyecto propio”, cuenta Chacra, que se graduó como ingeniero industrial en la FIUBA y luego realizó un posgrado en Petróleo en el Instituto del Gas y del Petróleo de la UBA (IGPUBA).

El primer desafío de ROCH consistió en el desarrollo de operaciones en áreas marginales, es decir, aquellas que no se atendían adecuadamente. “De 49 m³/día de producción de petróleo que había en el primer área que empezamos a operar, pasamos a 400 m³/día. A partir de esos resultados, cuando en 1991 se vuelve a licitar otra ronda de áreas, tuvimos más interesados. Los 5 millones de dólares aportados por los primeros inversores de ese momento generaron riqueza por más de 800 millones”, explica Chacra, cuya empresa hoy está valuada en el orden de los 150 millones de dólares y cuenta con alrededor de 600 empleados entre directos e indirectos.

Y agrega: “En ROCH hicimos todo tipo de perforaciones direccionales y horizontales. La primera corona de Vaca Muerta, 170 metros de formación, la sacamos nosotros y la mandamos a analizar a Estados Unidos. También pusimos en valor el Yacimiento Llancanelo. Era un yacimiento abandonado, con pozos sin economicidad, y hoy produce alrededor de 300 m³/día de petróleo. Es la mayor reserva de petróleo pesado del país”.

Al ser consultado por Vaca Muerta, pregunta ineludible durante una conversación con un empresario petrolero, Chacra describe que su explotación requiere de un precio del crudo superior al actual o de una disminución severa de los costos para que sea rentable. “Vaca Muerta no es una reserva todavía, sino un recurso, porque su explotación no resulta ser económica; cuesta más de lo que se puede obtener por ella. Cuando se habla de reservas, se habla

de explotaciones económicamente redituables. Cuando el precio del crudo baja mucho, las reservas también bajan, porque crudos que se sacan a un precio de 60 dólares por barril dejan de ser reserva y pasan a ser recurso. Con un precio del petróleo en 47,5 dólares por barril, para Argentina Vaca Muerta es recurso. Ahora, para Estados Unidos, en ese precio sería una reserva, porque cuando el crudo estaba entre 100 y 120 dólares por barril, desarrollaron toda la infraestructura, necesaria para la explotación del shale, y por lo tanto, ya tienen la logística. Nosotros todavía no la tenemos, la estamos haciendo”, afirma.

En cuanto a su dedicación por la ingeniería, este profesional de la FIUBA –que fue secretario de Asuntos Estudiantiles entre 1973/1974– asegura que el interés viene de la infancia, o más precisamente, de sus buenas notas en las clases de Matemáticas del colegio. “Todos me decían que era bueno con los números. Estaba contento con las clases del colegio y el nombre de ingeniero me parecía interesante. Lo relacionaba con el ingenio, si bien etimológicamente refiere a ‘el hombre de la máquina’. Y fue así que me pareció que valía la pena insistir con eso. Durante la carrera me sentí muy cómodo, me resultaba apasionante. Claro que algunas materias eran medio densas, pero la mayoría me divertía”, confiesa.

“Cuando yo hice la primera simulación de un yacimiento, para hacer el cálculo de un punto, tardé cuatro días. Hoy, en un minuto, tengo dos millones”.

A 26 años del comienzo de su emprendimiento personal, Chacra describe cómo el avance de la tecnología y los nuevos paradigmas de conocimiento influyen en el sector petrolífero. “Mis ingenieros, geólogos y geofísicos trabajan todo el día con la pantalla. Cuando yo hice la primera simulación de un yacimiento, para hacer el cálculo de un punto, tardé cuatro días. Hoy, en un minuto tengo dos millones de puntos y obtengo la curva de probabilidad de cómo podría ser. La certeza era muy baja. Por el desarrollo de la tecnología hoy se pueden hacer perforaciones en dirección horizontal, por ejemplo”, detalla el presidente de ROCH, para quien toda la actividad sigue siendo un gran desafío. ■

Bodas de oro

Entrevista a Néstor Behrens, integrante del plantel de trabajadores de esta Casa de Estudios desde hace décadas.

Tiene 74 años, trece hermanos, diez sobrinos y lleva medio siglo de trabajo en la Facultad de Ingeniería de la UBA. En los pasillos de la sede de avenida Paseo Colón vio crecer a cientos de profesionales de la ingeniería, conoció a Delia, quien luego sería su mujer, forjó su actividad como delegado no docente, padeció la intervención de las fuerzas policiales al mando del teniente general Juan Carlos Onganía durante la “Noche de los Bastones Largos”, y hasta recibió a un presidente de la Nación, dos décadas antes de su candidatura. Néstor Behrens es, sin lugar a dudas, testigo directo de la historia reciente de la FIUBA.

“Tantos años acá es maravilloso. Me encuentro con gente y me emociono. Son muchísimos años en estos pasillos con los chicos”.

“En aquel entonces trabajaba como mozo en la Secretaría Académica y Contable. Un día estaba sentado en la cocina de Decanato y se aproxima un señor que me dice: ‘Quiero hablar con el secretario académico’. Y le pregunto: ‘¿Cómo es su nombre?’. ‘Raúl Alfonsín’, me contesta. ¡Recibí a Alfonsín mucho antes de ser presidente!”, cuenta Behrens, que también trabajó como empleado en la librería del Centro de Estudiantes de la Facultad y en el Departamento de Electrotecnia bajo la dirección del Ing. Humberto Ciancaglini, quien fuera obligado a abandonar el cargo de decano de la FIUBA en 1966 por la Junta Militar en el gobierno. Al igual que a cientos de no docentes y estudiantes de las universidades nacionales, los años de interrupción de la

autonomía universitaria también afectaron a Néstor. Y más aún, después del golpe cívico-militar de 1976: “Cuando llegan los militares al poder nos echan a todos. A mí me echó el Proceso. Yo en ese entonces era delegado: trabajaba en el Centro de Estudiantes a la mañana y como no docente a la tarde. Me volví a incorporar recién con la vuelta a la democracia”, cuenta.

Nacido en Cañuelas, al noreste de la provincia de Buenos Aires, su relación con la FIUBA se dio casi por tradición familiar. Néstor, el mayor de los trece hermanos, solía ayudar a su familia arreglando molinos y trabajando en otros oficios, hasta que su padre, exchofer de la fábrica de Mercedes-Benz y empleado no docente de la Facultad, lo llevó a trabajar con él a Intendencia.

“Tantos años acá es maravilloso. Me encuentro con gente y me emociono. Son muchísimos años en estos pasillos con los chicos. Siempre difundí los volantes de Cultura y los boletines de Comunicación Institucional. Y cuando hay juras hablo con todas las agrupaciones para que liberen el pasillo y faciliten la entrada de los familiares”, explica Behrens, que cincuenta años después de su llegada a la FIUBA, colabora con la Secretaría de Extensión Universitaria y Bienestar Estudiantil (SEUBE) y con el área de Ceremonial en los actos de colación.

“Durante la entrega de los diplomas, los graduados forman una fila en el centro del salón [de Consejo Directivo] y a veces cuando el decano les pregunta si juran, de la emoción que tienen se quedan todos callados. Entonces yo ahí digo ‘Sí, juro’, y todos me siguen. ¡Juré mil veces como ingeniero!”, bromea. ■



POS GRA DOS 2017

Por su **prestigio internacional**,
profesionales de todo el mundo
llegan a la FIUBA para
profundizar y actualizar sus
conocimientos en ingeniería.

Inscripción abierta | Consultas: posgrado@fi.uba.ar

GRANDES PROYECTOS FORMAN NUESTRA HISTORIA Y VOS PODÉS SER PARTE DE ELLA.

El Grupo Techint mantiene un fuerte compromiso con el desarrollo académico y profesional de los jóvenes, brindando oportunidades únicas de carrera.

