

# Proyecciones

Volumen 11  
Número 2  
Octubre, 2013

Publicación de la Facultad Regional Buenos Aires

Rector  
*Ing. Héctor C. Brotto*

Vice - Rector  
*Ing. Carlos E. Fantini*

Decano  
*Ing. Guillermo Oliveto*

Director  
*Lic. Juan Miguel Languasco, Facultad Regional Buenos Aires*

Comité Editorial  
*Lic. Gladys Esperanza, Facultad Regional Buenos Aires*  
*Dr. Fernando Gache, Facultad Regional Buenos Aires*

Diseño y Diagramación  
*Marcela Laura Ferritto, Facultad Regional Buenos Aires*

ISSN 1667-8400  
(Versión impresa)

ISSN 1853-6352  
(Versión en línea)

Registro de la  
Propiedad  
Intelectual  
No 5086253  
(Versión impresa)

Registro de la  
Propiedad  
Intelectual  
No. 5073167  
(Versión en línea)

Propietario

*Facultad Regional Buenos Aires*  
*Medrano 951 (C1179AAQ)*  
*Buenos Aires, República Argentina*



**UTN.BA**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES



# Proyecciones

Volumen 11  
Número 2  
Octubre, 2013

Publicación de la Facultad Regional Buenos Aires

## Consejo Editorial

*Dr. Julio Cabero Almenara - Universidad de Sevilla, España*

*Dr. Ricardo Armentano Feijoo - Universidad Tecnológica Nacional/  
Universidad Favaloro, Argentina*

*Dr. Daniel Bia Santana - Universidad de la República, Uruguay*

*Dra. Zulma Cataldi - Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*

*Dra. María Cristina Donnamaría - Universidad Nacional de La Plata -  
CONICET, Argentina*

*Dr. Miguel Ángel Laborde, Universidad de Buenos Aires, CONICET,  
Argentina*

*Dr. Walter Edgardo Legnani - Universidad Tecnológica Nacional,  
Argentina*

*Dr. Mario Gerardo Piattini Velthuis - Universidad de Castilla -  
La Mancha, España*

*Dr. Eduardo Jaime Quel - Universidad Tecnológica Nacional -  
CITEDEF, Argentina*

*Dra. Cecilia Verónica Sanz - Universidad Nacional de La Plata,  
Argentina*

*Dr. Saverio Roberto Strangis - Cyclotope, Houston, Texas,  
Estados Unidos*

*Dra. Lurdes Marlene Seide Froemming - Universidade Regional do  
Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil*

*M.Sc. Ignacio Vélez Pareja - Pontificia Universidad Javeriana,  
Colombia*



**UTN.BA**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES

# *Proyecciones*

Publicación de la Facultad Regional Buenos Aires

Proyecciones es una publicación semestral, destinada a la difusión de trabajos originales de investigación en el campo de la ingeniería, en todas sus ramas, de su enseñanza y de las ciencias conexas. Asimismo se publican trabajos originados en las tesis desarrolladas en el ámbito de las carreras de posgrado que se dictan en la Facultad Regional Buenos Aires Eventualmente son aceptadas también obras de revisión en temas específicos.

Todos los trabajos recibidos son objeto de revisión por parte de evaluadores externos, árbitros, y del Comité Editorial, según la metodología descrita en las Instrucciones para la Presentación de Artículos.

Esta publicación cuenta también con una versión en línea, a la cual se puede acceder ingresando en el sitio [www.sectip.frba.utn.edu.ar/proyecciones](http://www.sectip.frba.utn.edu.ar/proyecciones).

La información contenida en los artículos, así como las opiniones y los juicios vertidos, reflejan la creación y el pensamiento de los autores y no constituyen toma de posición o expresión por parte del Comité Editorial o de la Facultad Regional Buenos Aires.

Se permite la reproducción total o parcial de los artículos publicados en Proyecciones, con expresa mención de la fuente y autorización de la Dirección.

## INDICE

- 7**    **Editorial**
- 9**    **Presentación**
- 11**    **Procesamiento no lineal de señales cardiovasculares: marco conceptual para la detección de patologías**  
Leandro J. Cymberknop, Walter Legnani, Franco M. Pessana y Ricardo L. Armentano
- 29**    **Mitigación de la isla de calor urbana en ciudades de zonas áridas**  
Salvador Enrique Puliafito, Fabián Bochaca, David Allende
- 47**    **Tecnología e Ingeniería en el siglo XXI: una conexión cada vez más estrecha**  
Macarena Perusset
- 55**    **Estudio para definir áreas geográficas adecuadas para la implementación de plantas solares termoeléctricas de torre en la Argentina**  
Pablo Alwjandro Haim
- 67**    **Modelo elemental de flujo de un fluido viscoso elástico. El glaciar Bahía del Diablo. Parte I**  
Néstor O. Rotstein; Sebastián Marinsek
- 81**    **Estudio de la transferencia de agua durante la deshidratación osmótica de zanahoria**  
Patricia A. Della Rocca, Luis Alberto Roche, Rodolfo H. Mascheroni
- 93**    **Investigación sobre una problemática urbana y su aplicación en la transferencia docencia-investigación**  
José Luis Verga, Mónica Susana Bado, María Elena Forzinetti, Ana María Zapata Álvarez



# Editorial

Es para mí una enorme satisfacción presentarles este nuevo número de Proyecciones, el segundo de su undécimo año. Además del agradecimiento a todas las personas involucradas en su desarrollo – y qué bueno que es comenzar con el merecido reconocimiento a quienes hacen posible que Proyecciones salga cada vez mejor: comité editorial y responsables, autores, personal técnico administrativo, directivos de la FRBA – corresponde señalar que éste es el último número de nuestra revista científica que sale durante el primer mandato de la gestión que encabezo como Decano.

El pasado miércoles 21 de septiembre, en el día del maestro y en el que muy especialmente recordamos al gigante de la educación, Domingo Faustino Sarmiento, en la Asamblea de la Facultad Regional Buenos Aires de la UTN fui re electo Decano para el período 2013-2017, y el Ing. Andrés Bursztyn fue electo Vice Decano. No puedo dejar de emocionarme al entender el reconocimiento y la responsabilidad que esta elección implica. Significa tanto una aprobación de todo lo que hicimos hasta ahora, como la extensión de la confianza que se deposita en mí y en mi equipo para que llevemos a esta Facultad al gran objetivo que nos hemos propuesto: que además de ser la facultad de ingeniería más grande del país, sea la facultad de ingeniería más prestigiosa.

Para ello, es indispensable continuar con la muy eficiente gestión en la acreditación de nuestras carreras de grado (todas ellas fueron acreditadas por seis años, el máximo posible), de nuestros posgrados (se destaca la acreditación de nuestro Doctorado en ingeniería - Mención Procesamiento de Señales e Imágenes, categorizado A por la CONEAU), la intensiva política de becas, de extensión, como así también consolidación y profundización de nuestra política de ciencia, tecnología, innovación, desarrollo y emprendedorismo, cuyos resultados no voy a describir en estas páginas (pueden acceder al informe de gestión desde la página web de la Facultad) pero de los cuales me siento muy orgulloso.

Uno de los elementos de esa política de jerarquización del área y de la revista fue el impulso que recibió Proyecciones, que queremos que se acreciente y se extienda.

Así es que quiero aprovechar este último párrafo para asumir con ustedes un compromiso: Proyecciones va a seguir creciendo, se va a incrementar su prestigio, su impacto y su calidad. Para eso vamos a continuar trabajando muy intensamente durante estos cuatro años que nos esperan.



# Presentación

En su segundo número de su undécimo año, la Revista Proyecciones nos presenta una cantidad interesante de artículos de calidad que esperamos sean de utilidad de tan calificados lectores.

El primer trabajo corresponde a la tesis “Procesamiento no lineal de señales cardiovasculares: marco conceptual para la detección de patologías” para acceder al grado de Doctor en Ingeniería de L. Cymberknop, dirigida por W. Legnani y co-dirigida por F. M. Pesana. El artículo destaca que el sistema cardiovascular presenta enfermedades que se ponen de manifiesto a partir de eventos particulares que evolucionan inadvertidamente. El modelo empleado evalúa la complejidad estructural de formas de onda de carácter biomecánico, a partir de técnicas proporcionadas por la dinámica no lineal, permitiendo relacionar estados morfológicos alterados con la presencia de arteriopatías y cardiopatías, las cuales han sido inducidas bajo condiciones experimentales específicas.

El siguiente trabajo demuestra que la presencia de árboles y parques mejora el confort térmico en la ciudad de Mendoza, Argentina. Para ello, se realizaron mediciones meteorológicas desde instalaciones fijas y móviles en distintos momentos (horarios y estacionales) y lugares de la urbe. Se presenta luego un análisis de las variaciones de la temperatura, humedad relativa, presión de vapor de agua, velocidad de viento, etc., y de sus efectos sobre los distintos índices vinculados con el confort térmico. Estos resultados pueden tener relevancia en las decisiones de los planificadores urbanos. Son sus autores S. E. Puliafito, F. Bochaca y D. G. Allende y se titula “Mitigación de la isla de calor urbana en ciudades de zonas áridas.”

A continuación se presenta una reflexión de M. Perusset acerca del rol de los ingenieros frente al fenómeno tecnológico. En ella se destaca la importancia que adquiere la formación superior en términos de responsabilidad y compromiso social y destaca cómo los nuevos “poderes” de la tecnología deben ser utilizados en forma armónica a favor de la sociedad y el medio. En el artículo titulado “Tecnología e ingeniería en el siglo XXI: una conexión cada vez más estrecha” la autora propone un cuestionamiento ético respecto de la necesidad de desarrollar normativas e instituciones sociales dedicadas a una evaluación proactiva de las tecnologías más flexibles por sobre las más rígidas, en términos de beneficios socio-ambientales.

El siguiente artículo se titula “Estudio para definir áreas geográficas adecuadas para la implementación de plantas solares termoeléctricas de torre en la Argentina”, su autor es P. A. Haim y resume una tesis presentada para la Maestría en Energías Renovables. Se destacan varios aspectos, por un lado la selección de distintas tecnologías de aprovechamiento de la energía

solar, tanto desde el punto de vista tecnológico como económico. Por otra parte, las posibles localizaciones en Argentina de dichas unidades, en función de las características climáticas (irradiación) pero también de las disponibilidades de redes eléctricas, de rutas pavimentadas y de recursos hídricos superficiales.

La propuesta de N. O. Rotstein y S. Marinsek hace un aporte al problema del calentamiento global, planteando un modelo de evolución dinámica del glaciar “Bahía del Diablo”, como un indicador de los cambios del entorno. A partir de los registros realizados por un radar de hielo y utilizando modelos matemáticos, los autores han elaborado en el trabajo un perfil parabólico del fondo del glaciar, obteniendo funciones de velocidad que dependen en gran medida de las condiciones del entorno. Si bien diferentes mecanismos podrían provocar la fusión del hielo en contacto con el lecho y provocar su deslizamiento, el modelo presentado permitiría medir la velocidad de la base y por tanto las características contaminantes del entorno. El trabajo se titula “Modelo elemental de flujo de un fluido viscoso elástico. El glaciar Bahía del Diablo. Parte I.”

A continuación se incluye un estudio en el que los aspectos experimentales de la investigación fueron realizados en los laboratorios de Ingeniería Química de la FRBA. En ellos se utilizó la tecnología de osmodeshidratación de hortalizas, en este caso a cubos de zanahoria. Luego se aplicaron diferentes modelos matemáticos a los datos experimentales a fin de obtener los coeficientes que mejor representan dichos datos, discutiendo las características y limitaciones de cada modelo. Este artículo se denomina “Estudio de la transferencia de agua durante la deshidratación osmótica de zanahoria” y sus autores son P. A. Della Rocca, L. A. Roche y R. H. Mascheroni.

Finalmente se presenta el artículo titulado “Investigación sobre una problemática urbana y su aplicación en la transferencia docencia-investigación”, aporte de J. L. Verga, M. S. Bado, M. E. Forzinetti y A. M. Zapata Álvarez. En el mismo se destacan las significativas transferencias recíprocas entre investigación y docencia. El trabajo está vinculado al proyecto de investigación “Diagnóstico sobre vías de comunicación terrestres como barreras o centralidades en la sectorización de barrios” y su desarrollo se implementa a partir de un modo de enseñanza diferente al utilizado en otras asignaturas de la carrera de Ingeniería Civil de la FRBA. Esta metodología ofrece a los alumnos del último nivel de la carrera una formación hacia lo social, lo urbano y lo ambiental sin descuidar lo tecnológico.

Como en estas páginas señaló el Decano de la FRBA, Ing. Guillermo Oliveto, los próximos cuatro años significan un desafío muy importante para los hombres y mujeres que estamos involucrados en el diseño y el desarrollo de las políticas que se implementan en la Facultad. En lo personal, me propongo profundizar los esfuerzos para que la revista Proyecciones continúe por el sendero del crecimiento y el prestigio.

# Procesamiento no lineal de señales cardiovasculares: marco conceptual para la detección de patologías<sup>1</sup>

**Leandro J. Cymberknop<sup>1</sup>, Walter Legnani<sup>2</sup>, Franco M. Pessana<sup>1,3</sup> y Ricardo L. Armentano<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Grupo de Investigación y Desarrollo en Bioingeniería y <sup>2</sup>Centro de Procesamiento de Señales e Imágenes, Medrano 951 (C1179AAQ) Buenos Aires, Argentina

<sup>3</sup> Universidad Favaloro, Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas y Naturales, Solís 456 (C1078A-AJ) Buenos Aires, Argentina

*ljcymber@electron.frba.utn.edu.ar*

*Recibido el 7 de Junio de 2013, aprobado el 18 de Junio de 2013*

## Resumen

El sistema cardiovascular (SCV) constituye una de las estructuras más complejas y estudiadas, sobre el cual se desarrollan las patologías que mayor mortalidad generan a nivel mundial. Las enfermedades vasculares se ponen de manifiesto a partir de eventos particulares, dado que los procesos intervinientes en su evolución pasan totalmente inadvertidos. Derivado de ello, las consecuencias resultan implacables y frecuentemente irreversibles. Las variables hemodinámicas que gobiernan la conducta del SCV, son relacionadas a partir de modelos explicativos, concebidos en virtud de suposiciones asociadas a información empírica. No obstante, la heterogeneidad y anisotropía propia de los materiales biológicos son limitantes en virtud de la carga conceptual impuesta por los enfoques propuestos. La descripción integral del fenómeno subyacente por parte del modelo empleado, demanda la consideración simultánea de propiedades de carácter estructural y dinámico. En el presente estudio, se ha evaluado la complejidad estructural de formas de onda de carácter biomecánico, a partir de técnicas proporcionadas por la dinámica no lineal. Su implementación denota amplitud para la descripción de los fenómenos observados, en virtud de lineamientos que se adecúan naturalmente a su concepción. Los hallazgos obtenidos han permitido relacionar estados morfológicos alterados con la presencia de arteriopatías y cardiopatías, las cuales han sido inducidas bajo condiciones experimentales específicas.

**PALABRAS CLAVE:** PRESIÓN ARTERIAL - DIMENSIÓN FRACTAL - RIGIDEZ VASCULAR - REFLEXIÓN DE ONDAS - ÁRBOL ARTERIAL

1 El presente artículo forma parte del trabajo de tesis "Procesamiento no lineal de señales cardiovasculares: marco conceptual para la detección de patologías" para optar al grado de Doctor en ingeniería, mención Procesamiento de Señales e Imágenes de la Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, dirigida por el Dr. Walter Legnani y co-dirigida por el Dr. Ing. Franco M. Pessana.

## Abstract

Cardiovascular system (**CVS**) is one of the most complex structures that have been extensively studied, to gain insight into the worldwide highest mortality diseases. Cardiovascular diseases manifest themselves through specific events and could remain asymptomatic for decades. In this sense, their consequences become severe and often irreversible. Hemodynamic parameters that control CVS dynamic are related through descriptive models obtained by associated assumption to empirical data. Nevertheless, the heterogeneity and anisotropy of the biological materials constitute conceptual restraints in the proposed approaches. The comprehensive description of the underlying mechanisms imposes the simultaneous consideration of functional and structural properties. In the present study, structural complexity of the **CVS** waveforms has been evaluated by means of non-linear dynamics techniques. Its implementation supports the description of the observed phenomena due to the robustness that characterizes the data analysis methods. The present findings have shown the ability of the non-linear signal theory to identify altered morphological states with the presence of cardiovascular diseases, which have been induced under specific experimental conditions.

Key Words: arterial pressure, fractal dimension, vascular stiffness, wave reflection, arterial tree

**KEYWORDS:** ARTERIAL PRESSURE - FRACTAL DIMENSION - VASCULAR STIFFNESS - WAVE REFLECTION - ARTERIAL TREE

## Introducción

El análisis del comportamiento de sistemas biológicos requiere la adopción de diversas disciplinas del conocimiento. La Biología, la Física, la Matemática y la Ingeniería se conjugan para concebir una directriz que posibilite la comprensión de fenómenos moleculares, celulares y biomecánicos. En el campo de la fisiología humana, el sistema cardiovascular (**SCV**) constituye una de las estructuras más complejas y estudiadas, sobre el cual se desarrollan las patologías que mayor mortalidad generan a nivel mundial. La evaluación de las propiedades físicas del corazón y los vasos sanguíneos, su vinculación con las experiencias observacionales y la aplicación de los resultados obtenidos en dicho proceso, conforman las vías del conocimiento de la fisiopatología vascular (Milnor, 1989). La concepción del **SCV** suele ser abordada desde diferentes aspectos, delimitados esencialmente por la mecánica de los medios continuos y la mecánica de fluidos. Bajo la primera premisa, el tejido que conforma los conductos vasculares es evaluado a partir de sus aspectos inerciales, elásticos y viscosos. Contemplar la segunda, supone la articulación entre la geometría del vaso y el contenido en circulación (Cabrera Fischer y Armentano, 2008). Las variables hemodinámicas que gobiernan la conducta descrita, son relacionadas a partir de modelos explicativos, concebidos en virtud de suposiciones asociadas a información empírica. No obstante, la heterogeneidad y anisotropía propia de los materiales biológicos son limitantes en virtud de la carga conceptual impuesta por los enfoques propuestos. La distribución del flujo a través del **SCV** no se limita simplemente a las propiedades mecánicas de los conductos vasculares, sino que se ve afectada además por fenómenos de reflexión de ondas, producto de la presencia de discontinuidades mecánicas o geométricas (Armentano y Barra, 2008). Asimismo, la complejidad intrínseca de los sistemas fisiológicos es producto de la interacción de numerosas unidades estructurales y medios regulatorios, los cuales operan en un amplio rango temporal y espacial. Dicho mecanismo posibilita la adaptación continua del organismo viviente a las exigentes demandas de su entorno (Goldberger et al., 2002). En términos patológicos, la problemática de origen reside en que las enfermedades vasculares se ponen de manifiesto a partir de

eventos particulares. Los procesos intervinientes en su desarrollo pasan totalmente inadvertidos, dando lugar a consecuencias implacables y frecuentemente irreversibles (Nichols et al., 2011). La consolidación de metodologías preventivas, que proporcionen un medio de detección temprana, constituye una meta vital e insoslayable. Actualmente, el estudio de la función cardiovascular puede ser evaluado por diversas metodologías, incluso de manera no invasiva (Cabrera Fischer y Armentano, 2008). A consecuencia de ello, el marco conceptual adoptado en el análisis de resultados requiere de una evaluación minuciosa, con capacidad de contemplar en forma adecuada, y de manera conjunta, la naturaleza estructural y funcional del **SCV**. Por consiguiente, la hipótesis propuesta para el presente trabajo puede expresarse de la siguiente manera: *"La pérdida de complejidad estructural en la morfología de la forma de onda de las variables ligadas a la hemodinámica arterial, se encuentra vinculada a la incidencia de patologías cardiovasculares"*. Efectivamente, las implicancias inherentes a la mecánica vascular serán evaluadas en virtud de la morfología de las señales intervinientes. En los últimos años, se ha manifestado un interés creciente en relación a la información oculta presente en las series temporales fisiológicas (Goldberger et al., 2002). Las hipótesis modernas sostienen que la pérdida de complejidad de los sistemas, cuantificada en términos de salud vs enfermedad, supone una reducción en el contenido de información de sus variables asociadas (Lipsitz, 2004). A tal efecto, el procesamiento de las variaciones temporales de parámetros ligados a la mecánica vascular, debe ser efectuado apelando a técnicas cuya aplicación permita discriminar fluctuaciones de dicha índole, tanto en condiciones de normalidad como ante la presencia de trastornos funcionales.

Los procesos observacionales, analíticos e interpretativos, demarcados por la hipótesis de base, fueron llevados a cabo en virtud de los siguientes objetivos:

- Efectuar un análisis morfológico de las variables vinculadas a la mecánica arterial, a partir de la implementación de metodologías de procesamiento no lineal.
- Evaluar los aspectos estructurales del **SCV**, en virtud de su incidencia sobre la complejidad estructural de las variables intervinientes.

- Analizar la vinculación potencial entre la estructura morfológica subyacente en la forma de onda y la presencia de patologías vasculares.

Conforme puede advertirse, debieron definirse protocolos de experimentación, con el fin de adquirir series temporales arteriales que posibilitaran su tratamiento dentro de los términos propuestos. Es por ello que las experiencias comprendieron análisis de conductos vasculares efectuados en condiciones aisladas (*in vitro*) y análisis estructurales efectuados en circunstancias de integración con la red vascular (*in vivo*).

## Material y Métodos

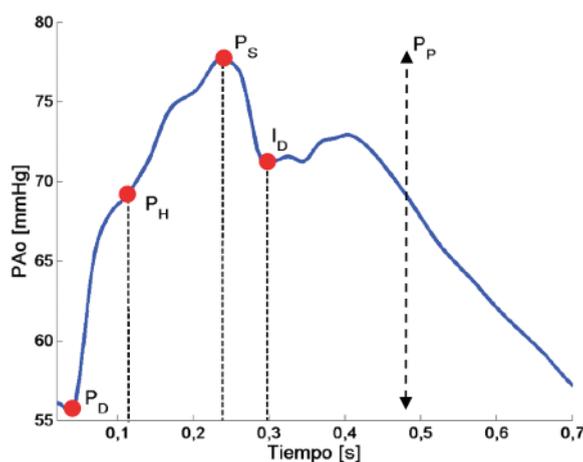
La evaluación de descriptores o marcadores tempranos de patologías sobre señales en el dominio temporal, se fundamenta en el análisis de parámetros representativos de la onda de presión arterial ( $P_A$ ), debido al hecho de que su morfología está determinada por el patrón de eyección ventricular y la naturaleza elástica del árbol arterial (Avolio, 2009). Valores tales como la presión arterial sistólica ( $P_S$ ), la presión arterial diastólica ( $P_D$ ), la presión arterial media ( $PM$ ), la ocurrencia temporal de la incisura dicota, la presión arterial pulsátil ( $PP$ ) y el índice de aumento ( $AI_x$ ) proporcionan información de relevancia vinculada a la forma de onda y sufren alteraciones con el envejecimiento y el advenimiento de patologías vasculares (Fig. 1). Conforme puede inferirse, la morfología señales ligadas a la mecánica vascular manifiesta una elevada irregularidad y a diferencia de las for-

mas de onda sinusoidales, las mismas no pueden ser representadas analíticamente por medio de una función determinística (Zamir, 2010).

## La rigidez arterial

Las grandes arterias desempeñan dos funciones primarias: la de transmitir el flujo sanguíneo (actúan como conductos) y la de reducir la pulsatilidad del mismo (actúan como amortiguadores). Consecuentemente, las patologías y complicaciones sistémicas relacionadas con el miocardio, serán mayoritariamente de índole mecánica, caracterizadas por rupturas, obstrucciones y fallas de bombeo, entre otras (O'Rourke, 1995). Efectuar un análisis consistente a nivel predictivo, requiere ver más allá de las nociones e instrumentos simples de la mecánica vascular clásica. Consecuencia de ello resulta considerar un enfoque basado la morfología de la onda de presión y sus fenómenos derivados por sobre el análisis de sus valores sistólicos y diastólicos, como tradicionalmente se ha venido efectuando durante las últimas décadas (O'Rourke, 1995).

Conjuntamente con el fenómeno de conducción del flujo, la acción de amortiguación de las arterias es responsable de que el suministro hacia los órganos corporales se realice bajo un régimen de presión arterial estable, bajo condiciones de flujo laminar. De lo contrario, los tejidos sufrirían degradaciones derivadas de la pulsatilidad, con el transcurso del tiempo (Pessana et al., 2004). A consecuencia de ello, la respuesta acusada por el árbol arterial en términos de una excita-



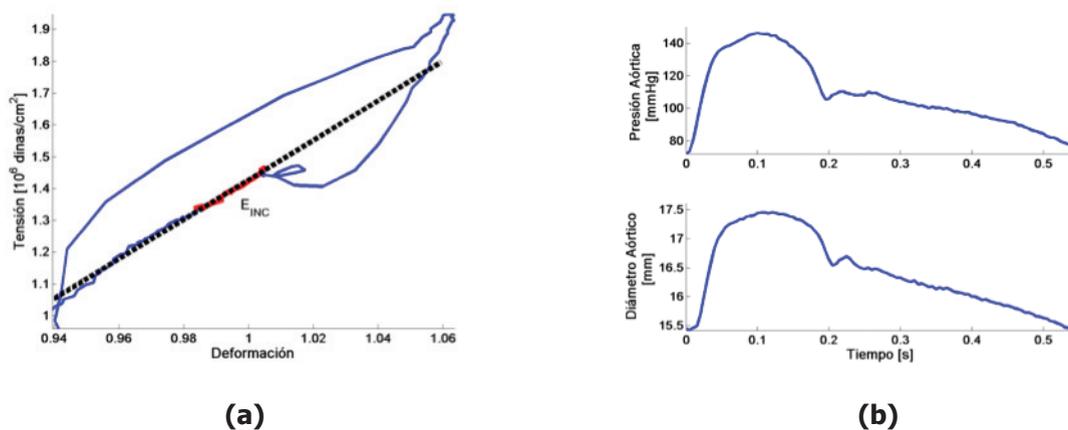
**Fig. 1. Análisis de la onda del pulso para una señal de presión arterial.  $P_D$  presión diastólica,  $P_S$  presión sistólica,  $P_H$  presión al punto de inflexión,  $PP$  presión pulsátil,  $I_D$  incisura dicota (Fuente de datos: FICEyN Universidad Favaloro).**

ción intermitente puede ser descrita como un mecanismo de filtrado mecánico (eliminación de variaciones bruscas) de los fenómenos pulsátiles o de las altas frecuencias (Armentano et al., 2007). Si bien el incremento en la rigidez arterial ( $R_A$ ), progresa de manera irreversible con el envejecimiento, es necesario diferenciar los procesos que alteran o acentúan su desarrollo con normalidad (Bia et al., 2011). La presencia de factores como la hipertensión arterial (**HTA**), la diabetes mellitus (**DM**), falla renal crónica o dislipidemia resultan responsables directos del incremento anticipado de la pérdida de distensibilidad de los vasos arteriales (Wilson et al., 2004). Causa de ello, es que los cambios notorios en  $R_A$  son utilizados como marcadores tempranos de los signos clínicos de enfermedades vasculares (Sáez Pérez, 2008). Un ejemplo de ello es la estimación de la pendiente de la curva tensión vs deformación vascular ( $C_{TD}$ ), denominada módulo de deformación o módulo de Young ( $E$ ), durante el intervalo definido por la fase diastólica, donde sólo intervienen conductas elásticas de la pared arterial (Fig. 2.a). En relación a ello, las medidas de elasticidad vascular suponen una problemática intrínseca en su obtención, dado que son requeridas mediciones de  $P_A$  y su consecuente distensión vascular ( $D_A$ ) en forma simultánea (Fig. 2.b).

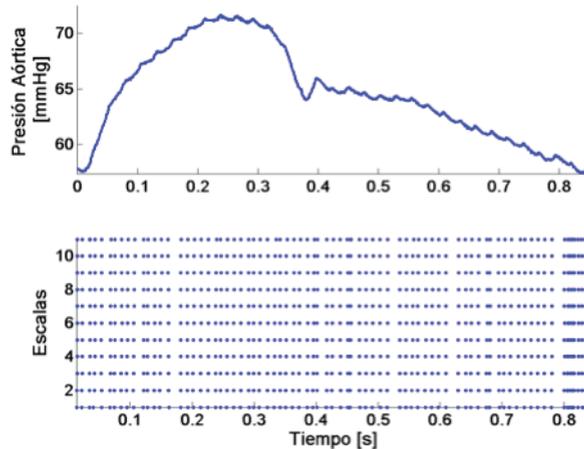
### La reflexión de ondas

El árbol arterial se encuentra sometido a la presencia de ondas mecánicas que se propa-

gan, reflejan y superponen, en forma análoga al comportamiento observado en las líneas de transmisión utilizadas en los sistemas de comunicaciones (Van den Wijngaard et al., 2009). El fenómeno de reflexión tiene lugar cuando una onda cambia el sentido de su propagación ante la presencia de un medio diferente de transmisión (Barra y Armentano, 2008). Un ejemplo de ello son las bifurcaciones y discontinuidades características de la red arterial. Más aún, la mayor parte de las reflexiones ocurre a nivel arteriolar, donde se evidencia gran cantidad de ramificaciones a cortas distancias. Esta situación da lugar a una reflexión difusa, debido al retorno de ondas provenientes de distintas distancias que arriban a la aorta proximal en forma aleatoria. Como consecuencia de ello, se observan distintas morfologías de la onda de  $P_A$  a lo largo de la red arterial, producto de la distancia del sitio de reflexión, el valor de la velocidad de la onda del pulso (**VOP**) en el conducto y la manera en que la onda es efectivamente reflejada (Westerhof et al., 2008). No fue hasta la adopción de un modelo de líneas de transmisión en que fue posible concebir la naturaleza integral del fenómeno. A raíz de ello, se ha concluido que las reflexiones que se generan en el sistema vascular son el resultado de una desadaptación de impedancias (Milnor, 1989). Los modelos distribuidos implementan resistencias, capacitancias e impedancias equivalentes por unidad de longitud, de modo que los segmentos arteriales pueden ser descriptos en términos de redes de tubos uniformes (Avolio, 2009).



**Fig. 2. (a) Bucle tensión vs. deformación y estimación del módulo de elasticidad incremental (EINC), a niveles de presión media, durante el intervalo de relajación (b) Series temporales arteriales aórticas, de presión (panel superior) y diámetro (panel inferior), obtenidas a partir mediciones invasivas in vivo. (Fuente de datos: FICEyN Universidad Favaloro).**



**Fig. 3. Panel superior: Serie temporal de presión aórtica. Panel inferior: Plano tiempo-escala delimitado por los módulos máximos de la transformada ondita (MMTO). (Fuente de datos: FICEyN Universidad Favaloro).**

### Regularidad en la forma de onda. Módulos Máximos de la Transformada Ondita

La simple observación de una señal sinusoidal pura denota la presencia de una estructura suave, no rugosa, a medida que evoluciona temporalmente. Las señales regulares carecen de variaciones rápidas y las que son infinitamente regulares poseen una derivada primera que no presenta discontinuidades (Fugal, 2009). No obstante, la riqueza de la información de una señal se encuentra precisamente en sus singularidades, irregularidades y transitorios de frecuencia. En otros términos, puede ser apreciada en aquellos instantes donde el comportamiento de la misma presenta discontinuidades, ya sea de salto finito o infinito (Struzik, 2000). En este sentido, una propiedad notable de la transformada ondita continua ( $TO_c$ ) es su capacidad para detectar, en forma efectiva, las regularidades locales de una señal temporal  $f(\mathbf{t})$ . A diferencia de la perspectiva propuesta por la transformada de Fourier, que contempla una interpretación integral dentro del dominio frecuencial, la  $TO_c$  provee coeficientes de semejanza a distintas escalas, a partir de la compresión o dilatación de una forma de onda de duración finita u "ondita".

$$W_f(b, a) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \overline{\psi_{b,a}(t)} dt, \quad (1)$$

donde  $W_f(b,a)$  conforma los coeficientes de  $TO_c$ , producto de la selección de la ondita madre  $\psi(\mathbf{t})$ , en función de los parámetros de dila-

tación (a) y traslación (b). Consecuencia de ello, se produce un efecto de ampliación, a modo de microscopio, sobre un fenómeno temporal particular (Mallat, 2008). Resultado de ello, la disposición de los módulos máximos de esta última (**MMTO**), dispuestos en el plano tiempo-frecuencia, da cuenta de la presencia de *líneas de máximos*, que se definen como toda curva conectada cuyos puntos resultan **MMTO**. Puede demostrarse además, que la totalidad de las singularidades pertenecientes a la señal son localizables, a partir del seguimiento de las líneas de máximos, conforme la escala utilizada disminuye y se acerca a un valor nulo (Mallat, 2008). En determinadas series temporales, la disposición de los **MMTO** arroja la existencia de líneas definidas (Fig. 3), las cuales conforman un patrón geométrico simétrico. Cada una de ellas converge a un punto singular, conforme disminuye el valor de la escala utilizada. Dicha manifestación no es accidental y será evaluada en detalle en los párrafos siguientes.

### Dimensión, auto-similaridad y fractalidad

Formalmente, la *dimensión (D)* puede definirse como la cuantificación del espacio que ocupa un conjunto, en la cercanía de cada uno de sus puntos (Falconer, 2003). Asimismo, el enfoque euclidiano tradicional sostiene que una curva es un objeto unidimensional, una superficie un objeto bidimensional y un volumen corresponde a objeto tridimensional. En virtud de dicha afirmación, D puede ser cuantificada en términos topológicos (**DT**), a partir de valores enteros.

De esta manera, puede indicarse si el objeto se encuentra embebido en una línea ( $DT=1$ ), en un plano ( $DT=2$ ) o en el espacio ( $DT=3$ ).

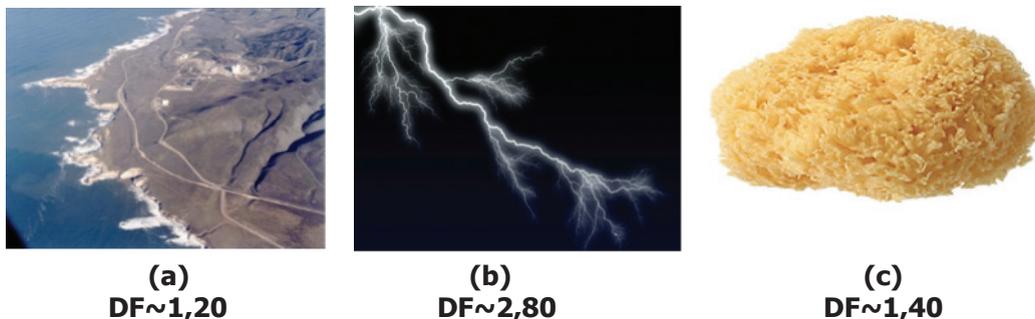
Más precisamente, la noción intuitiva de dimensión vincula el espacio que ocupa el objeto ( $V_o$ ) respecto de una unidad de medida lineal ( $e$ ), a partir de una ley de potencia, de modo que (Theiler, 1990):

$$V_o \approx e^D \quad (2)$$

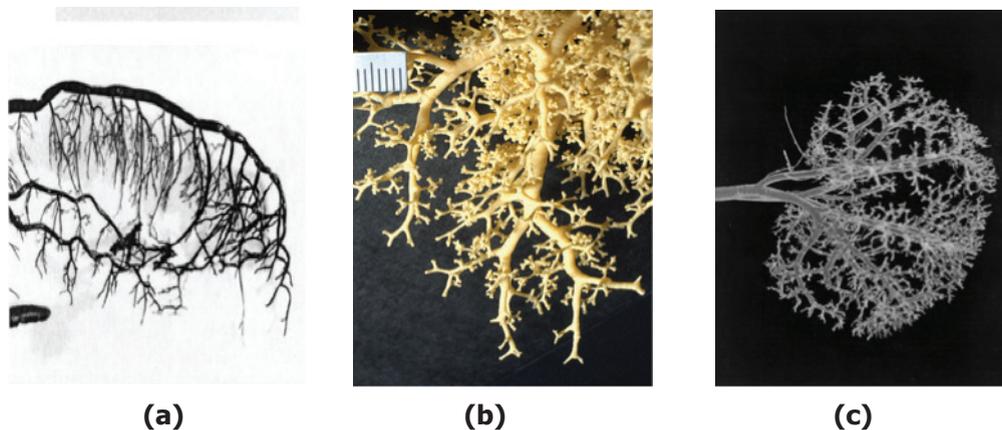
donde  $V_o$  puede ser considerado una distancia, una superficie o un volumen. Puede inferirse entonces, que el área de un plano crece cuadráticamente respecto a  $e$  y por ello  $D=DT=2$ . Situación semejante se observa en curvas y volúmenes, donde  $D$  manifiesta valores correspondientes a 1 y 3, respectivamente. Este es el motivo por el cual los objetos generados a partir de la geometría euclídea adquieren valores dimensionales enteros. Sin embargo, resulta perfectamente factible concebir estructuras cuya dimensión difiera de los valores establecidos, de manera que ocupen más o menos espacio que un objeto tradicional (Falconer, 2003). Esta apreciación, en relación al procesamiento no lineal de series temporales, resulta fundamental para el desarrollo integral del presente trabajo. Las formas geométricas euclídeas transitan de una dimensión a otra sin generar detalle en relación a sus bordes. (Sharma, 2009). Sin embargo, el principio de auto-similaridad constituye un camino excepcional, donde pueden obtenerse señales temporales (consideradas curvas) cuya dimensión efectivamente quebranta la barrera unidimensional, convirtiéndola a  $D$  en fraccionaria. En este sentido, existen procesos naturales

y geométricos que, a partir de reglas explícitas, denotan estructuras que se asemejan a sí mismas al ser analizadas a distintas escalas de magnificación, cualidad conocida como invariancia a la escala. Resultado de lo expuesto, los objetos que ocupan un espacio métrico que fractura el valor de  $DT$  en el que se encuentran embebidos, son denominados *fractales*. Dicho concepto conlleva a considerar variaciones de  $D$  de carácter continuo, a diferencia del enfoque euclidiano, que sólo admite valores discretos. Las estructuras naturales son, por excelencia, de tipo fractal. La elevada irregularidad presente en las mismas puede apreciarse en los contornos de formaciones rocosas o en la conformación de las hojas de los árboles. La manifestación intensa de deformaciones y huecos sitúan a dichos objetos en dimensiones intermedias, no enteras (Fig. 4).

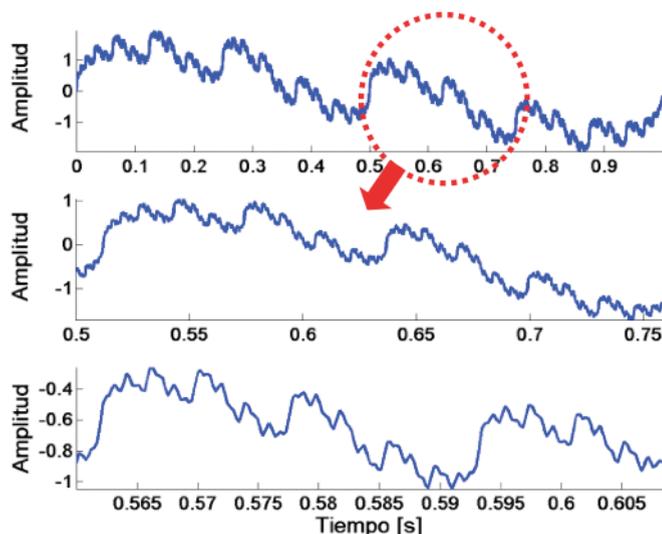
En términos fisiológicos, las estructuras fractales pueden contemplarse en ramificaciones arteriales y venosas, estructuras cardiopulmonares y en conductos biliares, entre otros (Goldberger y West, 1987) (Fig. 5). Uno de los aspectos excluyentes que diferencian la fractalidad natural de la geométrica, es que en los fractales naturales la invariancia a la escala se aprecia sólo dentro de ciertos límites (Goldberger et al., 2002). Adicionalmente, la presencia de auto-similaridad no convierte a un objeto geométrico en un fractal. Esta última, si bien resulta una condición imprescindible, requiere de aportes adicionales para la consolidación del concepto, tales como la presencia de estructura fina, elevada irregularidad, un valor de  $D$  que excede su valor topológico y su potencial definición (en determinados casos) a través de procedimientos recursivos (Falconer, 2003).



**Fig. 4. Valores de dimensión fractal (DF) correspondientes a formaciones naturales. (a) Curva irregular descrita por una línea costera, que excede su dimensión topológica (DT) de valor unitario (b) Volumen irregular delimitado por una esponja, cuyos huecos la colocan dimensionalmente por debajo de  $DT=3$  (c) Manifestación de una descarga eléctrica, embebida en  $DT=2$ .**



**Fig. 5 (a) Ramificaciones de la red arterial coronaria (Fuente de imagen: Zamir, 2001) (b) Desarrollo de bifurcaciones a nivel pulmonar (Fuente de imagen: www.clases.yale.edu, 02/2013). (c) Estructura ramificada el riñón (Fuente de imagen: Zamir, 2001).**



**Fig. 6. Estructura auto-similar presente en una función temporal de tipo fractal. Panel superior: Intervalo comprendido entre 0 y 1 segundos. Panel medio: Intervalo entre 0,5 y 0,75 segundos. Panel inferior: Intervalo entre 0,57 y 0,60 segundos.**

En relación a lo expuesto, las señales fractales son aquellas que presentan detalle o estructura al momento de ser procesadas a través de todas sus escalas temporales (Madisetti, 2009) (Fig. 6). Asimismo, la presencia de auto-similaridad es revelada por la estructura geométrica de los **MMTO** en el plano tiempo-escala, conforme puede fuera observado previamente en la Fig. 3. Obsérvese que en los casos donde  $TO_c$  no presenta **MMTO** a escalas finas, se considera a dicho instante como localmente regular. Debido entonces a que este tipo de objetos se encuentra caracterizado por una

dimensión fraccionaria, la misma es denominada dimensión fractal (**DF**).

Conceptualmente, **DF** puede ser considerada además como una medida de irregularidad. Conforme esta última se incrementa, la dimensión también aumenta su valor, por lo que puede ser utilizada como medida de rugosidad o variación (Bassingthwaighte, 1988). La aparición de cualidades características de los objetos fractales en series temporales no implica necesariamente que las mismas puedan ser consideradas fractales. No obstante, la

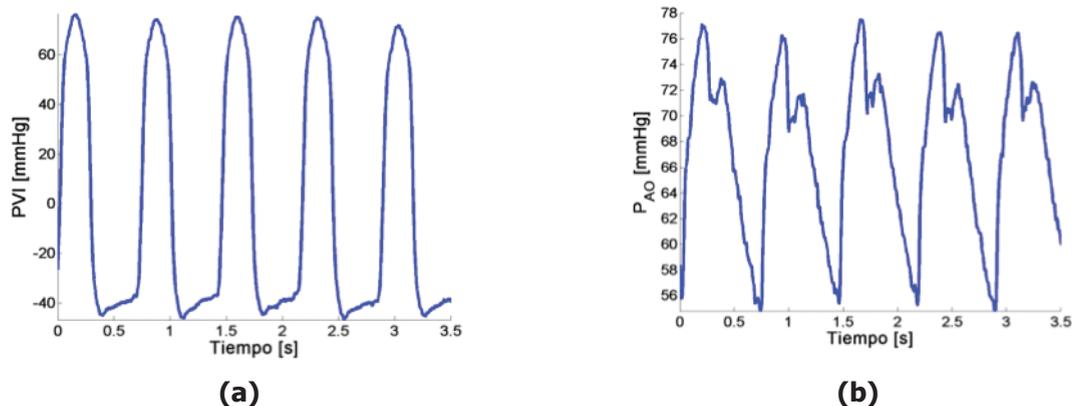
arrogación de dicha cualidad las coloca como posibles candidatas a dicho comportamiento y su análisis requiere ser profundizado. Alcanzar la propuesta, sugiere la necesidad contar herramientas capaces de aportar medidas cuantitativas, como es el caso de la cuantificación de **DF** (Cymberknop et al 2011).

### Complejidad, salud y enfermedad

En términos generales, la no estacionariedad y no linealidad presente en las señales generadas por organismos vivientes desafía los enfoques basados en la homeostasis y las metodologías bioestadísticas convencionales (Goldberger et al., 2002). Particularmente, el sistema cardiovascular exhibe una notable capacidad para desarrollar comportamientos complejos, los cuales se generan a partir de la interacción entre los conductos arteriales y el músculo cardíaco. En este sentido, las aplicaciones fisiológicas fundadas en el análisis por geometría fractal conforman dos grupos perfectamente diferenciados: el primero de ellos, implica una evaluación espacial de los patrones de ramificación, mientras que el segundo efectúa la evaluación sobre parámetros variables en el tiempo (Masters, 2004). Esta última visión es la que ha sido seleccionada para su aplicación, a lo largo del presente trabajo. En forma semejante a lo que sucede con la auto-similaridad de carácter anatómico (leyes que gobiernan la ramificación de la red vascular), los procesos fractales generan fluctuaciones en las formas de onda las cuales se manifiestan en múltiples escalas. Además de la irregularidad morfológica característica, se observan frecuentemente comportamientos no estacionarios (Goldberger

et al., 2002). Uno de los grandes aportes de la dinámica no lineal al entendimiento de los mecanismos que dominan el control cardiovascular consiste en el procesamiento de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (**VFC**), que refleja la actividad del sistema nervioso central. Tradicionalmente, el análisis espectral de **VFC** denota la interacción entre los sistemas parasimpático, cuya acción disminuye la frecuencia cardíaca, y simpático, cuya acción la incrementa (Nichols et al., 2011). Lo notable en relación a lo expuesto, es que el análisis no lineal de **VFC** manifiesta la presencia de auto-similaridad. Recuérdese que a partir de dicho procedimiento, resulta factible revelar la composición estructural de la señal y su comportamiento en múltiples escalas temporales. Resultado de tal hallazgo, la información obtenida a partir de medidas fractales sobre series fisiológicas temporales ha sido denominada complejidad fractal y apunta esencialmente a la estructura morfológica de la señal bajo estudio.

En relación a eventos cardiovasculares severos, tales como arritmias o infartos de miocardio, la disminución de la complejidad fractal en **VFC** resulta un eficiente predictor de mortalidad, incluso sobre indicadores de **VFC** tradicionales (Sharma, 2009). Una explicación a dicho fenómeno reside en que los sistemas saludables revelan un tipo de variabilidad compleja, asociada con interacciones no lineales multi-escala de distinta índole. El enfoque propuesto para en el presente trabajo supone el análisis de la complejidad fractal de series temporales ligadas a la mecánica cardiovascular, tanto en condiciones de salud como ante estados diferenciados que pueden vincularse a la presencia de patologías vasculares. En este sentido, debe



**Fig. 7. (a) Serie temporal correspondiente a la presión ventricular izquierda (PVI). (b) Serie temporal correspondiente a la presión aórtica ( $P_{AO}$ ). (Fuente de datos: FICEYN Univeridad Favaloro).**

tenerse en consideración que el resultado de estimar **DF** sobre una señal temporal, genera indefectiblemente un valor numérico, más allá de si la señal es o no fractal. Efectivamente, el valor de **DF** refleja la complejidad estructural de las series, independientemente de la presencia de auto-similaridad (Raghavendra y Narayana, 2010). En la Fig. 7 pueden apreciarse dos series temporales provenientes de sitios de vital relevancia fisiopatológica. La primera de ellas, corresponde a la forma de onda de la presión ventricular izquierda (**PVI**), iniciadora del pulso de  $P_A$  que se propagará a través del lecho vascular arterial. La segunda, representa la variación temporal de la presión arterial en aorta ascendente ( $P_{Ao}$ ). Bajo simple inspección, puede apreciarse una diferencia sustancial en su morfología, sobre todo en términos de su rugosidad asociada. Más aún, la onda de  $P_A$  será sometida a variaciones subsiguientes, conforme progrese en su recorrido. Resultado de ello, el objetivo de los trabajos futuros consiste en determinar si **DF** se encuentra en condiciones de identificar dichas variaciones, considerando como tendencia del análisis funcional al marco conceptual *fractalidad, salud y enfermedad* establecido en párrafos previos.

### Método de Higuchi para la obtención de la dimensión fractal

Entre los algoritmos existentes para efectuar la estimación de **DF** sobre una forma de onda discretizada (Higuchi, 1988; Katz, 1988; Petrosian, 1995 y Sevcik, 2006, entre otros) el de Higuchi puede ser considerado como uno de los que aporta mayor precisión (Esteller et al., 2001). Partiendo de una serie temporal  $x[n]$ , se procede a generar un conjunto constituido por  $k$  sub-series, donde se considera como instante inicial al parámetro  $m$ , y como incremento temporal discreto (escala bajo análisis) al valor de  $k$ . Seguidamente, y para cada una de las  $k$  series constituidas, se calcula su longitud promedio  $L_m(k)$ , de modo que:

donde el término  $(N-m)/k$  denota el intervalo temporal máximo que puede ser aplicado (notación de Gauss). Posteriormente, se calcula

$$L_m(k) = \frac{\sum_{i=1}^{\lfloor \frac{N-m}{k} \rfloor} |x(m+ik) - x(m+(i-1)k)|}{k} \frac{N-1}{\left(\frac{N-m}{k}\right)k} \quad (3)$$

la longitud promedio por escala  $L(k)$ , respecto de todas las series que corresponden a un mismo incremento temporal, de manera que:

$$L(k) = \frac{\sum_{m=1}^k L_m(k)}{m}, \quad m = 1 \dots k. \quad (4)$$

Finalmente, si puede verificarse la ley de potencia  $L(k) \propto k^{-DF}$ , la complejidad de la serie temporal puede ser caracterizada por medio de la dimensión fractal de Higuchi, **DF**. Esta última puede obtenerse por regresión lineal, a partir de la pendiente que se ajusta a la recta  $\log(L(k))$  vs.  $\log(1/k)$  en un gráfico doble logarítmico.

### Resultados

El procesamiento no lineal de parámetros hemodinámicos ligados a la mecánica vascular, requirió la implementación previa de protocolos experimentales de carácter invasivo, efectuados a través de instrumentación animal. Los mismos fueron desarrollados siguiendo las normas éticas y las recomendaciones internacionales sobre investigación en animales de laboratorio (Guide for the Care and Use of Laboratory Animals, 1996). En relación a los estudios sobre seres humanos, los resultados son extrapolables ya que los modelos resultan funcionalmente escalables (Schmidt-Nielsen, 1984). Por tal razón se llevaron a cabo instrumentaciones quirúrgicas correspondientes a distintos sitios de la vasculatura arterial, incluyendo el músculo cardíaco. Resultado de ello, han sido procesados protocolos desarrollados en base a experiencias *in vitro* (Cymberknop et al., 2011), *in vivo* (Cymberknop et al., 2012; Armentano et al., 2013; Cymberknop et al., 2013) y en seres humanos (Armentano et al., 2012). Esta modalidad posibilitó validar en forma progresiva la hipótesis de trabajo así como las técnicas y algoritmos desarrollados a tal efecto. Los ensayos efectuados *in vitro* posibilitaron el estudio individual local de la pared arterial. Se aplicaron técnicas de procesamiento basadas en **MMTO** para detección de comportamientos auto-similares y se efectuaron

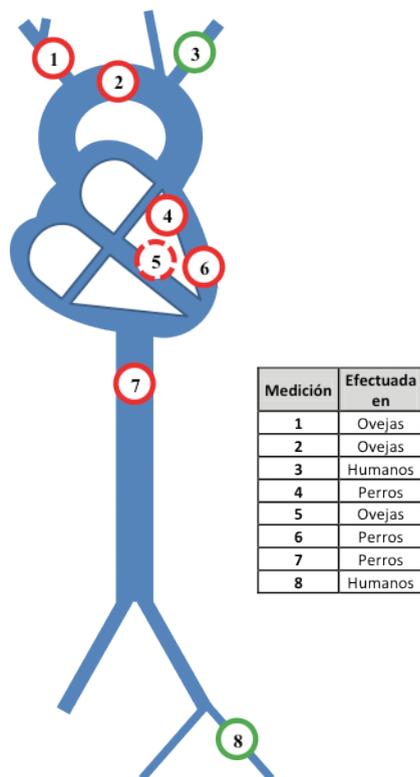
estimaciones de **DF** a partir de la morfología de variables hemodinámicas específicas. La elección de este tipo de procesamientos se encuentra perfectamente justificada. Recuérdese que las formas de onda a las que puede atribuirse una estructura fractal, requieren del cumplimiento de condiciones específicas. A consecuencia de ello, los resultados obtenidos han sido suficientes para consolidar la elección de **DF** como una herramienta de evaluación de la rugosidad, complejidad estructural o eventualmente estructura morfológica fina de series temporales cardiovasculares. En una segunda etapa, se efectuaron estudios *in vivo* de tipo estructural, en virtud del análisis de la red vascular coronaria. La aplicación de drogas simpático-miméticas, que actúan sobre la activación del **ML** vascular, induce un incremento sustantivo sobre RA. En forma simultánea, se evaluó la respuesta del espesor parietal ventricular (**EPV**) ante eventos de isquemia aguda miocárdica. Al igual que en los estudios *in vitro*, se aplicó un análisis morfológico no lineal sobre las series de **P<sub>A</sub>** y **EPV**

que posteriormente fue contrastado con mediciones tradicionales. Finalmente, se desarrollaron estudios *in vivo* a nivel global, en busca de la evaluación de la red arterial en su conjunto. No debe desestimarse que el proceso de ramificación vascular responde a reglas de conformación fractal. Un primer enfoque consistió en la determinación de cambios morfológicos en **P<sub>A</sub>** ante eventos obstructivos en aorta descendente. Una maniobra de estas características, además de incrementar la **R<sub>A</sub>**, elimina en su totalidad las reflexiones provenientes de la periferia. Este mismo análisis fue extrapolado luego a experiencias en seres humanos, a partir de mediciones no invasivas en sitios proximales y distales al músculo cardíaco. El esquema integral de mediciones efectuadas puede ser apreciado en la Fig. 8.

### Evaluación de las Experiencias *in Vitro*

**Protocolo experimental:** Tronco Braquiocefálico

**Resumen del estudio:** El objetivo de los estudios *in vitro* consistió en la evaluación de la relación existente entre **R<sub>A</sub>** y **DF**, a partir del análisis de series temporales de **P<sub>A</sub>** y **D<sub>A</sub>**. Los procesamientos fueron efectuados sobre conductos vasculares extraídos quirúrgicamente del tronco braquiocefálico, y ensayados posteriormente en un simulador circulatorio para experiencias de esta índole. El procesamiento fractal fue implementado como una medida no lineal, resultado de la presencia de autoafinidad en las series bajo estudio. Dicho comportamiento fue revelado a través del ordenamiento geométrico descrito por los **MMTO**, resultado de su aplicación al conjunto de datos. Asimismo, los valores de DF asociados a cada serie fueron obtenidos a partir del método de Higuchi, el cual es ampliamente utilizado en la literatura de procesamiento no lineal. Por su parte, las variaciones de RA fueron obtenidas a partir de índices de rigidez de aplicación clínica. **Resultado Excluyente:** tendencia existente entre la respuesta parietal vascular (incremento en **R<sub>A</sub>**) y la morfología adquirida por las series temporales que la caracterizan (disminución en **DF**).



**Fig. 8. Localización anatómica de las mediciones efectuadas en las experiencias *in vitro*, *in vivo* y en seres humanos, en el marco de la presente tesis. (1) Tronco Braquiocefálico, (2) tercio superior aorta ascendente, (3) arteria carótida, (4) arteria coronaria descendente anterior izquierda, (5) cavidad ventricular izquierda (6) espesor ventricular izquierdo, (7) tercio superior aorta descendente, (8) arteria femoral.**

## Evaluación de las Experiencias *in Vivo* (Animales)

**Protocolo experimental:** Arteria Coronaria Descendente Anterior Izquierda

**Resumen del estudio:** El objetivo de los estudios efectuados *in vivo* sobre la red coronaria, consistió en la evaluación del aumento en  $R_A$  inducido por la administración de una droga simpático mimética (fenilefrina) y de las variaciones resultantes en la morfología de PA aórtica. Estos últimos fueron cuantificados a partir de  $DF$ .

**Resultado excluyente:** el fenómeno de *HTA* aguda, inducida por la administración de sustancias vasoconstrictoras, provoca un incremento de  $R_A$  con una disminución concomitante de la complejidad fractal de la onda de presión aórtica.

**Protocolo experimental:** Espesores Ventriculares Izquierdos

**Resumen del estudio:** Los estudios miocárdicos *in vivo* fueron efectuados en ambas caras del ventrículo izquierdo, ante eventos obstructivos de la coronaria circunfleja izquierda (*CCI*). Durante el transcurso de los procesos isquémicos se evaluó la complejidad fractal denotada por la variación de ambos espesores ventriculares. El primero de ellos, correspondiente a la cara posterior, fue sometido a condiciones de perfusión anormal, producto de la maniobra obstructiva. En contraposición, el espesor correspondiente a la cara anterior, fue irrigado en condiciones de normalidad.

**Resultado excluyente:** Los análisis efectuados en torno a la estructura fina de las formas de onda de espesor ventricular denotaron que la pérdida de complejidad fractal, evidenciada en valores disminuidos de  $DF$ , constituye un marcador de la presencia de procesos isquémicos.

**Protocolo experimental:** Aorta Ascendente

**Resumen del estudio:** El protocolo de experimentación sobre aorta ascendente consistió en la evaluación de  $DF$  en  $P_A$  ante estados de reflexión total de ondas, inducidos por la acción un ocluser neumático. Asimismo, fueron estimados los valores correspondientes a  $R_A$ , obtenidos del análisis de la curva presión vs deformación. La descomposición de  $P_A$  en sus componentes incidente y reflejada, se efectuó a partir de los resultados de la maniobra de oclusión, donde se asumió que la onda medida

se encontraba constituida por la combinación de dos ondas incidentes. Dicha suposición fue considerada válida, debido a la proximidad existente entre los sensores de  $P_A$  y  $D_A$  y la disposición del sitio de obstrucción. La condición de reflexión plena, producto de la maniobra descrita, indujo una reducción en los valores de  $D_F$  (respecto a su condición basal) en forma concomitante con un incremento en  $R_A$ . Como puede apreciarse, durante el estado de oclusión del conducto aórtico, los valores de  $D_F$  correspondientes a  $P_A$  son coincidentes con los de  $P_A$  incidente, dado que esta última, por definición, corresponde a la mitad de la presión medida.

**Resultado excluyente:** La fractalidad en PA aórtica resulta altamente dependiente de la reflexión de ondas.

## Evaluación de las Experiencias en Seres Humanos

**Protocolo experimental:** Arterias Carótida y Femoral

**Resumen del estudio:** El protocolo efectuado en seres humanos se llevó a cabo sobre individuos con *HTA* moderada. De esta manera, el rango de variación de  $PA$  empleado en el análisis estuvo en concordancia con el protocolo de aorta ascendente. Las mediciones fueron efectuadas en forma no invasiva, sobre arterias superficiales. Una de ellas se llevó a cabo sobre  $Ca$ , localizada en el cuello, mientras que la otra recaló sobre  $Fe$ , dispuesta en el muslo.

**Resultado excluyente:** Se observaron valores incrementados de  $R_A$ ,  $PP$  y  $AI_x$  en  $Fe$  respecto de  $Ca$ . Concomitantemente, se advirtió una disminución de  $DF$  de  $P_A$  en  $Fe$  en relación a  $DF$  de  $P_A$  en  $Ca$ .

## Discusión

En el transcurso de la fase sistólica, se desarrolla una contracción ventricular isovolumétrica, que incrementa  $PVI$  hasta la apertura de la válvula aórtica. Como resultado de ello, se inicia el proceso de eyección, el cual provee fluido sanguíneo a la circulación sistémica. Este último se mantendrá activo hasta que la presión intraventricular, que comienza a disminuir producto del vaciamiento, resulte insuficiente para mantener la válvula en estado de apertura. El cierre de la misma da inicio a la fase diastólica, precedida por la relajación

ventricular. Este proceso, da origen a la forma de onda característica de **PVI**, que puede observarse en la Fig. 9, sitio 1. Tal como puede advertirse, esta última no se encuentra expuesta a reflexiones provenientes de la periferia, excepto durante el período de eyección. Consecuencia de ello, **PVI** manifiesta baja rugosidad morfológica y acusa valores mínimos de **DF**. En oposición a dicho fenómeno, **P<sub>AO</sub>** presenta una consistente irregularidad (**DF** aumentada) debido a su exposición a la totalidad de las componentes reflejadas en la red arterial. En conjunción a ello, el conducto aórtico cuenta con una elevada distensibilidad (Fig. 9, sitio 2). Tomando en consideración la morfología gruesa de **P<sub>AO'</sub>** la misma resulta diferente de **PVI**, consecuencia del efecto de amortiguamiento arterial. En la Fig. 9, sitio 3, puede observarse la evolución temporal de **P<sub>A</sub>** en **Ca**, cuya ubicación se encuentra levemente alejada de la aorta ascendente, de mayor **R<sub>A</sub>** que esta última e inferior grado de reflexión. A consecuencia de ello se obtiene un valor **DF** disminuido, respecto a **DF** de **P<sub>AO'</sub>**. Finalmente, la forma de onda de **PA** en **Fe**, distal al miocardio, acusa una morfología con pérdida de complejidad considerable (Fig. 9, sitio 4), producto de **PP**, **R<sub>A</sub>** y **AI<sub>x</sub>** elevados. Nótese que dichas modificaciones son el resultado de la presencia de un gradiente de rigidez vascular, cuya influencia reviste un carácter no lineal. En virtud de lo expuesto, la forma de onda de **PVI**, cuya **DF** es mínima, se fractaliza en su recorrido hacia la aorta descendente, complementariamente al efecto impuesto por la carga arterial. En particular, dicho sitio se encuentra influenciado por el estado general de la red vascular y se ve afectado bajo estados patológicos, los cuales modifican esencialmente los valores **R<sub>A</sub>** (y consecuentemente **VOP**) al igual que los sitios de reflexión de ondas. Conforme la onda mecánica se propaga respecto de las distintas ramas, la presencia de un gradiente de rigidez y la cercanía a la periferia, descomplejizan su estructura morfológica. Es por ello que la pérdida de fractalidad en **P<sub>AO</sub>** central (al igual que otros parámetros relacionados con el **RCV**) resulta de relevancia en términos de prevalencia y desarrollo de enfermedades cardiovasculares. Debe puntualizarse además, que los valores presentes en la Fig. 9 asociados a cada forma de onda son sólo referenciales, y han sido estimados a partir de los resultados obtenidos en las diversas experiencias desa-

rolladas, asumiendo estados de normalidad. Consiguientemente, ha podido esbozarse un modelo de carácter conceptual. La concepción del sistema arterial a partir de un conducto único, de propiedades constantes o variables a lo largo de su longitud y una terminación definida (modelo Windkessel), ha generado resultados aceptables en relación a las perturbaciones de bajas frecuencias (Taylor, 1966). Sin embargo, en el campo de las altas frecuencias, las discrepancias son manifiestas. La justificación de este último comportamiento radica en que el sistema arterial está constituido por un conjunto de ramificaciones tubulares y no puede (ni debe) ser simplificado de dicha manera. Adicionalmente, debe considerarse el efecto de atenuación, producto de la viscosidad de la pared arterial, sobre las ondas que se propagan por la red. Es por ello que la consideración del gradiente de rigidez en conjunto con la naturaleza distribuida de las terminaciones constituye una contribución significativa en el comportamiento integral del sistema arterial (Taylor, 1966). En términos de procesamiento no lineal, dicho comportamiento puede ser expresado en múltiples escalas y consecuentemente evaluado a través de una medida fractal. La pérdida de componentes de alta frecuencia resulta característica de la ausencia de complejidad y puede ser vinculada a la presencia de patologías. Efectivamente, esta última apreciación forma parte del marco conceptual *salud/enfermedad* y **DF**, adoptado según los lineamientos del presente trabajo. En este sentido, los modelos de redes de transmisión basados en fractalidad han sido empleados consistentemente en el estudio de la circulación (Milnor, 1989). En Brown, (1996) se desarrollaron simulaciones de redes arteriales concebidas en base a reglas fractales, donde son extendidas las premisas propuestas por Taylor.

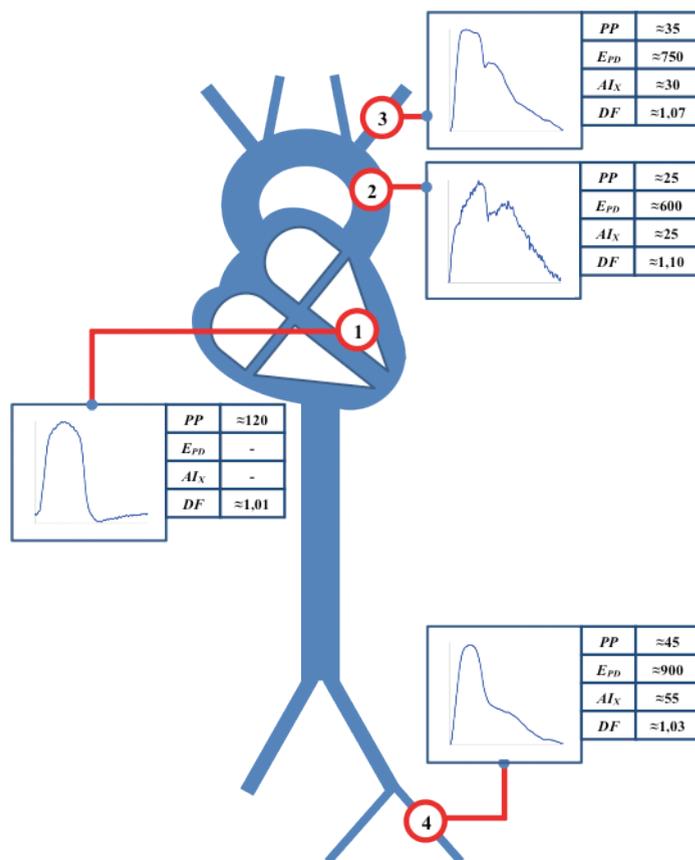
Uno de los hallazgos más prominentes radica en que independientemente de la distribución dicotómica de las ramificaciones y a la aplicación de una ley de potencia a la relación entre sus dimensiones, la asimetría característica de las bifurcaciones cumple un rol fundamental. Este fenómeno es responsable de una marcada reducción en el coeficiente de reflexión y por ende influencia las oscilaciones espectrales presentes en la impedancia de entrada. La división dicotómica de las ramificaciones del árbol arterial le provee su primera característica fractal, pero de la manera más rudimentaria.

Efectivamente, el resultado es una estructura abierta, constituida por segmentos vasculares y bifurcaciones, las cuales constituyen el bloque universal de la red arterial (Zamir, 1999). En virtud de lo expuesto, la génesis fractal de la red arterial resulta inobjetable. Por esta razón, se ha evaluado el comportamiento temporal de sus variables hemodinámicas asociadas, partiendo de metodologías de procesamiento acordes a dicha concepción. No obstante, si bien han sido reportados estudios en relación a la asignación de los parámetros geométricos correspondientes a cada ramificación (Murray, 1926; Pollanen, 1992; Zamir, 1999), no han sido evaluadas asignaciones vinculadas a la conformación intrínseca de la pared arterial. Se ha puesto de manifiesto previamente, que la acción de los componentes viscoelásticos de esta última resulta altamente determinante en términos de impedancia arterial. Consiguientemente, el fenómeno auto-similar observado en las series de  $P_A$  podría ser modelado a partir de la interacción de las componentes propagatorias reflejadas, cuya distribución dentro

de la morfología es producto de las alteraciones biomecánicas locales (o eventualmente sistémicas) de la vasculatura arterial.

### Efecto Estiramiento (*Unwrinkling*)

La caracterización de los cambios morfológicos experimentados por la forma de onda de  $P_A$  derivó en la implementación del término *unwrinkling* (en inglés). Dicha manifestación fue observada inicialmente en las experiencias invasivas efectuadas sobre la red coronaria. El incremento en la rigidez vascular, inducido por la activación de  $ML$ , resultó concomitante con un aumento y la pérdida de rugosidad en la estructura de la serie temporal. El mismo comportamiento pudo ser apreciado además, ante eventos obstructivos de la aorta descendente (ausencia de ondas periféricas reflejadas) y en los análisis de las variaciones morfológicas de presión en las arterias carótida y femoral. De esta manera, el fenómeno de escalamiento acusado por ondas mecánicas en su recorrido desde el miocardio, podría ser conceptualizado



**Fig. 9. Formas de onda de la presión arterial, conjuntamente con sus valores de presión pulsátil (PP), módulo de elasticidad presión diámetro ( $E_{PD}$ ), índice de Aumento ( $AI_X$ ) y dimensión fractal (DF). (1) Ventrículo Izquierdo, (2) Aorta ascendente, (3) Arteria carótida, (4) Arteria Femoral.**

en términos de un estiramiento (*unwrinkling*), según puede ser apreciado en la Fig. 10.

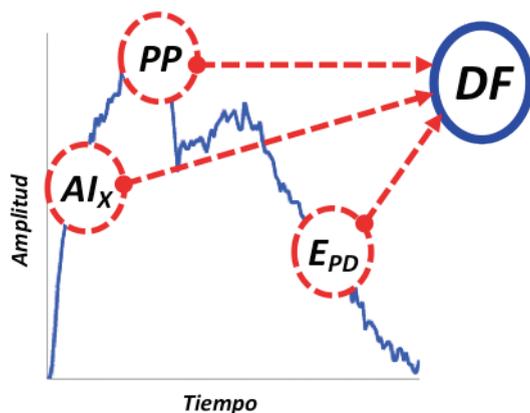
### Influencia de la Onda Reflejada

Nótese que en los ensayos *in vitro*, efectuados sobre un banco de ensayos de circulación unitaria, la variación de  $R_A$  propia del conducto pudo verse reflejada en pérdidas de complejidad estructural en  $P_A$  y  $D_A$ , en ausencia de un SCV distribuido. Efectivamente, las ondas resultaron modificadas estructuralmente como resultado de la presencia de un reservorio de líquido que actuó como complianza y un marcado sitio de reflexión de ondas proporcionado por la obstrucción hidráulica. Es por ello que se ha sugerido que los cambios experimentados por la respuesta vascular ante variaciones de flujo, fueron determinantes en la conformación de la estructura fina de las ondas generadas. Considerando los efectos sistémicos, el **SCV** emplea el efecto de amortiguamiento arterial (a través de los grandes conductos arteriales) de modo de atenuar la pulsatilidad del fluido y asegurar un régimen cuasi-estable a nivel capilar. En relación a lo anterior, en párrafos precedentes se efectuó la comparación de la complejidad estructural entre una onda de presión ventricular y una aórtica. Esta última, a pesar de encontrarse limitada en su contenido frecuencial (producto de la acción de amortiguamiento), manifiesta elevada irregularidad en términos morfológicos. La presencia de reflexiones de ondas, provenientes de los múltiples sitios de ramificación vascular, modifica su contorno de ma-

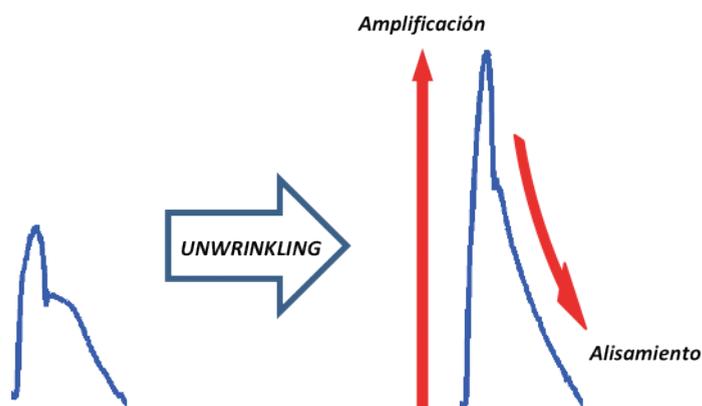
nera sustantiva. Se ha expresado previamente, que bajo estados patológicos tales como **HTA**, el incremento en  $R_A$  representa una disminución en la complianza global del sistema. Como consecuencia de ello, la eliminación de las fluctuaciones de frecuencia elevada resulta menos eficiente. Asimismo, el incremento resultante en **VOP** genera un retorno temprano de las ondas periféricas hacia el músculo cardíaco, incrementando la presión en la región de la aorta abdominal (Westerhof et al., 2010). En términos de fractalidad, el procesamiento de las formas de onda de  $P_{AO}$  denota que las mismas acusan menos rugosidad, respecto de estados de normalidad. A partir de lo expuesto, podría inferirse que la dispersión de las reflexiones en torno a la estructura ejerce un rol fundamental. El retorno temprano de la onda reflejada no sólo aumenta el valor máximo de  $P_A$  durante el transcurso de su excursión sistólica, sino que influye sobre la distribución de las singularidades que conforman la morfología de latido. Dichas alteraciones son diferenciadas de manera rotunda por la variación de **DF**, que efectivamente acusa el fenómeno de *unwrinkling*.

### Dimensión Fractal: un índice holístico

Conforme puede inferirse, **DF** puede ser definido como un parámetro holístico ligado directamente a  $R_A$  y reflexión de ondas. Inicialmente, las experiencias efectuadas *in vitro* revelaron la vinculación entre **DF** y  $R_A$  en términos vasculares locales. Dicha consideración reviste validez, resultado de la ausencia de ramificaciones distribuidas en la disposición circuital del simulador circulatorio utilizado. Posteriormente, los procesamientos efectuados sobre la morfología del espesor ventricular ante eventos isquémicos arrojaron resultados que se encuentran en concordancia con las observaciones adquiridas de la respuesta parietal. A partir de allí, los ensayos de carácter estructural en el lecho coronario (una red arterial reducida) advirtieron la presencia de cambios morfológicos en  $P_A$  aórtica ante estados de activación del músculo liso vascular. Es por ello que el procesamiento de las experiencias *in vivo* ante maniobras de reflexión total, posibilitaron la evaluación estructural de la totalidad del conjunto arterial y su impacto sobre la morfología de  $P_A$ . A diferencia de las experiencias sobre el lecho arterial coronario, donde el proceso de activación indujo el incremento en  $R_A$ , se reprodujo un efecto similar a partir de la ejecución de una manio-



**Fig. 10. Efecto *unwrinkling* (estiramiento) denotado por acciones de amplificación y pérdida de rugosidad en la forma de onda (Fuente de datos: Armentano et al., 2013).**



**Fig. 11. Definición de la dimensión fractal (DF) como indicador holístico, resultado que la misma contempla variaciones de parámetros vinculados a la pulsatilidad de la onda (presión pulsátil, PP), elasticidad vascular (índice presión vs. deformación,  $E_{PD}$ ) y reflexión de ondas (índice de aumento,  $AI_x$ ).**

bra obstructiva. Resultado de la misma, fueron anuladas las componentes reflejadas provenientes del lecho periférico, mientras que durante la condición de activación, dichas reflexiones se encontraban presentes. En ambas situaciones, la disminución de **DF** resultó concomitante tanto a la respuesta vascular como a la influencia de las ondas reflejadas. Es por ello que la detección de un estiramiento de  $P_A$  con pérdida de complejidad (*unwrinkling*), puede ser atribuido tanto a incrementos en  $R_A$  (factor conductivo) como a alteraciones estructurales propias del árbol arterial (factor obstructivo) (Fig. 11).

En virtud de lo expuesto, la proposición de base resulta adecuada desde más de un punto de vista. La concepción del holismo supone la presencia de alinealidad, donde el todo no corresponde a la suma de sus partes, incumpliendo el principio de superposición. Además de ello, **DF** caracteriza comportamientos intrínsecos, basados en la información multi-escala, los cuáles no están ligados específicamente a una magnitud o sistema biológico en particular. Más aún, resulta innecesaria la calibración de la señal adquirida en su determinación, de modo que la medida resulta independiente de unidades específicas. Recuérdese que la determinación no invasiva de las variaciones sistó-diastólicas de  $P_A$  (a partir de la implementación de la técnica de tonometría por aplanamiento), requiere de mediciones esfigmomanométricas adicionales, donde suele asumirse la invariancia de las presiones media

y diastólica, a lo largo de la red vascular. En este sentido, la estimación de **DF** se encuentra totalmente libre de verse afectada por los niveles de estas últimas.

## Conclusión

Los diversos análisis efectuados han arrojado la presencia de variaciones morfológicas en variables hemodinámicas de la mecánica vascular, inducidas por la presencia de estados patológicos. Las mismas, han sido cuantificadas a través procesamientos no lineales, basados en geometría fractal. El hallazgo principal denota una **DF** disminuida, concomitante tanto a los cambios en  $R_A$  como a la ausencia de reflexiones de ondas. Resultado de ello, podría inferirse que la información provista por la medida resulta del análisis observacional de **DF**, asociado al de un marcador potencial, sostiene una consistencia significativa en términos de salud y enfermedad. La adopción de este marco conceptual, ha posibilitado que la cuantificación de la complejidad fractal pueda ser empleada en la detección de estados patológicos subyacentes, asociados a parámetros descriptivos de la mecánica cardiovascular.

## Referencias

- ARMENTANO, R. L. y BARRA, J. G. (2008), "Bases físico matemáticas para el estudio de los vasos sanguíneos" en *Biomecánica Arterial*, Armentano R. L. y Cabrera Fischer E. I., eds., Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires.
- ARMENTANO, R. L.; BARRA, J. G.; PESSANA, F. M.; CRAIEM, D.; GRAF, S.; BIA, D. y SANCHEZ, R. (2007), "Smart Smooth Muscle Spring-Dampers", en *IEEE Engineering in Medicine and Biology Mag*, 26:62-70.
- ARMENTANO, R. L.; CYMBERKNOP, L. J.; LEGNANI, W.; PESSANA, F. M.; BARRA, J. G. y SIMON, A. (2012), "Arterial Blood Pressure Complexity Provides Insightful Information About Arterial System Dynamics", en *34nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*.
- ARMENTANO, R. L.; CYMBERKNOP, L. J.; LEGNANI, W.; PESSANA, F. M., CRAIEM, D.; GRAF, S. y BARRA, J. G. (2013), "Arterial pressure fractality is highly dependent on wave reflection", en *35nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*.
- AVOLIO, A. (2009), "Input impedance of distributed arterial structures as used in investigations of underlying concepts in arterial hemodynamics", en *Med. Biol. Eng. Comput.*, 47:143-151.
- BARNSELY, M. F. (2000), *Fractals Everywhere*, 2da ed., Morgan Kaufmann.
- BASSINGTHWAIGHTE, J. B. (1988), "Physiological Heterogeneity: Fractals Link Determinism and Randomness in Structures and Functions", en *News Physiol Sci*, 3(1): 5-10.
- BIA, D.; CYMBERKNOP, L.; ZÓCALO, Y.; FARRO, I.; TORRADO, J.; FARRO, F.; PESSANA, F. y ARMENTANO, R.L. (2011), "Age-related differences in reservoir and excess pressure components of central aortic pressure in asymptomatic adults", en *33nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 6454-7.
- BROWN D. J. (1996), "Input impedance and reflection coefficient in fractal-like models of asymmetrically branching compliant tubes", *IEEE Trans Biomed Eng*, 43(7), 715-722.
- CABRERA FISCHER, E. I. y ARMENTANO, R. L. (2008), "Introducción al conocimiento de las arterias" en *Biomecánica Arterial*, Armentano R. L. y Cabrera Fischer E. I., eds., Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires.
- CYMBERKNOP, L. J.; ARMENTANO, R. L.; PESSANA, F. M.; FURFARO, A. y CROTTOGINI, A. (2012a), "Experimental Approach on Measuring Sheep Coronary Arteries Vasomotricity", en *8th Ibero-American Congress on Sensors*.
- CYMBERKNOP, L. J.; LEGNANI, W.; BARRA, J. G.; PESSANA, F. M. y ARMENTANO, R. L. (2013), "Fractal Dimension as an Index of Left Ventricular Ischemia: A Pilot Study" en *Physiol Meas.*, 34: 83-97
- CYMBERKNOP, L. J.; LEGNANI, W.; PESSANA, F. M.; CROTTOGINI, A. y ARMENTANO, R. L. (2012), "Coronary Arterial Stiffness is Related With a Loss of Fractal Complexity in the Aortic Pressure", en *34nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 4200-03
- CYMBERKNOP, L.; LEGNANI, W.; PESSANA, F.; BIA, D.; ZÓCALO, Y. y ARMENTANO, R.L. (2011), "Stiffness Indices and Fractal Dimension relationship in Arterial Pressure and Diameter Time Series in-Vitro" en *Journal of Physics: Conference Series*, 332: 012024.
- ESTELLER, R.; VACHTSEVANOS, G.; ECHAUZ, J. y LITT, B. (2001), "A comparison of waveform fractal dimension algorithms", en *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, 48: 177-183.
- FALCONER, K. (2001), *Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications*, 2da ed., Wiley.
- FUGAL, D. L. (2009), *Conceptual Wavelets in Digital Signal Processing*, Space & Signals Technical Publishing.
- GOLDBERGER, A. L. (2002), "Fractal dynamics in physiology: Alterations with disease and aging", en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99: 2466-2472.
- GOLDBERGER, A. L.; PENG C. K. y LIPSITZ, L. A. (2002), "What is physiologic complexity and how does it change with aging and disease?", *Neurobiology of Aging*, 23(1): 23-26.
- GOLDBERGER, A. L.; WEST, B. J. (1987), "Fractals in physiology and medicine", en *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 60(5): 421-435.

Guide for the Care and Use of Laboratory Animals (1996), Institute of Laboratory Commission on Life Sciences, National Research Council, National Academy Press, Washington D.C., EUA.

HIGUCHI, T. (1988), "Approach to an irregular time series on the basis of the fractal theory", en *Physica D*; 31: 277-283.

KATZ, M. (1988), "Fractals and the analysis of waveforms", en *Comput. Biol. Med.*; 18: 145-156.

LIPSITZ, L. A. (2004), "Physiological complexity, aging, and the path to frailty", *Sci Aging Knowledge Environ*, 2004(16).

MANDELBROT, B. (1983), *The fractal Geometry of nature*, Freeman, New York.

MASTERS, B. R. (2004), "Fractal analysis of the vascular tree in the human retina", *Annu Rev Biomed Eng*, 6: 427-452.

MILNOR, W. R. (1989), *Hemodynamics*, 2da ed., Williams & Wilkins.

MURRAY, C. D. (1926), "The physiological principle of minimum work applied to the angle of branching of arteries", *J. Gen. Physiol*, 9:835-841.

NICHOLS, W. W. (2005), "Clinical measurement of arterial stiffness obtained from noninvasive pressure waveforms", en *American Journal of Hypertension* 18, (1): 3S-10S.

NICHOLS, W. W.; O'ROURKE, M. F. y VLACHOPOULUS, C. (2011), *McDonald's Blood Flow in Arteries: Theoretical, Experimental and Clinical Principles*, 6ta ed., A Hodder Arnold Publication.

O'ROURKE, M. (1995), "Mechanical Principles in Arterial Disease", en *Hypertension* 26 (1): 2-9.

PETROSIAN, A. (1995), "Kolmogorov complexity of finite sequences and recognition of different preictal EEG patterns", en *Proceedings of the Eighth IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems*, 212-217.

POLLANEN, M.S. (1992), "Dimensional optimization at different levels of the arterial hierarchy", *J. Theor. Biol.*, 159:267-270.

RAGHAVENDRA, B. S. y NARAYANA, D. (2010), "Computing Fractal Dimension of Signals using Multiresolution Box-counting Method", en *International Journal of Information and Mathematical Sciences*, 6(1): 50-65.

SCHMIDT-NIELSEN, K. (1984), *Scaling: Why is Animal Size So Important?* Cambridge University Press.

SEVCIK, C. (2006), "On fractal dimension of waveforms", en *Chaos Solitons & Fractals*; 28: 579-580.

SHARMA, V. (2009), "Deterministic Chaos and Fractal Complexity in the Dynamics of Cardiovascular Behavior: Perspectives on a New Frontier", *Open Cardiovasc Med J.*, 3: 110-123.

STRUZIK, Z. R. (2000), "Determining Local Singularity Strengths and their Spectra with the Wavelet Transform", en *Fractals: Complex Geometry, Patterns, and Scaling in Nature and Society*, 8: 163-179.

TAYLOR, M. G. (1966), "The Input Impedance of an Assembly of Randomly Branching Elastic Tubes", *Biophys J*, 6(1): 29-51.

THEILER, J. (1990), "Estimating the Fractal Dimension of Chaotic Time Series", en *The Lincoln Lab. J.*, 3(1):63-86.

VAN DEN WIJNGAARD, J.; SIEBES, M. y WESTERHOF, B. E. (2009), "Comparison of arterial waves derived by classical wave separation and wave intensity analysis in a model of aortic coarctation", en *Med Biol Eng Comput*, 47:211-220.

WESTERHOF, B. E.; GUELEN, I.; WESTERHOF, N.; KAREMAKER J. M., y AVOLIO, A. (2006), "Quantification of Wave Reflection in the Human Aorta From Pressure Alone A Proof of Principle", en *Hypertension*, 48(4): 595-601.

WESTERHOF, N.; STERGIOPULOS, N.; y NOBLE, M. I. M. (2010), *Snapshots of Hemodynamics: An Aid for Clinical Research and Graduate Education*, 2nd ed., Springer.

ZAMIR, M. (1999), "On Fractal Properties of Arterial Trees", en *J. Theor. Biol.*, 197: 517-526.

ZAMIR, M. (2001), "Arterial Branching within the Confines of Fractal L-System Formalism", en *The Journal of General Physiology*, 118(3): 267-276.

ZAMIR, M. (2010), *The Physics of Coronary Blood Flow*, 1ra ed., Springer.

# Mitigación de la isla de calor urbana en ciudades de zonas áridas

**Salvador Enrique Puliafito, Fabián Bochaca, David Allende**

Universidad Tecnológica Nacional, Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable, (CEDS) Rodríguez 273, 5500 Mendoza, Argentina

*epuliafito@frm.utn.edu.ar*

*Recibido el 5 de Abril de 2013, aprobado el 17 de Mayo de 2013*

---

## Resumen

A partir de mediciones meteorológicas fijas y móviles realizadas en la ciudad de Mendoza se mostró que los árboles y parques mejoran el confort térmico por efecto de la sombra y la evapotranspiración durante el día; pero al mismo tiempo, las calles arboladas retrasan el enfriamiento nocturno por retención de aire caliente debajo de sus copas. No obstante, el balance de confort térmico día-noche es favorable. La extensión del efecto de enfriamiento del parque se extiende hasta unos 800 a 1.000m hacia su entorno, con una disminución de la temperatura promedio de 1,3°C durante el día y más de 4,0°C por la noche.

**PALABRAS CLAVE:** ICU – PET - MEDICIONES MÓVILES - CONFORT CLIMÁTICO URBANO - ZONAS ÁRIDAS

## Abstract

Fixed and mobile meteorological measurements performed in the city of Mendoza showed that trees and parks improve thermal comfort by shade and evapotranspiration during the day, but at the same time, trees delays night cooling by retaining hot air under their canopy. However, the balance of day-night thermal comfort is favorable. The cooling effect of parks extends up to 800 to 1000m, to the surroundings reaching an average temperature decrease of 1.3°C during the day and more than 4.0°C at night.

**KEYWORDS:** UHI - PET - MOBILE MEASUREMENTS - URBAN CLIMATIC COMFORT - ARID ZONES

## Introducción

Los cambios económicos, sociales y espaciales en los centros urbanos han aumentado el área de superficies impermeables en detrimento de los parques y las zonas rurales. El calor antrópico producido por la industria y el transporte, la alta capacidad térmica de edificios y la obstrucción al flujo del viento ha modificado la inercia térmica de las ciudades. El aumento de la urbanización se asocia además a cambios en el uso y cobertura del suelo (CUCS), la contaminación del aire y una mayor demanda de consumo de energía y agua. Estos cambios han aumentado la diferencia de temperatura entre el medio urbano y el rural o periférico cuyo efecto se lo conoce como "isla de calor urbana" (ICU). Las unidades del paisaje urbano, tales como edificios, calles, árboles, jardines y parques interactúan de forma diferente con las capas atmosféricas adyacentes, tanto en escalas espaciales como temporales, en función de la exposición a la radiación solar, el intercambio neto de radiación de onda larga, y la ventilación. Los climatólogos reconocen dos capas diferentes de interacción (Oke, 1976, 1981, 1982; Grimmond et al., 1996; Arnfield, 2003): la capa de dosel urbana (CDU), que se extiende desde la superficie del suelo y alcanza el nivel de los techos de los edificios y la capa límite urbana (CLU), que es parte de la capa planetaria y se encuentra por encima de la CDU. El intercambio de energía a escala micro contra la formación de la CDU, mientras que los usos de la tierra y la meteorología regional afectan la CLU. En la escala horizontal se pueden identificar de tres zonas: i) la escala micro, que va desde la construcción individual, árbol o la calle hasta un tamaño de una cuadra de la ciudad (0 - 100m), ii) la escala local, se extiende desde varias cuerdas homogéneas a un barrio (200 - 2000m) y iii) la escala regional, que incluye la escala de la ciudad (5000 a 20000m). Estas escalas verticales y horizontales generan dos procesos diferentes: la ICU\_CDU y la ICU\_CLU.

Las principales causas de la aparición de ICU\_CDU son: i) los cambios en el albedo de la superficie aumenta la absorción de la radiación de onda corta y reduce las pérdidas de radiación de onda larga, lo que lleva a un mayor almacenamiento de energía en los edificios y entornos construidos, ii) una menor turbulencia en cañones urbanos reduce la pérdida de calor sensible; iii) una mayor actividad antrópica pro-

duce calor adicional; iv) una menor vegetación reduce las tasas de evapotranspiración. La topografía, el tamaño de la ciudad, la velocidad del viento, la altura y cantidad de nubes, y la frecuencia de las capas de inversión influyen la magnitud de la ICU\_CLU (Eliasson y Holmer, 1990). Otras causas adicionales pueden atribuirse a la creciente concentración de partículas de la contaminación urbana (Crutzen, 2004; Sarrat et al, 2006) lo que puede alterar el balance de energía de la atmósfera, y por lo tanto el aumento de la temperatura del aire local y la reducción de velocidades de enfriamiento (Abkari et al., 2001).

La principal diferencia entre ICU en *zonas áridas o húmedas* se refiere al tipo de suelo en la zona periurbana y rural: a) En las zonas húmedas, la periferia está vegetada, por lo tanto la temperatura está siempre por debajo de la temperatura de las zonas urbanas (día y noche). La ICU se intensifica durante la noche y en días de verano con vientos calmos. La mayor evapotranspiración de las zonas rurales, su menor almacenamiento de calor, la presencia de vientos más intensos provocan que la periferia a las zonas urbanas sean más frescas (Ackerman, 1987; Landsberg, 1981; Grimmond y Oke, 1999). b) En las zonas áridas (y más intensamente en la época de verano) la periferia (seca con poca vegetación xerófila) produce temperaturas mayores durante el mediodía por falta de humedad (menor regulación del calor latente) y falta de sombras. En las zonas urbanas la sombra de los edificios y la presencia de los árboles y parques producen un ambiente más favorable que las zonas periféricas áridas. En cambio, durante la noche la periferia se refresca más rápidamente que la zona urbana debido a una mayor tasa de enfriamiento evaporativo. Por lo tanto la ICU en las zonas áridas se manifiesta principalmente como un efecto nocturno. La presencia de una zona rural irrigada combina parte de los beneficios de una zona húmeda periférica en cuanto al refrescamiento por calor latente y aporte de aire más húmedo y fresco (calor sensible) (Brazel et al, 2000; Robaa, 2003; Pearlmutter et al, 2007).

El aumento de la ICU produce: a) exposición física elevada a elevadas temperaturas durante el mediodía; b) mayor vulnerabilidad a estrés térmico durante la noche (no alcanza a refrescar lo suficiente durante la noche); c) mayor desconfort o estrés térmico; d) aumento en la

demanda de energía (total o per cápita) para refrigeración; e) aumento en el consumo de agua potable. Desafortunadamente, el cambio climático global podría exacerbar estos efectos (con especial impacto en las ciudades de zonas áridas) por una mayor frecuencia de temperaturas máximas y mínimas elevadas y menores precipitaciones.

Existen muchos artículos sobre ICU basados principalmente en las ciudades del hemisferio norte, con un clima húmedo y templado (Oke, 1989; Taha, 1997). Arnfield (2003) y Mirzaei y Haghighat (2010) presentan una revisión amplia de los procesos físicos y técnicas de medición, mientras que (Roth, 2007) presenta una revisión de la extensa literatura de los estudios llevados a cabo en las ciudades tropicales y subtropicales. Sin embargo, relativamente pocos estudios se han llevado a cabo en ambientes áridos con la excepción de Phoenix, que lleva ya muchos años (Brazel et al., 2000; Guhathakurta y Gober, 2007; Chow y Brazel 2012, Chow et al, 2012). Otros estudios en entornos áridos se llevaron a cabo en Kuwait (Nasrallah et al, 2006), El Cairo (Robaa, 2003), Ouagadougou (Lindén, 2011), Eilat (Sofer y Potcher, 2006), Ciudad de México (Jáuregui, 1997; Oke et al., 1999), Mexicali (García-Cueto et al, 2003), Desierto de Negev (Pearlmutter et al, 2007) y Muscat (Charabi y Bakhit, 2011). Si bien estos trabajos se basan en las variaciones de temperatura urbano-rural, pocos estudios abordan el problema desde el confort térmico.

El propósito de este trabajo es contribuir a la investigación en ambientes áridos mediante el estudio de la influencia de la vegetación en el confort térmico en la ciudad de Mendoza, Argentina. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo responder a las siguientes preguntas: i) ¿cuál es la variación temporal y espacial de la temperatura y la humedad en un ambiente árido con respecto a diversos tipos de suelos?, ii) ¿cómo pueden las áreas verdes mejorar el confort térmico urbano?, y iii) ¿hay diferencias entre la periferia rural seca e irrigada en el establecimiento de la ICU?

## Parte Experimental

La investigación de campo se basa en el uso de datos meteorológicos superficiales proveniente de diversas fuentes: a) estaciones locales, b) mediciones móviles propias y c) mediciones es-

tacionarias propias dentro de diferentes copas de los árboles y superficies de césped con diferentes regímenes de riego. Adicionalmente, se calculó el confort térmico humano en diferentes momentos del día y para diferentes zonas de la ciudad usando el índice de Temperatura Fisiológica Equivalente (PET por sus siglas en inglés).

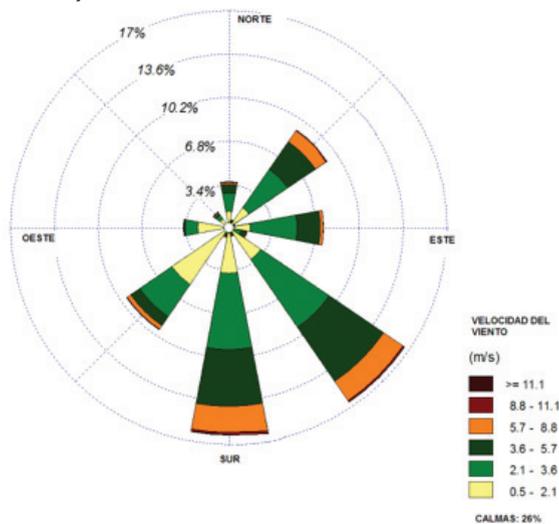
La combinación de mediciones móviles y estacionarias ha sido usada para estudiar los efectos de la ICU en ciudades húmedas y templadas: en Londres, Reino Unido (Chandler, 1962); en Chapell Hill, EE.UU. (Kopec, 1973); en Vancouver, Canadá (Richards, 2005) y en Salamanca, España (Alonso et al., 2003). En menor cantidad se han realizado mediciones en ambientes áridos: en Phoenix, EE.UU. (Brazel et al., 2000 y Chow y Brazel, 2012) y en Eilat, Israel (Sofer y Potcher, 2006).

El índice de confort térmico PET ha sido aplicado en diferentes ciudades y condiciones climáticas: Friburgo y Munich, Alemania, Atenas, Grecia y Albuquerque, EE.UU. (Matzarakis et al., 1999); Ezrum, Turquía (Toy y Yilmaz, 2010); Lisboa, Portugal (Andrade y Alcoforado, 2008); Fez, Marruecos (Johansson, 2006); Sydney, Australia (Spagnolo y de Dear, 2003). También se han llevado a cabo estudios bioclimáticos regionales o nacionales usando el índice PET, por ejemplo, en Argentina (Helbig et al., 2007) y en Hungría (Gulyás y Matzarakis, 2007).

## Área de estudio

La ciudad de Mendoza, (32 S, 68 W, altura: 750 m sobre el nivel del mar) es un centro urbano, con aproximadamente un millón de habitantes, ubicada en una zona árida al este de la cordillera de los Andes en el oeste de Argentina. La superficie construida tiene una extensión en la dirección predominante norte-sur al pie de la cordillera de los Andes. La humedad relativa es baja (<50%), con días mayormente soleados y pocas incidencias de niebla. Las tasas de precipitación son bajas (<280 mm/año) principalmente durante los meses del verano austral (diciembre a febrero). La intensidad media del viento es baja (<2 m/s), con una fuerte influencia de los días de calma (26%) (Figura 1). Los vientos dominantes siguen una variación día-noche que se caracteriza por una típica circulación valle-montaña: el calentamiento solar en el lado del valle provoca un flujo de viento suave en la pendiente durante el día (ENE tra-

vés SE), mientras que por la noche, debido al rápido enfriamiento radiativo en el valle, la circulación se invierte haciendo que las masas de aire se mueven de la montaña al valle del S y SW (Schlink et al, 1999; Puliafito et al, 2003).



**Fig. 1. Rosa de vientos para Mendoza (Aeropuerto). Promedio anual**

Los árboles se clasifican en primera y segunda magnitud, en función de su altura, ancho de copa y robustez. Según el censo de bosques de Mendoza (Martínez-Carretero, 2010), el área metropolitana urbana está cubierta con cerca de 650.000 árboles, las principales especies son: *Morus alba* (422.500 árboles), *Platanus hispanica / acerifolia* (97.500 árboles) y *Fraxinus sp* (pennsylvanica y Excelsior), 130.000 árboles), todas las cuales proporcionan sombra a lo largo de las calles, aceras y fachadas de edificios. En el borde occidental de la ciudad, bordeando el pedemonte, hay un extenso parque, (Parque San Martín), que abarca alrededor de 350 hectáreas. Otros par-

ques y plazas más pequeños están distribuidos por toda la ciudad. Otras descripciones del medio ambiente en la ciudad de Mendoza se pueden encontrar en Correa et al. (2008), Martínez et al. (2006) y Arboit et al. (2008).

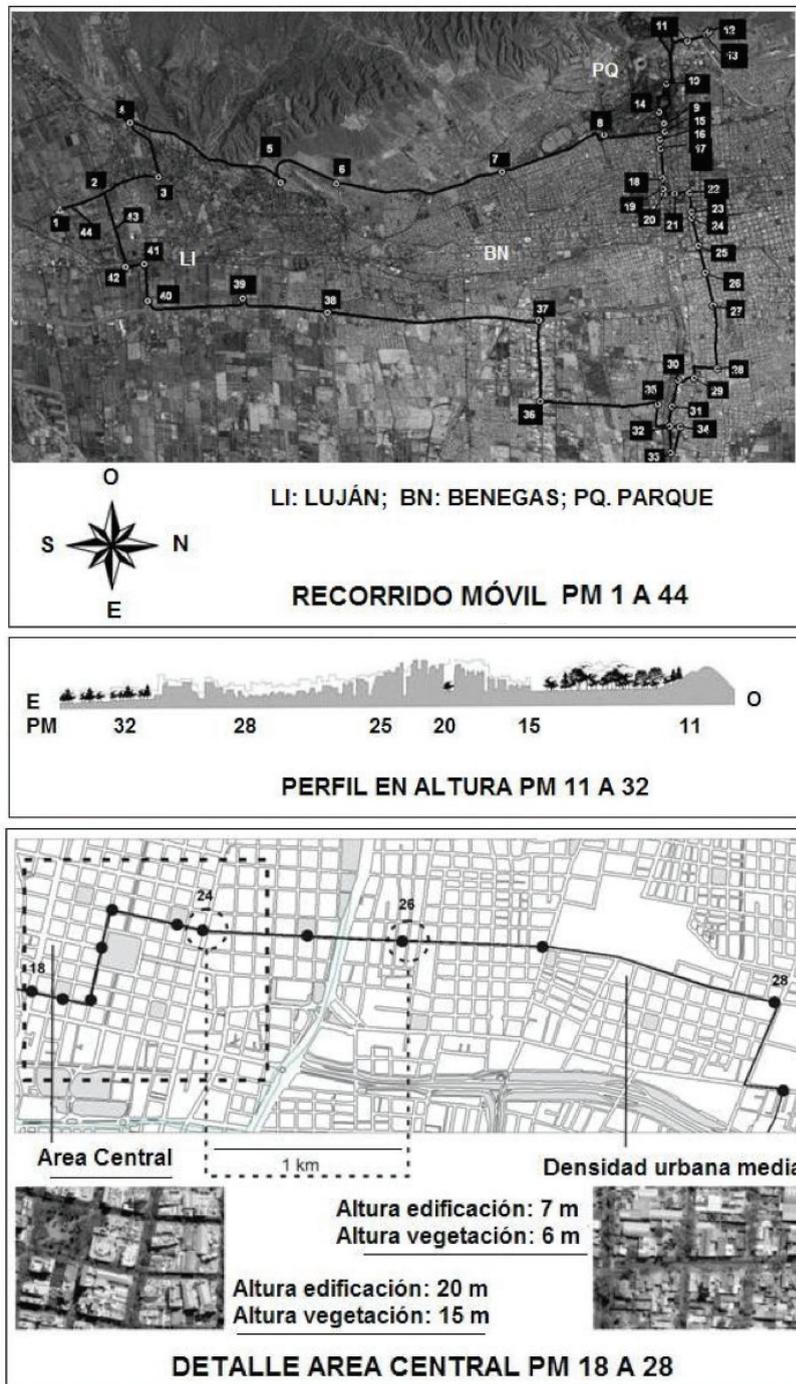
## Mediciones Urbanas

Se midieron temperatura (T) y humedad relativa (RH) del aire usando: i) las estaciones meteorológicas locales, ii) mediciones móviles y iii) otras mediciones fijas en diferentes tipos de vegetación. Con el fin de evaluar el aporte local de la vegetación (es decir, la evapotranspiración) para el contenido de vapor de agua, se calculó la presión de vapor de agua (E, medida en hPa).

1) Datos *meteorológicos locales*: Se usaron cuatro estaciones meteorológicas que representan diferentes condiciones urbanas: el aeropuerto (AP), ubicado en el noreste, Luján-INTA (LI), ubicado en la periferia sur, el Parque San Martín (PQ) en el oeste, y Benegas (BN) en una zona residencial del sur (Figura 2). La estación PQ y AP (OMM # 87418 y # 87420 respectivamente) son estaciones meteorológicas operadas por el Servicio Meteorológico Nacional Argentino (SMN). Estos registran temperatura, humedad relativa, presión, heliofanía y dirección del viento y la intensidad en cada hora. LI es una estación automática (iMetosII) operado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) que mide temperatura, humedad relativa, radiación solar, y la intensidad del viento. BN tiene una estación automática Davis y Thies operado por la Universidad de Mendoza para la investigación registrando temperatura, presión, humedad relativa y datos de viento.

Puntos PM	Uso del suelo	Descripción
1 - 3	Periferia irrigada (sur)	Área residencial de baja densidad
4 - 7	Pedemonte (suroeste)	Escasa vegetación
8 - 10, 14 - 15	Parque San Martín (oeste)	Parque irrigado vegetación densa
11 - 13	Pedemonte (oeste)	Escasa vegetación, nueva urbanización
16 - 23	Centro urbano	Densidad urban alta / árboles grandes
24 - 29	Centro urbano	Densidad urban media / árboles medianos
30 - 33	Parque Lateral Este	Parque sobre acceso principal
34 - 36	Área industrial (este)	Área industrial de baja densidad.
37 - 39	Autopista (sureste)	Zona agrícola, autopista
40 - 44	Periferia irrigada (sur)	Agricultura con riego

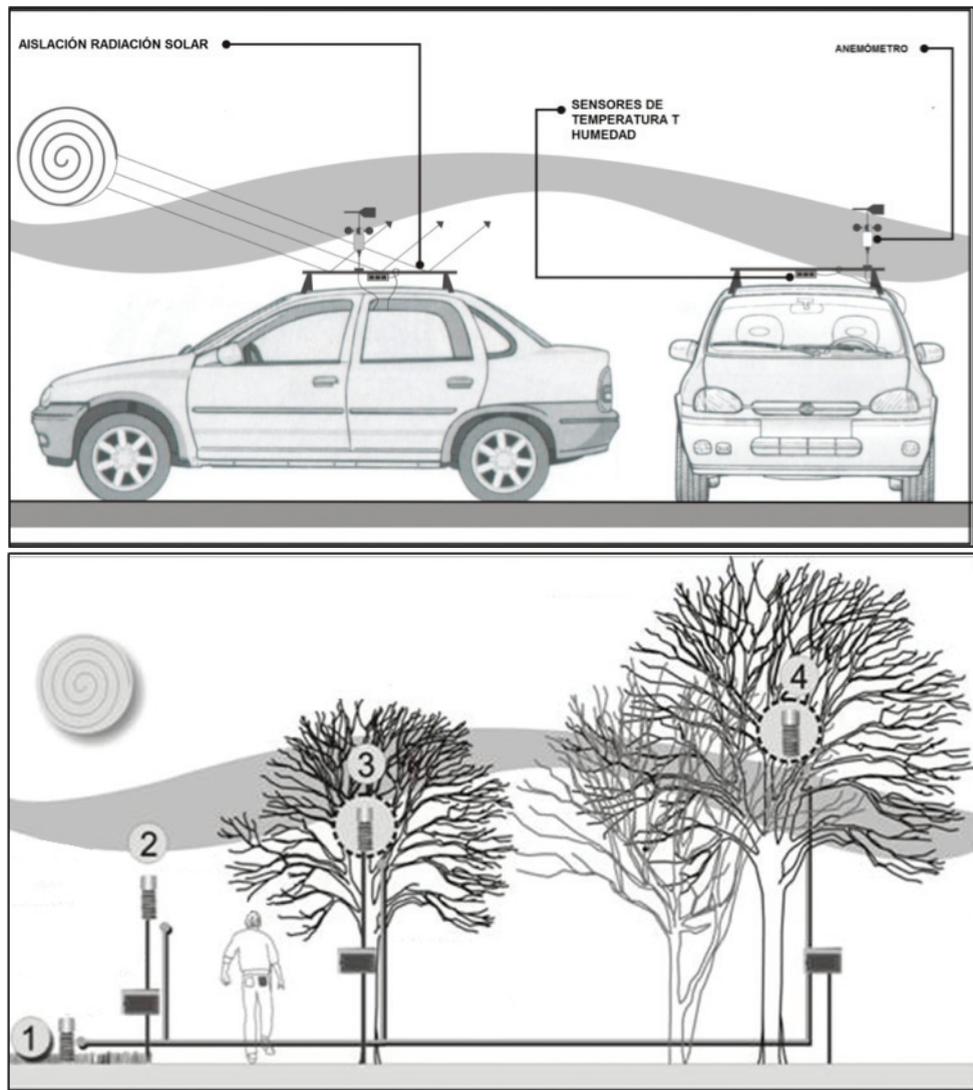
**Tabla 1. Descripción de los puntos móviles de mediciones (PM)**



**Fig. 2. Ubicación de los puntos de mediciones en la ciudad de Mendoza, Argentina**  
**Panel superior: Recorrido móvil. Panel intermedio: perfil de aproximado de la ciudad en un corte O-E entre los puntos 11 y 32. Panel inferior: detalle de construcción y altura de vegetación en la zona céntrica.**

2) *Mediciones móviles:* Se midió T y RH en 44 puntos de medición (PM #) en un circuito continuo a través de la Ciudad de Mendoza (Figura 2) usando una estación micro meteorológica automática Davis en el techo de un vehículo (Figura 3). El vehículo se detuvo durante unos minutos en cada PM. Se realizó

esta medición durante tres períodos diferentes del día con regímenes estables de temperatura: por la mañana temprano, comenzando antes de la salida del sol a las 5:30 hora local; a la tarde, comenzando a las 15:30hs., y en la noche, justo después de la puesta del sol a las 20:30hs. Cada circuito tuvo una extensión



**Fig. 3. Esquema de las mediciones. Panel superior: equipo móvil. Panel inferior: mediciones en vegetación: (1) Césped a 40cm, (2) Ambiente a 1,5m; (3) Prunus a 2m; (4) Tilia a 4m de altura respectivamente.**

de 80 kilómetros y duró aproximadamente 2 horas. Éste consistió en dos tramos en dirección Norte-Sur y dos tramos de Este a Oeste, comenzando y terminando en el mismo punto en la periferia suroeste (PM # 1 = PM # 44).

Todos los datos fueron recogidos durante los veranos australes de 2004 (enero y febrero) y 2005 (diciembre de 2004, enero y febrero de 2005). Se seleccionaron 15 mediciones completas, en condiciones de cielo despejado durante los tres circuitos diarios. Esta poligonal incluyó todos los tipos de uso de la tierra dentro de la ciudad y su periferia: espacios abiertos, zonas agrícolas rurales con riego artificial (en su mayoría viñedos), zonas re-

sidenciales, zonas semiáridas (pedemonte de flora xerofítica natural), parques urbanos y calles con árboles de primera y segunda magnitud. La Tabla 1 describe las características de cada punto de medición de acuerdo con el tipo de uso de la tierra y el tipo de vegetación existente.

3) *Mediciones fijas*: La estación Benegas (BN) se encuentra en una zona verde de 1,6 hectáreas situada en un sector urbano residencial que se caracteriza por una altura media de construcción de 7m. El objetivo de esta medición fue determinar los cambios de clima en la micro escala inducidos por la vegetación de diferentes especies durante el verano austral

2003-2004. Se utilizaron cuatro conjuntos de instrumentos para capturar la temperatura a diferentes alturas y tipos de vegetación (Figura 3). Cada equipo contaba con dos sensores de temperatura ( $T^{\downarrow}$  y  $T^{\uparrow}$ ) y un sensor de humedad (RH). Los instrumentos se distribuyeron de la siguiente manera: 1) Prunus: se midieron  $T^{\downarrow}$  y RH a una altura de 2m en la copa de un *Prunus pisardi* y  $T^{\uparrow}$  debajo del Prunus a 5cm de altura sobre una hierba mixta parcialmente sombreada y superficie de suelo desnudo; 2) Tilia: se midieron  $T^{\downarrow}$  y RH a una altura de copa de 4m en un *Tilia europea* y  $T^{\uparrow}$  encima de la superficie del suelo sombreado a 5cm de altura; 3) Césped: instalado en una superficie de césped (*Cynodon dactylon*, raigrás perenne) no sombreada a 40cm de altura ( $T^{\downarrow}$  y RH) y  $T^{\uparrow}$  en una plataforma de cemento 4m x 4m a 5cm de altura; 4) Referencia: lo constituye la estación meteorológica BN ( $T^{\downarrow}$  y RH) en un nivel estándar de 1,5m de altura en un espacio abierto con sensor adicional  $T^{\uparrow}$  instalado en una superficie de césped no sombreada a 5cm de altura.

## El confort térmico

Para determinar el confort térmico, podrían utilizarse las pequeñas variaciones micro climáticas de la temperatura del aire y la humedad. Sin embargo, otros factores importantes con mayor variabilidad espacial y temporal también afectan el confort humano, como el factor de visión del cielo, el viento y el intercambio de flujos radiativos (Andrade y Alcorado, 2008). Estos factores se incluyen en la estimación del índice PET (Hoppe, 1999). En el presente estudio se usa este índice para comparar el estrés por calor y el confort térmico humano en áreas de parques, zonas rurales abiertas y calles urbanas con diferentes copas de los árboles y diferentes tipos de sombras. Se calculó el índice PET ( $^{\circ}\text{C}$ ), usando la versión 1.2 del software de Rayman (Matzarakis et al., 1999), que calcula la cantidad de calor que un humano podría recibir cuando se expone a la radiación del sol, en comparación con la misma persona bajo condiciones de sombra o dentro de un edificio. Los rangos de los valores de PET para diferentes condiciones térmicas dependen de la producción interna de calor asumido y la resistencia térmica de la ropa (Matzarakis y Mayer, 1997).

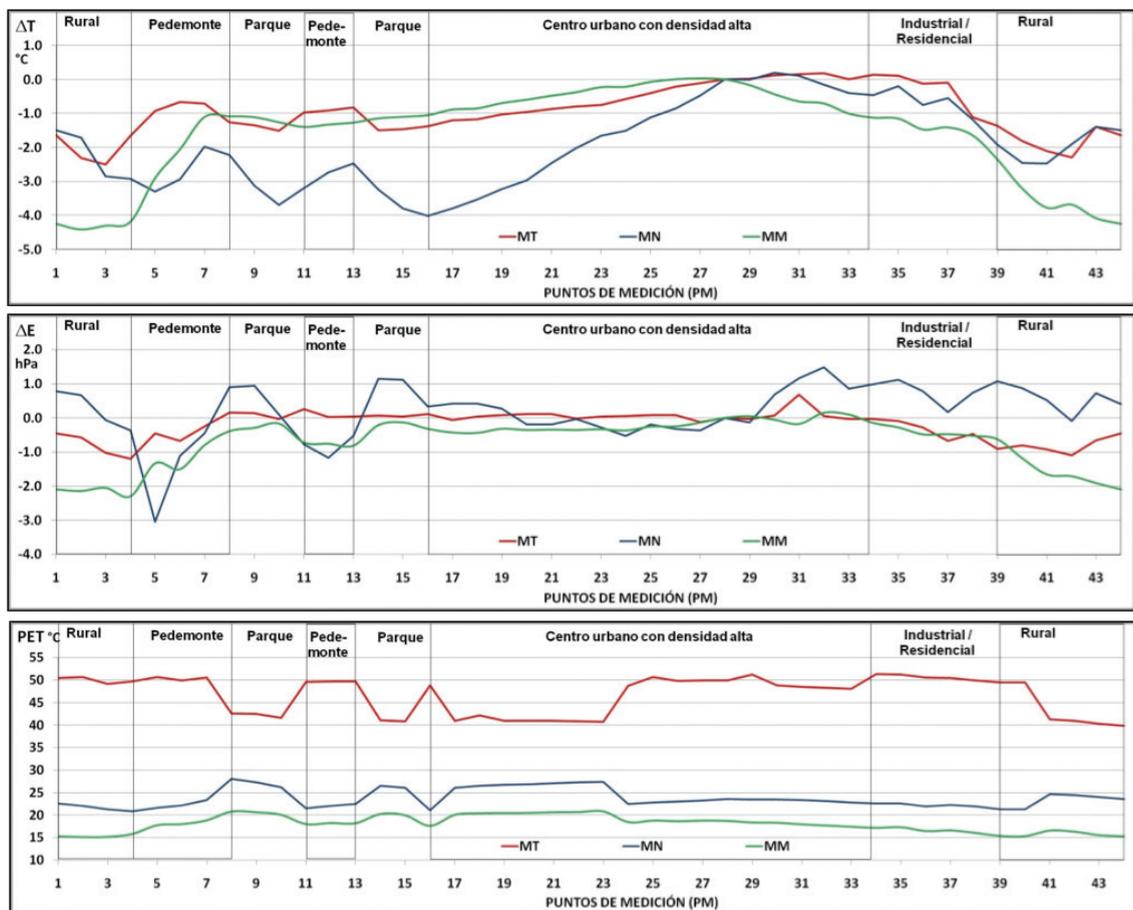
## Resultados

### Mediciones móviles

La Figura 4 muestra las mediciones de la temperatura del aire ( $T$ , 4a), la presión parcial de vapor ( $E$ , 4b) y PET (4c) en función del punto del recorrido, durante tres períodos del día diferentes: por la Tarde (MT), por la Noche (MN) y por la Madrugada (MM). La Tabla 2 resume la información capturada por las mediciones móviles mediante la agrupación de los puntos de medición (PM#) en función de las características locales de uso del suelo. Esta tabla muestra las diferencias promedio entre el entorno urbano construido como el centro y zonas industriales (PM#: 16-29, 34-36) con los entornos no construidos, tal como parques urbanos y zonas verdes (PM#: 8-10, 14-15, 30-33); periferia seca (PM#: 4-7, 11-13) y periferia cultivada con riego (PM#: 1-3, 38-44).

*Mediciones de la Tarde (MT):* La temperatura del aire y los valores de PET estaban en su máximo valor diario (Tabla 2 y Figura 4a). La  $T$  media del aire y la humedad relativa en el ambiente construido fueron, respectivamente,  $1,6^{\circ}\text{C}$  más alta y  $1,4\%$  menor que en la periferia rural irrigada, Aunque la humedad relativa en el área urbana fue ligeramente inferior, las temperaturas más altas del centro produjeron un Exceso de Humedad Urbana (EHU) de  $0,6$  hPa (Figura 4b),  $T$  en el parque fue en promedio de  $1,2^{\circ}\text{C}$  más bajas que en el centro de la ciudad, pero sólo  $0,4^{\circ}\text{C}$  más baja en las inmediaciones del parque (Figura 5),  $T$  en el pedemonte seco fue de  $1,2^{\circ}\text{C}$  más alta que las zonas rurales con riego. Los valores de PET (Figura 4c) mostraron una percepción de temperatura "muy caliente" ( $> 41^{\circ}\text{C}$ ) en todos los ambientes (urbano, colinas secas o áreas cultivadas / verde). El parque y zonas residenciales presentaron valores de PET de al menos  $4^{\circ}\text{C}$  más bajas que los de la periferia. En contraste, las mediciones realizadas bajo la radiación directa del sol presentaron valores de PET más altas que sus alrededores (PM#: 16, 25-29, 34-40).

*Medición de la Noche (MN):* Para este recorrido no había ningún tipo de radiación solar directa sobre las superficies de la zona urbana, aunque la temperatura del aire todavía era muy caliente. Se observó una marcada diferencia en la temperatura y humedad ambiental



**Fig. 4. Mediciones móviles. Panel superior (a): diferencias de temperaturas entre las mediciones en cada punto y el punto MP28. Panel intermedio (b): diferencias de presión de vapor de agua entre cada punto y el punto MP28. Panel inferior (c): valores absolutos de la temperatura fisiológica equivalente PET.**

entre las áreas verdes y rurales húmedas y la periferia seca: los parques y las zonas rurales de riego mostraron  $E > 15 \text{ hPa}$ , mientras que en las zonas secas  $E < 14 \text{ hPa}$  (Figura 4b). Las temperaturas del aire en las zonas cercanas al pedemonte y los barrios ubicados cerca de los parques eran más frescos que el entorno urbano construido. El aire en el centro de la ciudad era más seco que los parques y las zonas rurales irrigadas, pero más húmedo que el pedemonte (periferia seca) con un exceso de humedad urbana (EHU) (Kuttler et al, 2007; Holmer y Eliasson, 1999) promedio de  $1,4 \text{ hPa}$  (Tabla 2). Las áreas de secano fueron  $4,3\%$  ( $1,2 \text{ hPa}$ ) más secas que la periferia rural irrigada, El índice PET alcanzaba los valores de confort ( $18\text{-}23^\circ\text{C}$ ) en el pedemonte (suroeste) y en el llano hacia el noreste de la ciudad.

*Medición de la madrugada (MM):* La temperatura a la salida del sol tenía un valor mínimo promedio de  $17,0^\circ\text{C}$  en la periferia y de

$20,3^\circ\text{C}$  en el centro, Debido a las temperaturas de aire más frescas en este momento del día, la RH fue mayor, oscilando entre  $60\%$  y  $70\%$ . Las diferencias en la Tabla 2 muestran que el centro de la ciudad fue un  $10,5\%$  ( $0,9 \text{ hPa}$ ) más seco y  $3,6^\circ\text{C}$  más caliente que la superficies rurales irrigadas, mostrando la ICU más alta del día (Tabla 2). La circulación valle-montaña, durante esas horas de la madrugada, era del SW al NE, haciendo fluir lentamente ( $2 \text{ m/s}$ ) de aire fresco y seco hacia la ciudad. El índice PET (Figura 4c) durante este recorrido mostró valores frescos y bajos en la periferia y de confort aceptables en las áreas del centro. Las zonas verdes mostraron valores ligeramente más altos de PET ya que fueron tomadas por debajo de la copa de los árboles. Se observó la misma situación en la primera parte de la zona del centro (PM#: 16-23) con edificios altos y árboles de primera magnitud a lo largo de las calles. Por el contrario, la segunda parte de la zona del

centro (PM#: 24-29) al tener edificación más baja y árboles más espaciados y de segunda magnitud tuvo valores de PET menores. A pesar de estas diferencias, antes de la salida del sol, toda el área de estudio presentó valores aceptables de confort térmico. En este punto del día el calor sensible del día anterior ya fue eliminado de los diferentes tipos de superficies, dejando sólo las condiciones regionales típicas de verano.

### Las estaciones meteorológicas y las mediciones de superficie

La Tabla 3 presenta los valores medios de temperatura y presión de vapor medidos en las estaciones de AP, PQ, LI durante los meses de ve-

rano de 2006 a través de 2010 y BN durante los meses de verano de 2003 y 2004. Los valores de AP se consideran representativos de la periferia seca norte no cultivada (llano) mientras que los datos de LI representan las condiciones meteorológicas de las zonas periféricas rurales irrigadas; los datos PQ representan las zonas verdes urbanas. Las diferencias de temperatura media del aire de verano mostraron que AP fue de 3,1°C más caliente que LI y 1,4°C más caliente que PQ. Los valores diferenciales de humedad relativa mostraron que la periferia rural (AP y LI) fue en promedio un 6% más seco que las áreas del parque. Lo que produce un exceso de humedad 3,4hPa con respecto a la periferia irrigada al Sur (LI).

RECORRIDO	TEMP (°C)			RH (%)			E (hPa)			PET (°C)		
	MM	MT	MN	MM	MT	MN	MM	MT	MN	MM	MT	MN
<b>PROMEDIO</b>	19,0	27,7	27,7	62,5	36,2	38,6	13,7	13,5	14,3	18,0	46,7	23,7
Urbano (U)	20,0	28,2	28,2	60,4	35,6	37,1	14,1	13,7	14,2	18,9	47,9	24,3
Parques (P)	19,6	27,8	27,5	62,8	37,0	41,1	14,3	13,8	15,0	19,3	43,3	25,5
Periferia irrigada (I)	16,5	26,7	27,7	66,6	37,0	39,1	12,5	13,0	14,5	15,6	45,3	23,2
Periferia seca (S)	19,1	27,8	26,9	60,9	36,2	37,4	13,5	13,6	13,3	18,2	46,8	22,6
<b>DIFERENCIAS</b>												
U-P	0,5	0,4	0,7	-2,3	-1,4	-4,0	-0,1	-0,2	-0,9	-0,4	4,6	-1,2
U-I	3,6	1,6	0,5	-6,2	-1,4	-2,0	1,7	0,7	-0,3	3,3	2,6	1,1
U-S	0,9	0,4	1,3	-0,5	-0,6	-0,3	0,6	0,1	0,9	0,7	1,1	1,7
I-S	-2,7	-1,2	0,8	5,7	0,8	1,7	-1,0	-0,6	1,2	-2,6	-1,5	0,6

**Tabla 2. Promedio de las mediciones móviles**

Recorridos (Hora local): MM: Madrugada (5:30-7:30); MT: Tarde (15:30-17:30 pm); MN: Noche (20:30-22:30). Variables: TEMP: temperatura, RH: humedad relativa, E: presión parcial de vapor de agua y PET: temperatura fisiológica equivalente.

VAR.	TEMP (°C)			RH (%)			E (hPa)		
	06:00	15:00	21:00	06:00	15:00	21:00	06:00	15:00	21:00
<b>SITIO/HORA</b>									
AP	19,8	29,7	26,8	62,8	34,1	45,0	14,5	13,9	15,6
BN	16,8	29,3	22,5	66,9	37,2	51,8	13,1	14,8	13,6
PQ	19,1	27,8	24,8	64,2	42,0	51,6	14,0	15,7	15,9
LI	16,9	26,2	23,9	63,4	35,3	42,0	12,2	12,0	12,4
<b>PROM.</b>	18,2	28,3	24,5	64,3	37,2	47,6	13,4	14,1	14,4
<b>DIF.</b>									
AP-BN	3,0	0,4	4,3	-4,1	-3,1	-6,8	1,4	-0,9	2,0
AP-PQ	0,7	1,9	2,0	-1,4	-8,0	-6,7	0,5	-1,8	-0,3
AP-LI	2,9	3,5	2,9	-0,7	-1,3	3,0	2,2	1,9	3,2

**Tabla 3. Promedio estival de las estaciones meteorológicas fijas**

Sitios: PQ: Parque San Martín (zona verde); AP: Aeropuerto (zona seca); LI: Lujan (zona cultivada); BN: Benegas (residencial, césped irrigado). Periodo: Enero, Febrero y Diciembre de los siguientes años: PQ (2001-2010); AP (2001-2010); LI (2006-2010) y BN (1997-2004).

ID	Altura (m)	T (°C)			E (hPa)		
		Prom.	Desv. Est.	Rango	Prom.	Desv. Est.	Rango
BN	1,5	23,5	5,3	29,0	13,5	3,5	20,4
PRUNUS	2	24,0	5,3	29,6	15,1	3,8	21,3
TILIA	4	23,7	4,8	25,8	15,1	3,8	20,6
CESPED	0,4	21,8	5,7	32,6	17	4,1	24,2
SUPERF.							
SOLEADO	0,05	23,4	8,1	40,6			
SOMBRA	0,05	24,6	6,0	33,6			
CEMENTO	0,05	26,0	6,5	33,8			

**Tabla 4. Promedio de mediciones sobre distintos tipos de vegetación**

**Período: Diciembre 2003, Enero - Febrero 2004 en Benegas (BN). Tipo de vegetación: PRUNUS a 2m en el interior de la copa de un *Prunus Pissardi*; TILIA: a 4m en el interior de la copa de un *Tilia Europea*; CÉSPED: sobre césped soleado a 40cm altura. Mediciones superficiales a 5cm de altura, solo temperatura: SOLEADO sobre césped sin sombras; SOMBRA: Suelo desnudo parcialmente sombreado; CEMENTO: Sobre una plataforma de cemento.**

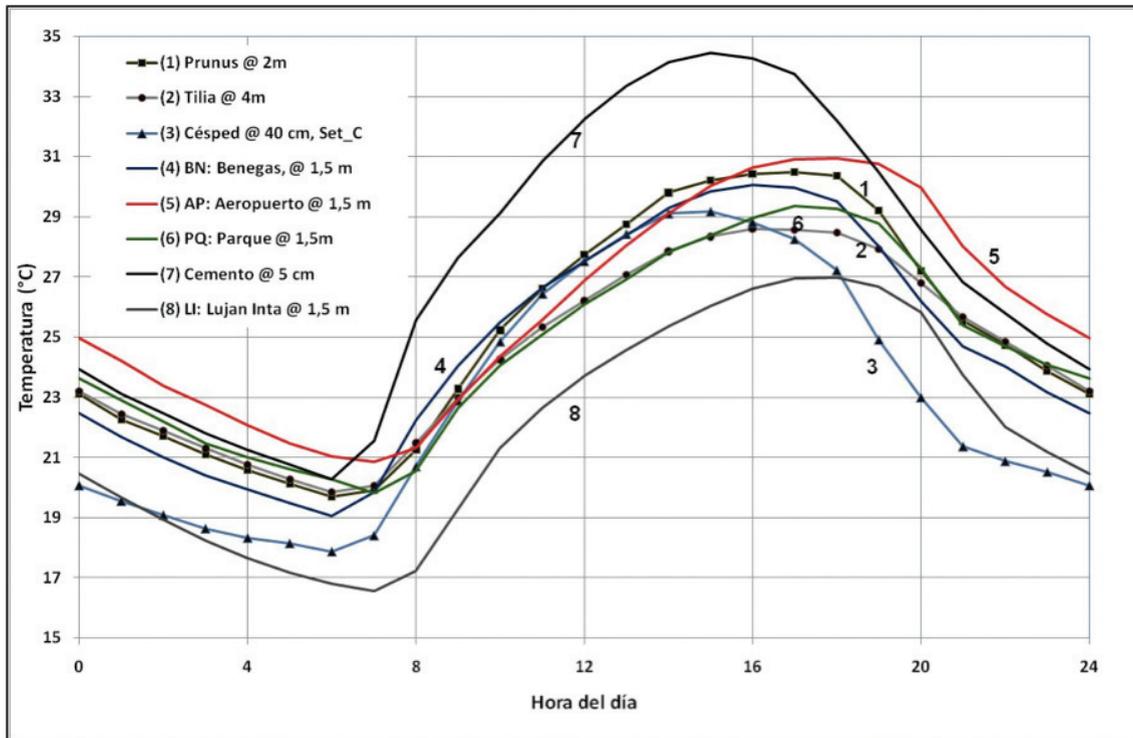
Al comparar la variación horaria de la temperatura del aire y las diferencias de humedad relativa entre dos estaciones, el aeropuerto (AP), ubicado en la periferia seca, fue de al menos 2°C más caliente que el parque (PQ) durante las horas de la tarde (15:00-17:00 hora local). Esta estación también fue 2% más seca que la periferia rural irrigada (LI) durante las primeras horas de la mañana (7-9 am), mientras que lo contrario ocurrió durante la noche (7 a 9 pm) (> 3% más húmeda).

La Tabla 4 resume la temperatura promedio en verano medida en diferentes tipos de superficies y bajo la sombra de las copas de los árboles. La amplitud térmica diaria obtenida dentro de la copa de los árboles a 4m fue la más pequeña de todas las mediciones (máx,  $T_{TILIA4m}$ : 35,3°C y mínima,  $T_{TILIA4m}$ : 9,5°C), con una amplitud térmica más de 3,2°C menor que la temperatura del aire circundante ambiente ( $T_{BN}$ ).

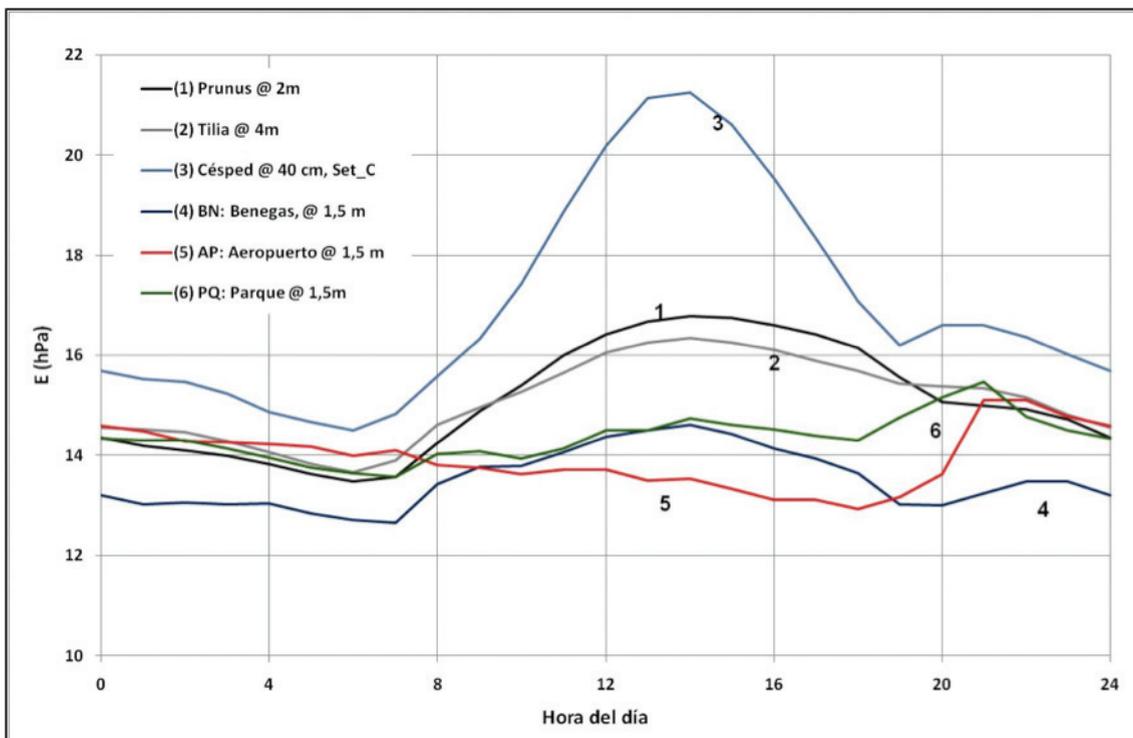
Las mediciones en el interior de la copa de los árboles a 2m de altura ( $T_{PRUNUS2m}$ ) produjeron resultados similares a los  $T_{TILIA4m}$  pero con una amplitud térmica levemente mayor (Figura 5). Los valores de E para ambas copas de los árboles ( $E_{TILIA4m}$  y  $E_{PRUNUS2m}$ ) fueron 1,6hPa más que BN ( $E_{BN}$ ) (Figura 6). Las mediciones de la temperatura superficial del suelo a una altura de 5 cm parcialmente bajo sombra ( $T_{SOMBRA5cm}$ ) fueron en promedio de 24,6°C. Estas

mediciones fueron 1,2°C mayores a la temperatura del césped en condiciones de sol ( $T_{SOLEADO5cm}$ ) y 1,4°C menores al de la superficie de cemento ( $T_{CEMENTO5cm}$ ). Este sensor midió los valores más altos de temperatura (promedio 26°C). Es interesante observar la gran amplitud de temperatura y humedad medida sobre las superficies de césped expuestas a la radiación solar directa sin sombra ( $T_{CESPED40cm}$ ) (Figura 5). A pesar de que su valor medio fue cercano de los valores ambientales BN, mostró valores máximos muy altos al mediodía, pero valores muy bajos durante la noche, comparados con los de suelo desnudo y superficies de cemento. Givoni y Saaroni (2003) también han informado de variaciones de temperatura similar en césped durante el verano en Tel Aviv, Israel.

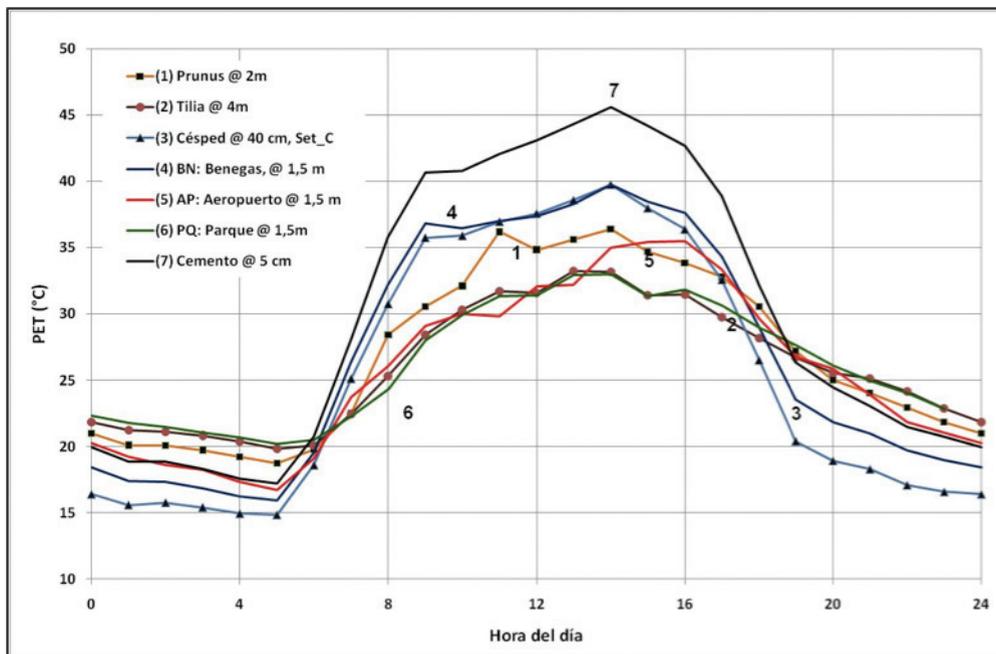
La Figura 7 representa los promedios horarios del índice PET para todo el período de verano en diferentes estaciones y condiciones de superficies. Podemos observar la similitud de parque y la copa de los árboles (curvas 7 y 2) y BN con el césped en 40cm (curvas 5 y 3) durante las horas del día, señalando la influencia del tipo de superficie tipo de cada área: la influencia de la sombra de árboles en los parques y césped con riego en BN.



**Fig. 5. Temperatura promedio en distintos tipos de vegetación y estaciones meteorológicas. (1) Prunus; (2) Tilia; (3) Césped; (4) Benegas; (5) Aeropuerto; (6) Parque; (7) Cemento; (8) Luján.**



**Fig. 6. Presión de vapor de agua E promedio para distintos tipos de vegetación y estaciones meteorológicas: (1) Prunus; (2) Tilia; (3) Césped; (4) Benegas; (5) Aeropuerto; (6) Parque.**



**Fig. 7. Temperatura fisiológica equivalente promedio PET en distintos tipos de vegetación y estaciones meteorológicas: (1) Prunus; (2) Tilia; (3) Césped; (4) Benegas; (5) Aeropuerto; (6) Parque; (7) Cemento.**

## Discusión

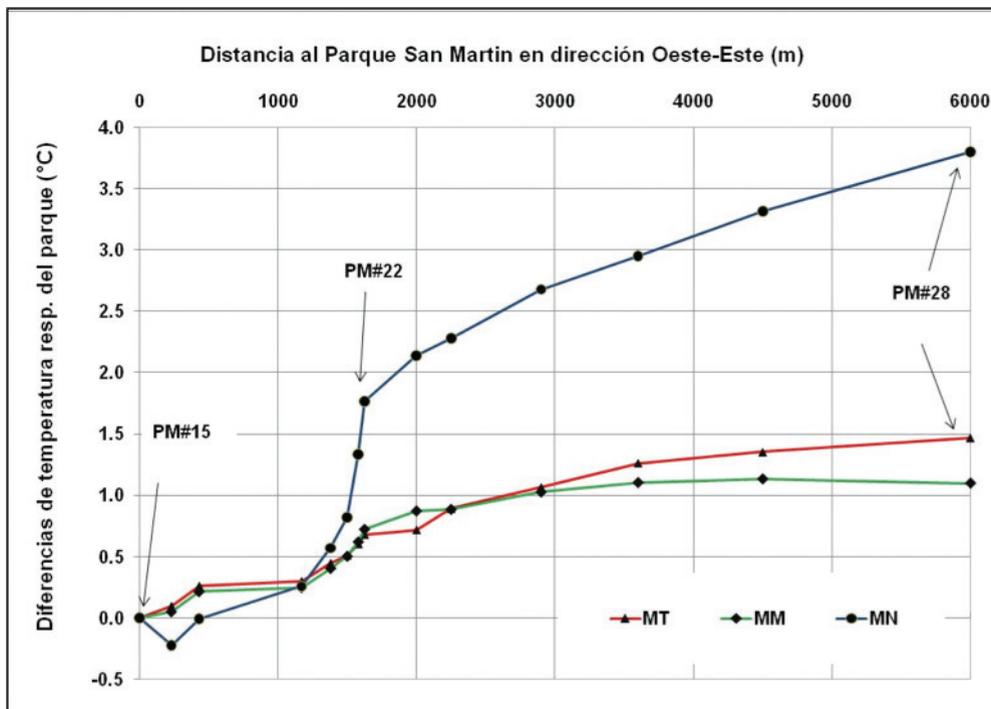
Esta investigación micro meteorológica urbana incluyó una combinación de mediciones móviles y datos meteorológicos estándar de estaciones meteorológicas locales, y mediciones dentro de diferentes copas de los árboles en la ciudad de Mendoza. El análisis de estas mediciones mostró que las áreas verdes contribuyen a regular la temperatura local aportando humedad a los ambientes áridos urbanos. Las zonas menos densas, como la periferia de la ciudad con jardines bien regados o áreas cultivadas tienen un mejor confort climático que el centro urbano. Sin embargo, es posible encontrar áreas dentro del centro de la ciudad con buenas condiciones climáticas, como por ejemplo cerca del Parque San Martín (PQ) y el Parque Lateral del Acceso Este.

## Extensión e intensidad de los efectos de las áreas verdes

Usando las mediciones móviles fue posible observar la influencia de estos parques sobre sus alrededores, donde se pueden determinar tres sectores distintos. Tomando el límite Este del parque PQ como un punto de referencia,

se observó un aumento en la temperatura a medida que la distancia al parque aumentaba y se ingresa al centro de la ciudad, observando el típico efecto de ICU (Figura 8). Los cambios de temperatura (entre el parque y cada punto de medición móvil) fueron pequeños en el primer sector, hasta una distancia de 450m hacia el Este del parque, que se puede interpretar como una influencia directa del aire fresco del parque fluyendo hacia sus alrededores. Este efecto se extiende en todo el límite Este del parque y también a más de 500 a 700m hacia el Sur.

Un segundo sector, entre 450-1200m hacia el Este del parque, que corresponde a una zona residencial, se detectaron diferencias de temperatura de aire de aproximadamente 0,5°C (> PQ), lo que indica un efecto mixto de influencias del parque y la sombra densa de los árboles de primera magnitud existentes en las orillas de las calles (PM#: 18-22 en la Figura 3 corresponde a una zona del centro urbano, con árboles de copa alta y frondosa). Continuando más hacia el este en el centro de la ciudad y en comparación con PQ, la diferencia de temperatura del aire en el tercer sector se incrementó hasta 1,3°C durante el día y > 3,0°C por la noche. Más allá de una distancia



**Fig. 8. Efecto de enfriamiento del parque. Diferencias de temperaturas entre las mediciones y parque (PM15). MT: Tarde; MM: Madrugada, MN: Noche. (Ver también Figura 1, panel superior)**

de 2000m del parque la temperatura local ya no tiene influencia del parque, sino que depende del tipo construcción y tipo de árboles a lo largo de sus calles. Del mismo modo las mediciones móviles mostraron un refrescamiento de 200-300m en dirección norte-sur del parque lateral (al Acceso Este, que corre con dirección E-O) de hasta 1,2°C en la noche, dependiendo de la dirección del viento dominante. Esto coincide con estudios de Jáuregui, (1997); Spronken-Smith y Oke, (1998).

### Confort térmico y aporte de los árboles

En verano, las temperaturas promedio del mediodía pueden alcanzar valores elevados produciendo estrés térmicos entre los habitantes. Los árboles de primera magnitud en los cañones urbanos proporcionan abundante sombra a lo largo de calles, caminos peatonales y superficies al pie del edificio, Evitan la radiación solar que alcanzaría la superficie, lo que reduce la temperatura del aire ambiente durante el día. Sin embargo, los árboles de primera y segunda magnitud reducen la velocidad del viento y retienen una parte del aire caliente por debajo de sus copas, por lo que el enfriamiento radiativo nocturno es más lento. Especialmente útil fue el cálculo del índice de

PET para determinar el confort térmico. Durante el mediodía el índice PET es menor en plazas, parques y veredas sombreadas que en las zonas urbanas bajo el sol o en la periferia. Esto se debe principalmente al efecto de la sombra y el aporte de evapotranspiración de los árboles. En las horas de la noche el índice PET nocturno fue mayor en las zonas de parque y centro en zonas con densidad de árboles, que en la periferia (seca o irrigada). Esto se debe a que las copas de los árboles reducen el enfriamiento radiativo nocturno por restricción de la circulación de los vientos y además mantienen parcialmente el aire caliente debajo de las copas de los árboles. Sin embargo, el balance de confort térmico de las áreas sombreadas y con árboles densos es favorable, ya que la reducción del estrés térmico durante las horas del mediodía, es mayor que la reducción de índice PET durante las horas de la noche.

El índice medio diario PET calculado sugiere además que bajo condiciones de sol durante el día de verano, los árboles grandes proporcionan una buena opción ecológica si las calles son más anchas que 20m (véase PM#: 18-22). En cambio los árboles de segunda magnitud ofrecen una sombra aceptable y re-

ducen parcialmente la radiación solar en superficies y fachadas de edificios, y la interceptación de viento de sus copas es más pequeño que los árboles más altos (véase PM#: 24-29) durante las horas nocturnas.

### **Evapotranspiración y superficies verdes**

Las mediciones en distintas copas de árboles y superficies vegetadas en Benegas muestran el aporte de vapor de agua de los árboles al medio ambiente regulando la temperatura debido al calor latente absorbido por evapotranspiración. Cuando las superficies de césped en áreas verdes están sombreadas por medio de los árboles, se aumenta la diferencia de temperatura con las zonas construidas (tanto durante el día y por la noche), debido a la sombra y la evapotranspiración, (ver resultados similares en Hamada y Ohta, 2010; Potcher et al., 2008; Sashua-Bar et al., 2009). Durante las horas del mediodía la temperatura sobre el césped (sin sombra) puede ser mayor a la del entorno construido, lo que se traduce en un índice PET elevado. Estos valores son consecuencia de la falta de sombra, bajo albedo y un aumento de la absorción de la radiación de onda corta. Por la noche, sin embargo, ya que el césped no bloquea el flujo del viento y no tiene sombra de los árboles, el enfriamiento radiativo es muy eficiente, lo que lleva a la mínima temperatura del aire nocturno. Sin embargo el promedio diario (día y noche) de una superficie con césped (y riego) producen una temperatura menor a la ambiental en zonas construidas.

### **Acción del viento**

Por último, a partir de los datos de las estaciones meteorológicas locales, esta investigación muestra la importancia del papel de los vientos nocturnos en el proceso de refrigeración urbana. Debido a los vientos nocturnos seco y fresco de las montañas áridas (del S-SW), y la inercia térmica más pequeña del ambiente seco en Mendoza, el efecto de enfriamiento nocturno comienza más temprano en el sur de la ciudad. Durante las primeras horas de la noche el viento proveniente del pedemonte sopla sobre la ciudad, empujando aire cálido y húmedo hacia el NE, arribando al aeropuerto, ubicado en un área seca y menos cultivada. Este fenómeno hace que el enfriamiento nocturno en AP se retrase 2-3 horas en comparación con el borde SW de la ciudad. Antes del amanecer toda la ciudad y

periferia alcanza valores nocturnos aceptables. Esto pone de manifiesto la influencia de los patrones de circulación de los vientos permanentes en la evolución espacio-temporal del efecto ICU.

Estas consideraciones tienen implicaciones directas para el confort térmico en el centro urbano. Por ejemplo, los desarrolladores urbanos de Mendoza están presionando al municipio para utilizar el pedemonte árido para nuevos usos residenciales y comerciales, La expansión de la ciudad hacia el oeste incrementará el efecto de ICU. Dicha construcción reduciría el flujo de viento proveniente del pedemonte, disminuyendo el efecto beneficioso del pedemonte y el parque sobre las áreas ya construidas.

También se puede señalar que los valores PET en el aeropuerto mostraron un régimen de confort térmico mejor que en el interior del parque durante las horas de la madrugada debido a que el aeropuerto se encuentra en un espacio abierto y por lo tanto tiene mayores intensidades de viento que el parque. Sin embargo, a una velocidad igual del viento durante el día, los valores de PET en el parque son al menos de 10°C más bajos que en el aeropuerto.

### **Conclusiones**

En resumen, la interacción de los parques y calles arboladas en el ambiente árido urbano, como ocurre en la ciudad de Mendoza, muestra varias características: i) La diferencia de temperatura urbano-rural (ICU) es mayor de noche antes del amanecer que durante el día; ii) en las zonas áridas la temperatura en la periferia (seca y sin sombras) puede ser mayor que en las zonas construidas (con árboles o sombra de edificios); iii) la diferencia de temperatura urbano-rural es mayor respecto de la periferia irrigada (zona rural cultivada) que la periferia seca (pedemonte con escasa vegetación natural).

El efecto de enfriamiento de los árboles durante el día en verano, con elevada radiación solar, se debe a dos factores: a) a través de la sombra: los árboles reducen la radiación de onda larga en los edificios y el suelo, y b) a través de la evapotranspiración de la copa del árbol. El enfriamiento nocturno en la ciudad de Mendoza es también una combinación de dos procesos diferentes que actúa en dos escalas diferentes: a) regional, debido a la circulación valle-montaña,

y b) local, debido al rápido enfriamiento radiativo de las zonas descubiertas, especialmente debido a la inercia térmica más baja de las zonas agrícolas y pedemonte seco.

A través de la combinación del uso de la tierra y la circulación de los vientos, las condiciones de confort en la periferia de la ciudad y cerca

de los parques o áreas verdes (irrigadas) son mejores que en las áreas donde la densidad de construcción es mayor.

En las zonas áridas el consumo de agua para riego de parques, plazas y zonas cultivadas es elevado, pudiendo comprometer la sostenibilidad de la ciudad.

## Referencias

- ACKERMAN, B., (1987) Climatology of Chicago area urban-rural differences in humidity. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26, 427–430.
- AKBARI, H.; POMERANTZ, M.; TAHA, H., (2001) Cool surfaces and shade trees reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70 (3), 295-310.
- ALONSO, M.; LABAJO, J.; FIDALGO, M., (2003) Characteristic of the urban heat island in the city of Salamanca, Spain, *Atmósfera*, 16, 137-148.
- ANDRADE, H.; ALCOFORADO, M., (2008) Microclimatic variation of thermal comfort in a district of Lisbon (Telheiras) at night. *Theor, Appl, Climatol.*, 92, 225–237.
- ARBOIT, M.; DIBLAS, A.; FERNÁNDEZ LLANO, J.; DE ROSA, C., (2008) Assessing the solar potential of low-density urban environments in Andean cities with desert climates: The case of the city of Mendoza, in Argentina. *Renewable Energy*, 33, 1733–1748.
- ARNFIELD, A., (2003) Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23, 1–26.
- BRAZEL, A.; SELOVER, N.; VOSE, R.; HEISLER, G., (2000) The tale of two climates – Baltimore and Phoenix urban LTER sites. *Climate Research*, 15, 123–135.
- CHANDLER, T., (1962) Temperature and humidity traverse across London, *Weather*, 17, 235-241.
- CHARABI, Y.; BAKHIT, A., (2011) Assessment of the canopy urban heat island of a coastal arid tropical city: The case of Muscat, Oman. *Atmospheric Research*, 101 (1-2), 215–227.
- CHOW, W.; BRZAZEL, A., (2012) Assessing xeriscaping as a sustainable heat island mitigation approach for a desert city. *Building and Environment*, 47, 170-181.
- CHOW, W.; WINSTON, T.; BRENNAN, D.; BRAZEL, A., (2012) Urban Heat Island Research in Phoenix, Arizona: Theoretical Contributions and Policy Applications. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 517–530.
- CORREA, E.; MARTINEZ, C.; CANTÓN, A.; DE ROSA, C., (2008) Seasonal impact of building densities and urban tree configurations on the thermal conditions in urban canyons, The case of Mendoza metropolitan area in Argentina. PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture.
- CRUTZEN, P., (2004) New Directions: The growing urban heat and pollution 'island' effect; impact on chemistry and climate, *Atmospheric Environment*, 38 (21), 3539-3540,
- ELIASSON, I.; HOLMER, B., (1990) Urban Heat Island Circulation in Göteborg, Sweden. *Theor. Appl. Climatol.* 42, 187- 196.
- GARCIA-CUETO, R.; JAUREGUI, E.; TEJEDA, A., (2003) Urban/rural energy balance observations in a desert city in northern Mexico. *Proceedings of Fifth International Conference on Urban Climate*, Lodz, Poland, 177–180.
- GIVONI, B.; SAARONI, H., (2003) Predicted sun exposed irrigated lawn temperatures. In *5th International Conference on Urban Climate*, Lodz, Poland, 5,2.
- GRIMMOND, C.; SOUCH, C.; HUBBLEL, M., (1996) Influence of tree cover on summertime surface energy balance fluxes, San Gabriel Valley, Los Angeles. *Climate Research*, 6, 45-57.
- GRIMMOND, C.; OKE T., (1999) Rates of evaporation in urban areas. *Impacts of Urban growth on surface and ground waters*. International Association of Hydrological Sciences Publication, 259, 235–243.

GUHATHAKURTA, S.; GOBER, P., (2007) The impact of the Phoenix urban heat island on residential water use. *Journal American Planning Association*, 73 (3), 317–329.

GULYÁS, A.; UNGERAND J., MATZARAKIS, A., (2006) Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: modelling and measurements. *Building and Environment*, 41, 1713–1722.

HAMADA, S.; OHTA, T., (2010) Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9, 15–24.

HELBIG, A.; MATZARAKIS, A.; PIACENTINI, E., (2007) North-South variation of bioclimatic parameters in Argentina during summer months, in: A. Matzarakis, C. de Freitas, D. Scott (Eds.). *Developments in Tourism Climatology*, 66-73.

HOLMER, B.; ELIASSON, I., (1999) Urban-rural vapour pressure differences and their role in the development of urban heat islands. *International Journal of Climatology*, 19, 989–1009.

HÖPPE, P., (1999) The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int. J. Biometeorol.*, 43, 71–75.

JAUREGUI, E., (1997) Heat island development in Mexico City. *Atmospheric Environment*, 31 (22), 3821-3831.

JOHANSSON, E., (2006) Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and Environment*, 41, 1326–1338.

KOPEC, R., (1973) Daily spatial and secular variations of atmospheric humidity in a small city. *Journal of Applied Meteorology*, 12, 639–648.

KUTTLER, W.; WEBER, S.; SCHONNEFELD, J.; HESSELSCHWERDT, A., (2007) Urban/rural atmospheric water vapour pressure differences and urban moisture excess in Krefeld, Germany. *Int. J. Climatol.*, 27, 2005–2015.

LANDSBERG, H., (1981) *The Urban Climate*, International Geophysical Series 28. Academic Press: New York and London.

LINDÉN, J., (2011) Nocturnal Cool Island in the Sahelian city of Ouagadougou, Burkina Faso. *International Journal of Climatology*, 31 (4), 605–620.

MARTÍNEZ, C.; BASTÍAS, L.; ENDRIZZI, M.; CÓRICA, L.; PATTINI, A.; CANTÓN, A., (2006) Influencia de las morfologías arbóreas en las condiciones de iluminación en recintos urbanos del área. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 10 (1), 1-7.

MARTÍNEZ-CARRETERO, E., (2010) The synanthropic flora in the Mendoza (Argentina) urban area. *Urban Ecosystem*, 13, 237-242.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H., (1997) Heat stress in Greece. *Int. J. Biometeorol.* 41, 34–39.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H.; IZIOMON, M., (1999) Applications of a universal thermal index: Physiological equivalent temperature. *Int. J. Biometeorol.*, 43 (2), 76 – 84.

MIRZAEI, P.; HAGHIGHAT, F., (2010) Approaches to study urban heat island, Abilities and limitations. *Building and Environment*, 45, 2192-2201.

NASRALLAH, H.; BRAZEL, A.; BALLING, R., (2006) Analysis of the Kuwait city urban heat island. *International Journal of Climatology*, 10 (4), 401–405.

OKE, T., (1976) The distinction between canopy and boundary-layers heat islands. *Atmosphere*, 14, 268–277.

OKE, T., (1981) Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, 1 (3), 237–254.

OKE, T., (1982) The energetic basis of the Urban Heat Island, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1–24.

OKE, T., (1989) The micrometeorology of the urban forest. *Journal of Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 324, 335–349.

OKE, T.; SPRONKEN-SMITH, R.; JAUREGUI, E.; GRIMMOND, C., (1999) The energy balance of central Mexico City during the dry season. *Atmospheric Environment*, 33, 3919–3930.

PEARLMUTTER, D.; BERLINER, P.; SHAVIV, E., (2007) Urban climatology in arid regions: current research in the Negev desert, *International Journal of Climatology* 27, 1875–1885.

POTCHTER, O.; GOLDMAN, D.; KADISH, D.; ILUZ, D., (2008) The oasis effect in an extremely hot and arid climate: The case of southern Israel. *Journal of Arid Environments*, 72, 1721– 1733,

PULIAFITO, E.; GUEVARA, M.; PULIAFITO, C., (2003) Characterization of urban air quality using GIS as a management system. *Environmental Pollution*, 122, 105-117.

RICHARDS, K., (2005) Urban and rural dewfall, surface moisture, and associated canopy-level air temperature and humidity measurements for Vancouver, Canada. *Boundary-Layer Meteorology* , 114, 143–163,

ROOBA, S., (2003) Urban-suburban/rural differences over Greater Cairo, Egypt. *Atmósfera*, 16, 157–171.

ROTH, M., (2007) Review of urban climate research in (sub) tropical regions. *Int. J. Climatol.* 27, 1859–1873,

SARRAT, C.; LEMONSU, A.; MASSON, V.; GUEDALIA, D., (2006) Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution, *Atmospheric Environment*, 40 (10), 1743–1758,

SCHLINK, U.; HERBARTH, O.; RICHTER, M.; PULIAFITO, J.L.; REHWAGEN, M.; PULIAFITO, C.; BEHLER, J.C.; PULIAFITO, E., (1999) Ozone-monitoring in Mendoza, Argentina: Initial results. *J. Air and Waste Management Assoc.*, 49, 82-87.

SHASHUA-BAR, L.; PEARLMUTTER, D.; ERELL, E., (2009) The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate, *Landscape and Urban Planning*, 92, 179–186,

SOFER, M.; POTCHTER, O., (2006) The urban heat island of a city in an arid zone: the case of Eilat, Israel. *Theo. Appl. Climatol.* , 85, 81–88.

SPAGNOLO, J.; DE DEAR, R., (2003) A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Building and Environment*, 38, 721–738.

SPRONKEN-SMITH, R.; OKE, T., (1998) The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *International Journal of Remote Sensing*, 19 (11), 2085 – 2104.

TAHA, H., (1997) Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25, 99-103.

TOY, S.; YILMAZ, S., (2010) Thermal sensation of people performing recreational activities in shadowy environment: a case study from Turkey. *Theor, Appl, Climatol*, 101, 329–343.



# Tecnología e Ingeniería en el siglo XXI: una conexión cada vez más estrecha

**Macarena Perusset**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Industrial, Medrano 951 (C1179AAQ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

*macarena.perusset@gmail.com*

*Recibido el 30 de Mayo de de 2013, aprobado el 12 de Junio de 2013*

---

## Resumen

En este trabajo proponemos una reflexión acerca del rol de los ingenieros frente al fenómeno tecnológico, el cual en virtud del poder que detenta en la actualidad, puede ser considerado como el brazo "armado" de los profesionales de la ingeniería. Consideramos que es de vital importancia la formación superior en términos de responsabilidad y compromiso social debido no solo a su relevancia para comprender el mundo de los objetos y procesos artificiales, sino también en relación a la contribución para el diagnóstico de ciertos puntos de conflicto que se generan en el contexto de las experiencias que tenemos como sujetos insertos en un mundo global. En este artículo dejamos de lado aquellas actitudes caracterizadas por un *laissez faire* de la tecnología, para ensayar más bien cómo los nuevos "poderes" de la misma pueden ser utilizados en armonía con la sociedad y el medio.

**PALABRAS CLAVE:** TECNOLOGÍA – INGENIERÍA – RESPONSABILIDAD

## Abstract

In this paper we aim to think about engineers' role versus technological phenomenon, which should be considered as the military wing of engineering professionals regarding the power that technology holds nowadays. For this reason we believe it is really important to train higher education students in social responsibility and commitment terms, not only because of its relevance for understanding the world of objects and artificial processes, but also, to know about different kinds of conflicts that generate in the global world. Note that in this paper we reject those attitudes characterized by a *laissez faire* of technology, to test rather how its new "powers" could be used in harmony with society and environment.

**KEYWORDS:** TECHNOLOGY - ENGINEERING - RESPONSABILITY

## Introducción

La mayoría de las representaciones vigentes sobre la ingeniería concuerda en definirla como la aplicación creativa de principios científicos a los proyectos de desarrollo de estructuras, máquinas, procesos de fabricación y construcción, así como a la operación de cada uno de ellos. Asimismo, estas condiciones suponen los saberes adecuados acerca de dichos proyectos así como de la performance a seguir bajo ciertas condiciones de operación<sup>1</sup>. Todas estas cuestiones tienen que ver con el comportamiento previsto de los ingenieros, con la economía de las operaciones, así como con la seguridad de los individuos y recursos involucrados. Por lo señalado, la ingeniería se vuelve una profesión crucial si tenemos en cuenta que sus profesionales, a través de los distintos frentes en los que pueden actuar, tienen la capacidad de transformar potencialmente a la sociedad<sup>2</sup>. Paralelamente a los adelantos en materia ingenieril debemos situar el adelanto del desarrollo tecnológico, que junto a los avances científicos e industriales se convierten en un aspecto prioritario para el crecimiento de un país con las características como el nuestro<sup>3</sup>.

El surgimiento de las actividades industriales y su desarrollo a partir del siglo XIX implicaron además de la noción de las tareas mecánicas, la idea de acciones más abstractas, más "intelectuales" dando lugar a la idea de tecnología y a la difusión de dicho término desde entonces<sup>4</sup>. A partir de ese momento, la tecnología, al menos en occidente, remite a una fundamentación teórica que subyace a algún tipo de materialidad, aflorando de esta manera como algo indisoluble de la "máquina" o artefacto, el cual es a su vez expresión del logro científico. Por lo tanto la tecnología se encuentra estrechamente relacionada al conocimiento científico, del cual se nutre (Liz, 2001). Esta

situación ha dado lugar a que en el momento de la contemplación del artefacto o proceso diseñado, los hombres se plantearan la propia capacidad tecnológica, en términos transformadores, la que se reconoce y legitima en la materialidad de un producto que tiene la capacidad de extender y superar las limitaciones del cuerpo humano. En este sentido, la importancia de la tecnología es que revela el verdadero marco del ser humano, hecho de límites y posibilidades y que da lugar a un proceso que viabiliza la expansión de su contexto. De esta manera, frente a la posibilidad de ampliar los límites conocidos, a la pregunta sobre qué hace la tecnología, debemos agregar la reflexión de cómo y para qué lo hace.

## La huella de la tecnología durante el último siglo

Retomando el interrogante anterior, sabemos que todo individuo decide a diario llevar adelante ciertas acciones en virtud de sus propios valores y de los diversos escenarios en los que interactúa. En relación a ello y a partir de las últimas décadas, luego de distintas catástrofes generadas a lo largo del globo, se ha colocado en un primer plano la conciencia de la fragilidad del entorno natural, no siendo ya considerado como una fuerza inagotable de recursos, sino todo lo contrario, entendiéndolo ahora como proveedor de bienes y servicios finitos que debemos cuidar y preservar. Estas decisiones que mencionamos anteriormente que se toman a nivel individual, ocurren también a un nivel colectivo y son las que posibilitan la reflexión crítica, cada vez más evidente, que las sociedades hacen en relación a la legitimidad de la tecnología, teniendo en cuenta sus consecuencias sobre las sociedades y el ambiente circundante a corto, mediano y largo plazo.

Sin embargo, antes del surgimiento de esta conciencia por la sustentabilidad de los recur-

1 Definición sobre ingeniería obtenida de la ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA (2010).

2 La conciencia de ese papel es, además, fundamental en el ejercicio de la profesión.

3 El sitio web de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, señala que la "profesión de Ingeniero implica la capacidad de resolver problemas de naturaleza tecnológica ligados a la concepción, diseño, realización y fabricación de productos, sistemas o servicios, así como contribuir a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías. La formación profesional requerida debe tener en cuenta además los continuos cambios de la ciencia y la tecnología así como los cambios en los esquemas económicos, productivos y sociales en nuestro país y el resto del mundo". En [www.fi.uba.ar](http://www.fi.uba.ar)

4 El concepto de tecnología es relativamente moderno si lo comparamos con la noción de técnica, la cual ya aparecía en los escritos de Aristóteles. Al respecto hasta mediados del siglo XVIII las actividades se clasificaban en mecánicas por un lado y en las "bellas artes", por el otro. Estas últimas, consideradas superiores pertenecían al universo de las ideas, propias de los hombres con estatus social elevado. Por el contrario, las actividades mecánicas eran prácticas, industriales y alejadas del mundo "erudito" (Smith, R. y Marx, L, 1996: 258).

tos, hemos atravesado aproximadamente un siglo marcado por la formación técnica de los ingenieros y otros profesionales, cuyo objetivo principal era atender las necesidades de la corporación a la que pertenecían, sin tener presente los resultados que su accionar pudiera ocasionar sobre la sociedad y el medio<sup>5</sup>. Esta situación se extendió hasta mediados del siglo XX, donde la invención de las armas nucleares resultó en los acontecimientos de Hiroshima y Nagasaki. Estas consecuencias inquietaron a un grupo de científicos, quienes instalaron la "ética de la tecnología" a partir de entonces en la esfera pública. Al respecto, en palabras de Einstein "*la bomba [...] y otros descubrimientos nos sitúan ante [...] un problema no de física, sino de ética*"<sup>6</sup>. Esta reflexión posibilitó el debate que se abrió con posterioridad al empleo de las armas nucleares, tanto en Japón como en otras regiones. Como resultado, se originó en 1963 el tratado de limitación de pruebas atómicas, inaugurando además la discusión sobre la ética de los procesos nucleares. Lo que se buscaba, en términos generales, era dar una contención a la producción de los nuevos "poderes" de los procesos y productos tecnológicos.

Hacia la década del sesenta cobraron especial interés aquellas investigaciones que abordaron la temática de la inteligencia artificial, la cual comenzó a ser utilizada como "modelo" de la cognición humana. Esta situación se sumó a las cuestiones de ética que venían siendo planteadas desde años anteriores. Tiempo después, los problemas de contaminación ambiental y los peligros de los pesticidas "de moda" comenzaron a ganar visibilidad, resultando en el establecimiento de la *Environmental Protection Agency* en 1970, en los Estados Unidos. Fue a partir de ese momento que, considerando como agentes de acción a los factores antropocéntricos causantes de las distintas catástrofes y malestares sociales, un nuevo alegato sobre la ética ambiental apareció en escena acompañando y fortaleciendo el discurso sobre la ética de la ingeniería, especialmente en relación a la producción y empleo de la tecnología. De esta manera, se dio inicio al diálogo entre ingenieros y profesionales provenientes de distintas áreas, que bajo este marco discu-

tieron las cuestiones éticas relacionadas, en un primer momento, a los incipientes organismos genéticamente modificados. Como resultado, se llegó a un consenso para la adopción de ciertos protocolos, por parte de los ingenieros involucrados, para el desarrollo seguro de dichos procedimientos.

Como hemos podido observar, las cuestiones éticas en relación a la tecnología acompañaron las coyunturas históricas y sociopolíticas que se dieron en los países centrales durante el siglo XX. De esta manera, hacia finales del siglo, durante los años ochenta surgió el debate acerca de "la defensa" de los Estados, en especial Estados Unidos, que puso en práctica tecnologías misilísticas en materia de resguardo y protección frente a supuestos ataques externos. Junto a estas tecnologías apareció además, la inquietud que ocasionaba el empleo de las denominadas tecnologías de la información, situación que continuó durante la década siguiente. En este mismo período la pérdida de biodiversidad a nivel global, resultado de distintos procesos tecnológicos, como de diferentes accidentes y catástrofes, se sumaron a las preocupaciones sobre el cambio climático, sobre la clonación de seres humanos y otras problemáticas, que se convirtieron en los principales focos de atención en relación a la discusión ética sobre el empleo que los ingenieros actuales hacen de la tecnología.

Este recorrido que acabamos de hacer sobre la última mitad del siglo XX, nos permite observar que el empleo de la tecnología producto de la actividad ingenieril, ha carecido de reflexión crítica en muchos casos y además, esos procesos o productos tecnológicos se han impuesto a la sociedad, sin ser consciente esta última, sobre todas las implicancias de las mismas en el corto, mediano o largo plazo.

Por todo lo señalado y teniendo en cuenta que vivimos en una época de rápidos cambios en materia de tecnología, sumado al hecho de la necesidad de tener presentes los distintos escenarios de conflicto que han ocasionado las diversas actividades o procesos derivados de la misma, los ingenieros, como profesionales de la tecnología, necesitan ser capaces

<sup>5</sup> Al respecto, cabe señalar que la preocupación por la calidad en la formación de los futuros ingenieros así como de los profesionales ya formados, no era una prioridad (COLENCI, 2000).

<sup>6</sup> Oppenheimer, el ingeniero en jefe del programa de armas atómicas, luego de ver el nefasto resultado provocado por las mismas señaló que los físicos habían "conocido el pecado".

de adaptarse a los nuevos escenarios socio-ambientales. Para ello es vital una perspectiva que incluya los aspectos políticos, económicos, sociales y ambientales en términos de compromiso y responsabilidad, atendiendo además, a las demandas de la sociedad en la cual están insertos.

Creemos, por lo tanto, que debemos dejar de lado aquellas actitudes que caracterizan la producción y puesta en marcha de la tecnología por un *laissez faire*, para dar cuenta más bien cómo el "poder" potencial de la misma puede y debe emplearse de manera correcta o íntegra y particularmente en armonía con el medio social y natural. Cabe destacar que esta postura no significa de ninguna manera la oposición al desarrollo de la tecnología, todo lo contrario, alentamos la investigación e innovación tecnológica pero teniendo presente que debe estar al servicio del hombre y de la sociedad, buscando las mejores condiciones para ella, y en virtud del contexto planteado, siempre en términos de sostenibilidad.

### **Escenarios para pensar sobre las implicancias de la tecnología**

Junto a lo planteado debemos tener en cuenta además, las nuevas tecnologías en relación al futuro de las ciudades latinoamericanas, ya que se estima que hacia el año 2025 el nivel general de urbanización de la región alcanzará el 85% y que 30% de la población habitará en ciudades de más de 4 millones de habitantes (Finguilevich, 1998). Si imaginamos que en este contexto urbano se desarrollará un aumento poblacional, fragmentación urbana, polarización social, entre otras cuestiones, la performance de los ingenieros plantea ineludibles cuestiones de ética y responsabilidad frente a la sociedad y el medio. Hans Jonas, teniendo en cuenta el enorme poder transformador de la ciencia y la tecnología en particular, apuntaba a que era menester que los hombres actuaran con cautela en relación al empleo de los productos resultantes.

Hasta los acontecimientos de Hiroshima y Nagasaki, el alcance de las prescripciones éticas estaba limitado y hasta condicionado a la contemporaneidad, es decir, al prójimo inmediato. Sin embargo, como señalamos, desde la década de los setenta la intervención tecnológica comenzó a cambiar esa situación donde la naturaleza, susceptible de ser alterada, se encontraba al servicio del hombre. En los últimos años cada vez más, en virtud del poder que detenta la tecnología, algunos ingenieros han comenzado a comprender la responsabilidad que les atañe con respecto a la naturaleza y a la sociedad en su conjunto. Por lo tanto, teniendo en cuenta este nuevo escenario caracterizado además por un momento de autocrítica, es preciso el surgimiento de una propuesta ética más abarcadora que incluya una reflexión que tenga en cuenta las nuevas dimensiones a las que nos permite alcanzar la tecnología. Pero sin desconocer sus alcances, limitaciones y resultados no deseados, para de esa manera elaborar e idear procesos mejorados y adaptados a los intereses de la sociedad y el medio.

### **Los profesionales frente a los nuevos desafíos**

Si bien señalamos la necesidad de implementar una ética de la tecnología en términos sociales y ambientales, no podemos dejar de mencionar que ha surgido, en las últimas décadas, el esfuerzo de los profesionales por formular códigos de ética capaces de orientar sus acciones ante una cada vez más numerosa cantidad de dilemas y coyunturas que presenta la manipulación del fenómeno tecnológico<sup>7</sup>.

Al respecto, la Comisión de Acreditación para la Ingeniería y la Tecnología (ABET) de los Estados Unidos, reclamó la inclusión de la "ética ingenieril" dentro de los planes de estudio de las carreras de ingeniería<sup>8</sup>. Además, ciertos grupos que reúnen profesionales de la tecnología han formulado códigos que se sitúan más allá de la promoción de la lealtad corporativa o los intereses profesionales. Estimulados

7 En el comienzo del siglo XX no existían códigos explícitos de ética ingenieril. Cuando tales códigos fueron formulados por primera vez, en la década de 1910, ponían énfasis en las responsabilidades para los empleadores y los clientes. Hacia fines del siglo veinte, sin embargo, era habitual que los códigos de ética en ingeniería estimularan a sus miembros a otorgar una importancia primordial a "la seguridad, la salud y el bienestar del público" en la ejecución de sus tareas técnicas e, incluso, a educar al público acerca de los riesgos y los beneficios de los proyectos de ingeniería.

8 Por su parte, el Institute for Electrical and Electronic Engineers (IEEE), la mayor asociación de ingeniería profesional del mundo, creó un galardón ocasional al Servicio Destacado en Interés Público. La American Association for the Advancement of Science (AAAS), la mayor sociedad científica interdisciplinaria del mundo, estableció asimismo un comité permanente de "Libertad y Responsabilidad Científica", que otorga un premio anual y trabaja para comprometer a la ciencia en la protección de los derechos humanos.

en parte por las consecuencias de un número importante de los denominados "desastres ingenieriles"<sup>9</sup>, estos profesionales han buscado formas creativas de educar y de hacer cumplir sus nuevos códigos, apoyar a quienes alertan sobre la existencia de prácticas perjudiciales o incorrectas dentro de sus organizaciones, así como atraer a la sociedad civil en general para integrar instituciones encargadas de monitorear los resultados de la aplicación o manipulación de los productos y procesos tecnológicos (Bunge, 1997).

Cabe aclarar que estas "prescripciones éticas" no se imponen de manera coercitiva, más bien se presentan como una receta exhortativa destinada a mediar en la libre toma de decisiones de los agentes de transformación en cuestión. Frente a la importancia de innovar, pero con una verdadera preocupación por la sociedad y el ambiente, las responsabilidades de los ingenieros no involucran solo asuntos de ética, sino cuestiones que van más allá, involucrando fondos de índole social, legal, técnica, entre otras. De esta manera, el orden ético está presente, no como realidad visible, sino como un llamado sensato que demanda calma, prudencia y equilibrio. A este nuevo orden Jonas lo denomina *Principio de Responsabilidad*.

Podemos observar entonces que ética y responsabilidad van de la mano y conforman un entramado que debería actuar de marco para la generación de tecnología. En este sentido Martin y Schinzinger (1996) señalan que la discusión sobre ética dentro de la formación en ingeniería agregaría a los alumnos la capacidad de pensar y actuar correctamente cuando debieran enfrentarse con actividades tecnológicas concretas. De esa manera, con una formación de ese tipo (basada en valores que den cuenta del discernimiento y elección entre lo correcto y lo errado, sabiendo considerar lo antiético como un mal en el comportamiento profesional) surge la responsabilidad ética en la ingeniería como un valor agregado y una variable deseada y estimada en la formación de los futuros profesionales. El compromiso social del ingeniero en la búsqueda de la sustentabilidad y desarrollo social son aspectos fundamentales a ser desarrollados tanto en su

formación universitaria como en su educación continua.

La situación más habitual hacia fines del siglo XX se centró en el análisis de riesgo-costo-beneficio. Como resultado, el problema más común era la preponderancia de consecuencias no buscadas y riesgos complejos, especialmente aquellos de baja probabilidad y alta magnitud de daños (tales como los desastres nucleares) o incertidumbres epistemológicas (tales como las dimensiones antropogénicas del cambio climático global). La existencia de tales debilidades cognitivas llevó a David Collingridge (1980) a describir lo que llamó la paradoja del control social de la tecnología: por un lado, en las primeras etapas de una tecnología, cuando sería relativamente fácil modificar su desarrollo, raramente se posee el conocimiento como para tomar decisiones racionales; y por otro lado, en el momento en que se cuenta con más experiencia y una mejor comprensión de sus consecuencias y riesgos, el momentum tecnológico ha hecho que el control se vuelva difícil, si no imposible.

A pesar de las limitaciones, tanto prácticas como teóricas, de las respuestas a los retos y desafíos que la tecnología plantea, resulta justo describir el siglo XXI como el siglo que ha comenzado con una nueva idea de las implicancias de la tecnología que otorga mayor importancia a las cuestiones de ética, de la que se le concedía a comienzos del siglo anterior.

El entusiasmo característico del siglo XX por la tecnología entendida como "algo virtualmente bueno bajo toda circunstancia" se ha matizado y como consecuencia ha surgido una variedad de esfuerzos para avanzar sobre un tipo de reflexión crítica dirigida tanto a las opciones como a las amenazas asociadas al período de cambio tecnológico más rápido y más extendido en la historia de la humanidad.

## Conclusiones

Frente a lo planteado hasta aquí, algunos investigadores, para evitar posibles catástrofes y conflictos indeseados, han propuesto lo que en términos de Jonas se ha denominado "heurística del miedo". Con ella se buscan imaginar los

---

9 Podemos mencionar como ejemplos los accidentes nucleares de Three-Mile Island (1979) y Chernobyl (1986), la explosión de la planta química de Union Carbide en Bhopal, India (1984), y la pérdida del trasbordador espacial Challenger (1986).

peores escenarios posibles que resultarían de la generación de determinadas tecnologías y de este modo, introducir cierto tipo de cautela dentro del dinamismo que implican los procesos tecnológicos modernos. En sus palabras resume esta situación de la siguiente manera: *"ante un potencial casi escatológico de nuestra tecnología, la ignorancia sobre las últimas consecuencias será, por sí sola, razón suficiente para una moderación responsable"* (Jonas 1995). Esta misma realidad es denominada por Morin (1993) como la "ignorancia de la ecología de la acción", es decir que toda acción humana desde su inicio escapa de las manos de quien la originó y entran en juego múltiples interacciones propias de la sociedad, que la desvían de su objetivo y, en algunas ocasiones, le dan un destino opuesto al buscado en sus orígenes.

En una visión de avanzada, la Unión Europea, haciéndose eco de esta política "del miedo", intentó adoptar la idea de que una nueva tecnología, cualquiera fuese su estado, debería considerarse peligrosa hasta probar que fuese segura<sup>10</sup>. Sin embargo, la debilidad de esta postura a nivel global se enfrentó con el imaginario colectivo imperante de entusiasmo por la tecnología que aún se encuentra en estado emergente en ciertas regiones del "mercado mundial". Por esta razón, este intento de la Unión Europea resultó sumamente difícil de implementar en un mundo con múltiples intereses en juego.

Existe una necesidad de desarrollar normativas e instituciones sociales dedicadas a una evaluación proactiva de la tecnología y, siempre que sea posible, a la elección de las tecnologías más flexibles por sobre las más rígidas, en términos de beneficios socio-ambientales. Delante de un poder con capacidades de transformación tan extraordinarias, la solución no implica de ninguna manera oponerse al desarrollo tecnológico, sino buscar mecanismos preventivos que alerten y adviertan acerca de posibles desastres o conflictos sociales derivados de la aplicación de tecnología. Sin embargo y pese a los intentos de algunos grupos de profesionales, estamos desprovistos todavía de reglas o normas que ordenen las acciones que dan origen y manipulan las tecnologías.

La tecnología se ha convertido, como indicamos al inicio de este trabajo, en el brazo armado de los conocimientos contenidos en la ciencia y

puestos en práctica por los ingenieros. En virtud de su rasgo más característico, como lo es la intervención, modificación y transformación, el origen, manipulación y aplicación de tecnología debe ser objeto de una reflexión por parte de los responsables de ella. Es por esta razón que en la actualidad vemos cada vez más a menudo la emergencia de cuestiones éticas en el plano de las investigaciones y proyectos ingenieriles. En un escenario complejo como el actual, la pregunta acerca de ¿qué puedo hacer? debe además contener otra que se pregunte sobre ¿qué se puede crear y qué se puede hacer con ello? El cuestionamiento ético, por lo tanto, ocurre en todos los instantes del proceso tecnológico.

---

10 A diferencia de la postura modernista clásica que considera a la tecnología como "inocente" hasta que se pruebe lo contrario.

## Referencias

- BUNGE, M. (1997) Ciencia, tecnología y desarrollo. Sudamericana. Buenos Aires.
- COLENCI, A. T. (2000) O ensino de engenharia como uma atividade de serviços: a exigência de atuação em novos patamares de qualidade acadêmica. Dissertação (Mestrado). Curso de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo. São Carlos.
- Collingridge, D. (1980) The Social Control of Technology. Pinter Publishing. Londres.
- ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA Definición de Engineering.  
Disponble en [www.britannica.com/EBchecked/topic/187549/engineering](http://www.britannica.com/EBchecked/topic/187549/engineering)
- ENGELHARDT, H. T. (1990) Los fundamentos de la bioética. Paidós. Barcelona.
- GARCÍA ARREGUI, A. (2008) La tecnología en el cuerpo. Biomecánica de los quilombolas en dos selvas brasileñas. Revista (con)textos. Revista d'antropologia i investigació social. Número 1. Maig de 2008. Pàp. 23-40. Barcelona.
- JONAS, H. (1995) El Principio de Responsabilidad: ensayo de una ética para la civilización tecnológica. Herder. Barcelona.
1966. The phenomenon of life: toward a philosophical biology. Harper and Row. New York.
- FINQUELIEVICH, S. (1998) Las nuevas tecnologías y el futuro de las ciudades latinoamericanas: Riesgo y oportunidad. INTELICOM 1998. Simposio Hispanoamérica /Unión Europea. "Modelos y estrategias en servicios de telecomunicaciones para el ciudadano". La Toja-Galicia, España. 26, 27 y 28 de octubre de 1998.
- LIZ, M. (2001) Conocer y actuar a través de la tecnología. En Broncano, F (1995). Nuevas meditaciones sobre la técnica. Trotta. Madrid
- MARCUSE, H. (1969) El hombre unidimensional. Ensayo sobre la Ideología de la Sociedad Industrial Avanzada. Joaquín Mortiz. México.
- MARTIN, M. W. y SCHINZINGER, R. (1996) Ethics in engineering. McGraw-Hill. New York.
- MITCHAM, C. (2005) De la tecnología a la ética: experiencias del siglo veinte, posibilidades del siglo veintiuno. Revista CTS, nº 5, vol. 2. Pp. 167-176.
- MORIN, E. (1993) El método: la naturaleza de la naturaleza. Cátedra. Madrid.
- SMITH, R. y MARX, L. (1996) Tres caras del determinismo tecnológico. Alianza, Madrid.
- SIQUEIRA, J. E. (1998) Ética e tecnociencia: uma abordagem segundo o princípio da responsabilidade de Hans Jonas. Ed. UEL. Londrina.
- SIQUEIRA, J. E. (2001) El principio de responsabilidad de Hans Jonas. Acta Bioethica, año VII, nº 2:277-285.



# Estudio para definir áreas geográficas adecuadas para la implementación de plantas solares termoeléctricas de torre en la Argentina

**Pablo Alejandro Haim**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Mecánica, Medrano 951 (C1179AAQ) , Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

*alejandrohaim@frba.utn.edu.ar*

*Recibido el 13 de Abril de 2013, aprobado el 16 de Mayo de 2013*

---

## Resumen

En este artículo se resume el trabajo de tesis final de la Maestría en Energías Renovables en el cual se analizaron distintas tecnologías para la obtención de energía eléctrica a partir de la radiación solar, seleccionando la más adecuada técnica y económicamente factible. Se analizaron los distintos parámetros más importantes que definen la posible localización de la planta, determinando zonas aptas para la instalación de plantas solares termoeléctricas en la Argentina

**PALABRAS CLAVE:** ENERGÍA RENOVABLE - SOLAR CONCENRADA -TERMOELÉCTRICA - ARGENTINA - UBICACIÓN

## Abstract

This article summarizes the final thesis Masters in Renewable Energy in which various technologies for the production of electricity from solar radiation radiation were analyzed, selecting the most appropriate technical and economically feasible. Analysys of several important parameters that define the possible location of a plant wade and switable areas for the installation of solar power plants in Argentina were identified.

**KEYWORDS:** RENEWABLE ENERGY - CONCENTRATED SOLAR – THERMOELECTRIC – ARGENTINA - LOCATION

## Introducción

El agotamiento de las fuentes tradicional de energías no renovables, la contaminación ambiental como los gases de efecto invernadero, sus consecuencias, y los aumentos de precios de los combustibles fósiles están despertando el interés de estados de distintos puntos del mundo en cambiar su paradigma energético, cambiando por fuentes de energías renovables. Hoy en día la energía más afianzada es la energía hidráulica seguida por la eólica, biomasa y solar fotovoltaica.

Además, la Energía Solar aprovechada en centrales termoeléctricas es otra manera de generar energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable. Estas centrales trabajan concentrando los rayos del sol obteniendo temperaturas del orden de los 200 a 565°C, dependiendo del tipo de tecnología, lo que permite calentar distintos tipos de fluidos para luego generar vapor y utilizarlo un ciclo Rankine para transformarlo en energía eléctrica.

Existen distintos tipos de tecnologías para concentrar los rayos solares, los sistemas más conocidos son:

- Cilindroparabólicos
- Campos de heliostatos con torre receptora
- Lentes de Fresnel Lineal.
- Discos parabólicos con motores Stirling

La gran ventaja que tienen las dos primeras tecnologías es que permiten almacenar la energía del sol en forma térmica mediante sales fundidas llegando a obtener un régimen de funcionamiento y generación de energía eléctrica las 24 h.

La tecnología cilindroparabólica es la que posee más plantas en funcionamiento, y España es líder en esta tecnología y en plantas en funcionamiento. Sin embargo, la tecnología de campos de heliostatos con torre receptora ha demostrado con la planta Gemasolar instalada en la provincia de Sevilla en España, ser una tecnología competitiva y con mejores resultados que las plantas con sistemas cilindroparabólicos.

La tecnología cilindroparabólica, Fig. 1 y 2, consiste en una serie de espejos curvados parabólicamente que al ser orientados al sol respecto de su eje de simetría, refleja los rayos del sol concentrándolos en su foco lineal por el cual pasa una tubería por el que circula generalmente aceites especiales o sales fundidas. Este fluido es calentado por el sol hasta unos 400°C a partir de lo cual intercambia su calor con agua para generar un vapor que será inyectado a una turbina también de vapor acoplada a un generador eléctrico.

En el caso de la tecnología de campos de heliostatos con torre receptora, Fig. 3 y 4, los espejos están distribuidos alrededor de una torre que es la encargada de coleccionar la energía del sol



**Fig. 1. EXTRESOL 1, 2 & 3 Parabolic Trough Plants 50 MWe, Badajoz- España. Fuente: SENER**



**Fig. 2. EXTRESOL 1, 2 & 3 Parabolic Trough Plants 50 MWe, Badajoz- España. Fuente: SENER**



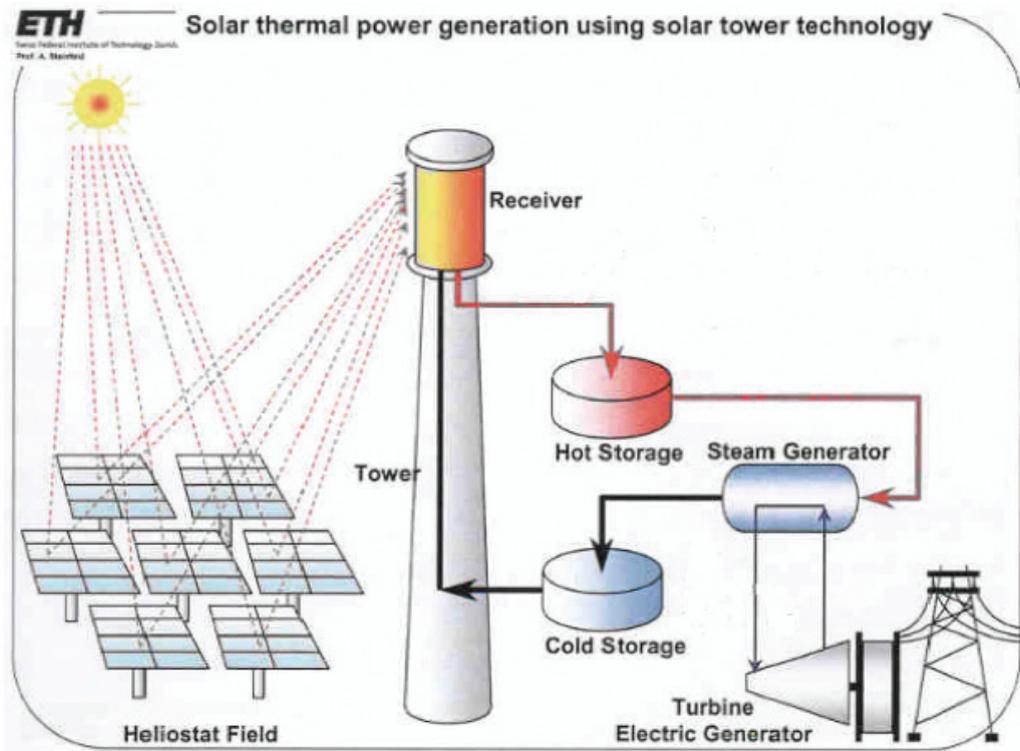
**Fig. 3. Central Gemasolar, Sevilla – España. Fuente: Torresol Energy S.A.**

reflejada en los espejos. Cada espejo o heliostato posee movimientos en los 2 ejes, independientes de los demás heliostatos, dirigiendo los rayos del sol hacia un único colector solar (receptor) que se encuentra en lo alto de la torre. Mediante esta tecnología se pueden calentar las sales hasta una temperatura de 565°C, obteniendo mejores rendimientos en las turbinas

de vapor. La relación de concentración solar en los cilindros parabólicos es del orden de 30 a 100 veces la intensidad normal del sol y en las centrales de torre las concentraciones son del orden 200 a 1000 veces la radiación normal. Las plantas cilindroparabólicas poseen un factor de capacidad del 30%, mientras las de torre poseen un 75% (SENER 2012).



**Fig. 4. Vista aérea de Gemasolar (17MWe) Fuente: Torresol Energy S.A.**



**Fig.5. Esquema de funcionamiento de una planta solar termoelectrica con campo de heliostatos. Fuente: Maestría de Energías Renovables UTN**

Los rayos solares recibidos en el colector de la torre calientan las sales a 565°C y son almacenadas en el tanque de sales calientes. Luego aquellas pasan por un intercambiador de calor generando vapor, para finalmente, ser almacenadas en el tanque de sales frías a 290°C. Fig. 5.

Una ventaja que presenta la tecnología solar termoeléctrica por concentración es que permite almacenar la energía excedente del sistema en forma de energía calórica utilizando sales fundidas.

La planta Gemasolar ubicada en Sevilla, España; posee este sistema que permite un funcionamiento continuo de la planta entregando energía eléctrica las 24 h. La potencia eléctrica de la planta es de 17 MWe y su capacidad de almacenamiento energético permite 15 h de funcionamiento a potencia nominal con ausencia del sol.

En el siguiente gráfico, Fig.6, se visualiza la radiación solar recibida por los heliostatos, la radiación recibida por el colector de la torre, el nivel de almacenamiento y la producción de energía eléctrica en forma ininterrumpida.

## Parte experimental

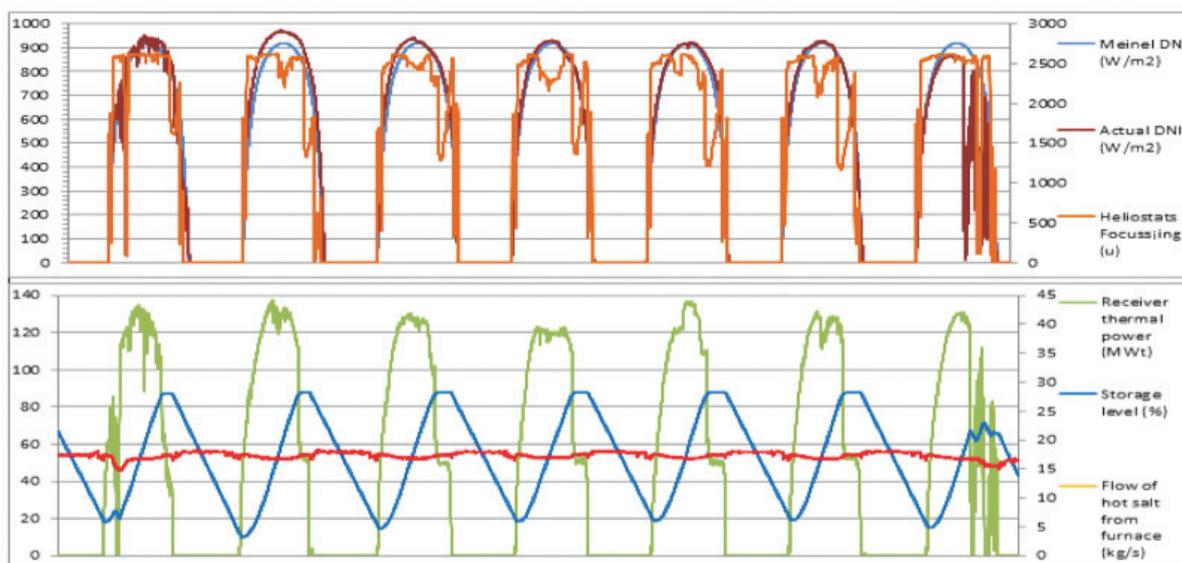
El estudio se realizó en la empresa Torresol Energy S.A.. El mismo buscó definir zonas potenciales de la Argentina para la ubicación de plantas solares termoeléctricas de torre central.

Para ello, primeramente, hubo que elaborar el primer mapa solar de radiación directa normal de la Argentina mediante cálculos, ya que en este país no existe una red solarimétrica que mida valores de radiación solar directa normal, parámetro fundamental para definir la ubicación de este tipo de plantas. Los valores diarios de radiación solar directa para la instalación de ese tipo de plantas deben ser superiores a 4,75 kWh/m<sup>2</sup> (Burgaleta 2011).

En el 2008 C. Raichijk, H. Grossi Gallegos y R. Righini; publican: "Cartas preliminares de irradiación directa para la Argentina". Esta publicación contiene mapas solares de irradiación solar directa global y normal de los meses de Julio y Enero realizados mediante cálculos y se los compara con valores obtenidos de satélites de la NASA. Con estos y otros datos disponibles se obtuvieron los valores de irradiación directa normal de los 10 meses restantes, se generaron mapas y capas con estos valores que se utilizaron en sistemas de información geográfica.

Para la obtención y cálculo de esos datos se realizó una matriz de datos en planillas de Excel en los que se volcaron la siguiente información:

- Datos de irradiación solar global de la Argentina para los 12 meses del año con valores de latitud y longitud obtenidos del "Atlas de Energía Solar de la República Argentina".



**Fig. 6. Gráfico de funcionamiento de la planta Gemasolar de 17MWe.**  
Fuente: Torresol Energy

- Datos de irradiación solar directa normal en la Argentina de los meses de Enero y Julio obtenidos de las "Cartas preliminares de irradiación directa para Argentina."

- Datos de irradiación solar directa normal de la Argentina obtenidos mediante un programa *METONORM*, que calcula los valores de irradiación solar global y directa normal en función de su base de datos de estaciones meteorológicas de Argentina y países limítrofes, y datos de satélite. El programa *METONORM* es una aplicación comercial que utiliza datos climáticos de 7.400 estaciones de medida en todo el mundo. Gran parte de los datos provienen de *Global Energy Balance Archive* y de la Base de Datos de Suiza recopilada por *MeteoSwiss*.

- Datos de irradiación solar directa normal de España obtenidos del programa *Satel-Light* (al ser datos del hemisferio norte y Argentina encontrarse en el hemisferio sur se desfazaron los valores 6 meses para poder compararlos con los valores de Argentina). Los datos que proporciona el *Satel-Light* son estimaciones procedentes de modelos de estimaciones a partir de imágenes de satélites, validados con mediciones en tierra.

Para determinar los 10 meses restantes de valores de irradiación solar directa normal de la Argentina, se tomaron los valores de irradiación solar global de los 12 meses del año (datos Altas de Energía Solar de la República Argentina) y los valores de irradiación solar directa normal de Julio y Enero (Cartas preliminares de irradiación directa para Argentina) para 64 puntos equidistantes del país y se compararon con toda la matriz de base de datos obtenidas por el programa *METONORM* y el *Satel-Light* analizando las diferencias de los valores y el desvío estándar para cada punto.

Los datos de irradiación solar global de los 12 meses del año, y los valores de irradiación solar directa normal de Julio y Enero, obtenidos del programa *METONORM* y *Satel-Light*; se los compararon con a los valores obtenidos por el Atlas de Energía Solar de la República Argentina y las Cartas de preliminares de irradiación directa para la Argentina. Se consideraron como compatibles los valores obtenidos del *METONORM* y *Satel-Light* que presentaron una diferencia inferior al 0,5 kWh/m<sup>2</sup> y un

desvío estándar inferior a 0,5 seleccionando los de menor diferencia y desvío estándar.

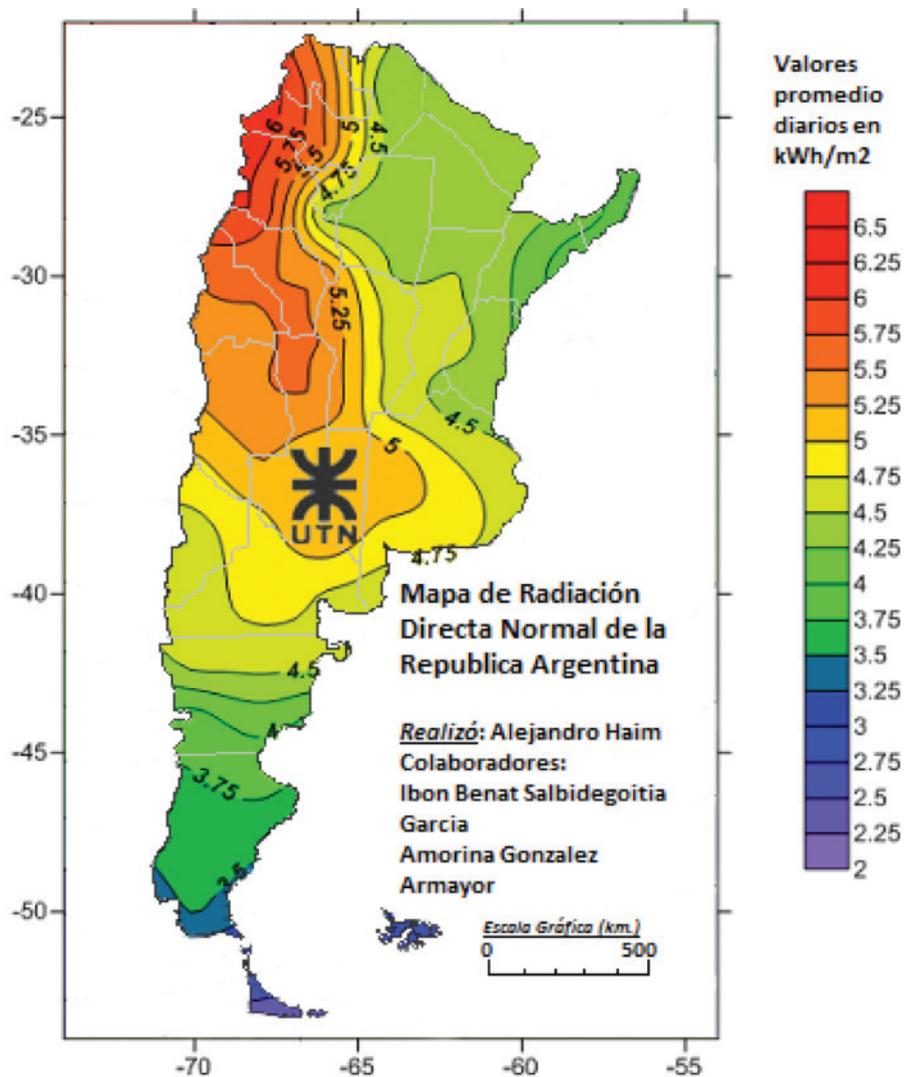
De esta manera se validaron los datos obtenidos del *METONORM* y el *Satel-Light* para los 64 puntos de Argentina para los valores de irradiación solar global de los 12 meses del año y los valores de irradiación solar directa normal de Enero y Julio, asumiendo que los 10 meses restantes de los valores de irradiación solar directa normal obtenidos por el *METONORM* y *Satel-Light* son los correspondientes para los 64 puntos de la Argentina. De esta manera y con estos datos se completaron los valores faltantes de irradiación solar directa normal de los 10 meses, obteniendo valores de irradiación directa normal para los 12 meses del año de la Argentina.

Una vez obtenidos los valores de radiación solar directa normal de los 12 meses se calcularon los valores anuales de irradiación. Con estos valores y su posición según sus respectivas coordenadas se trabajó con el programa *Surfer* de *Golden Software, Inc.* que permite realizar gráficos de curvas de nivel, en este caso de radiación, Fig. 7. Este programa también permite exportar los archivos en formato (.shp) para poder trabajarlo en sistemas de información geográfica que se detallará su uso y aplicación más adelante

Otros factores influyentes y determinantes a la hora de establecer una ubicación son: la orografía, la disponibilidad del recurso hídrico, sistema interconectado nacional, acceso a rutas e inclinación del terreno, por ejemplo. Para determinar las zonas potenciales se utilizaron herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) y se obtuvieron gráficos con esas zonas potenciales.

La irradiación directa normal, es el recurso solar más importante por eso, para definir la ubicación de la planta se la ha tomado como parámetro absoluto reduciendo el área de ubicación de planta solo a zonas cuyos valores superan los 4,75 kWh/m<sup>2</sup> promedio anual, debido a que es el valor mínimo utilizado por la empresa *Torresol Energy* para definir ubicaciones de planta.

Para determinar las zonas de influencia del Sistema Interconectado Argentino y para definir la ubicación de la planta se ha trabajado



**Fig. 7. Mapa de radiación Directa Normal de la República Argentina.**

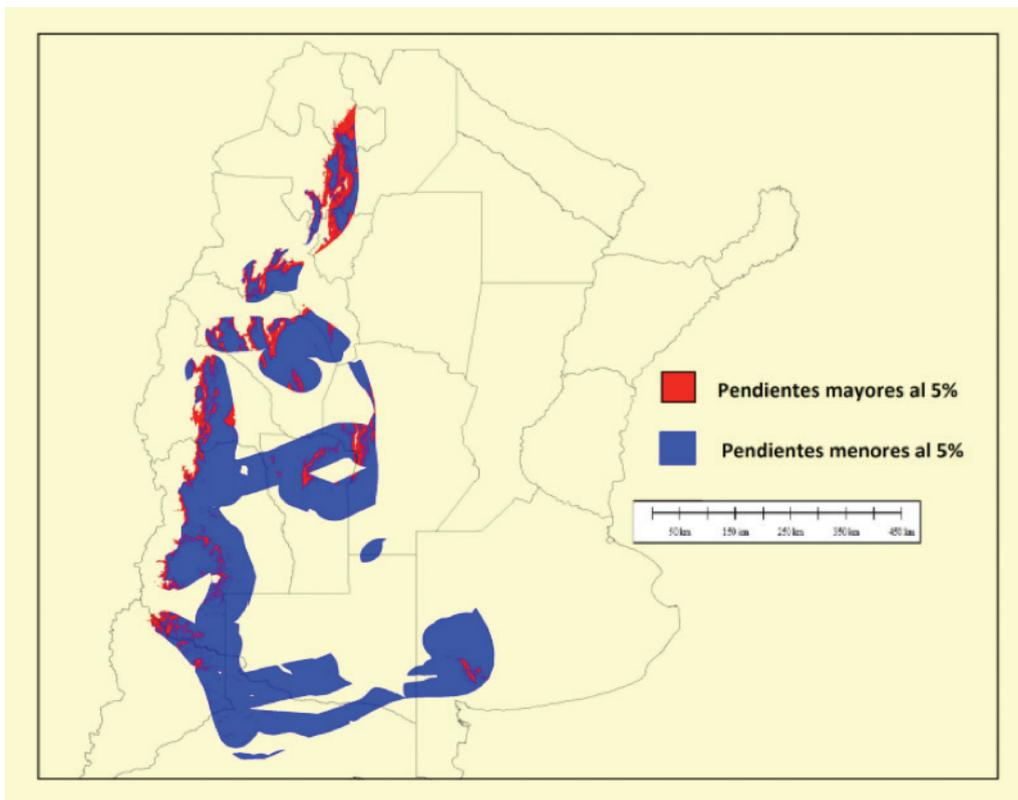
con las capas del contorno Argentino y las provincias, con las líneas de tensión superiores a 132 kV. Se delimitó el sector de trabajo solo al área de irradiación solar en estudio y se seleccionó una zona de aceptación del sistema interconectado de un radio de 50km alrededor de las líneas de transmisión.

Para definir las zonas de influencias de rutas en el sector de irradiación solar admisibles se ha trabajado en la capa de rutas, delimitándolo solo al sector de estudio de irradiación, cargando las capas de irradiación haciendo intersección con las capas de rutas quedando como resultado la capa de rutas en zonas de radiación solar superior a 4,75 kWh/m<sup>2</sup>., para luego adicionar las capas de contorno Argentino y provincias.

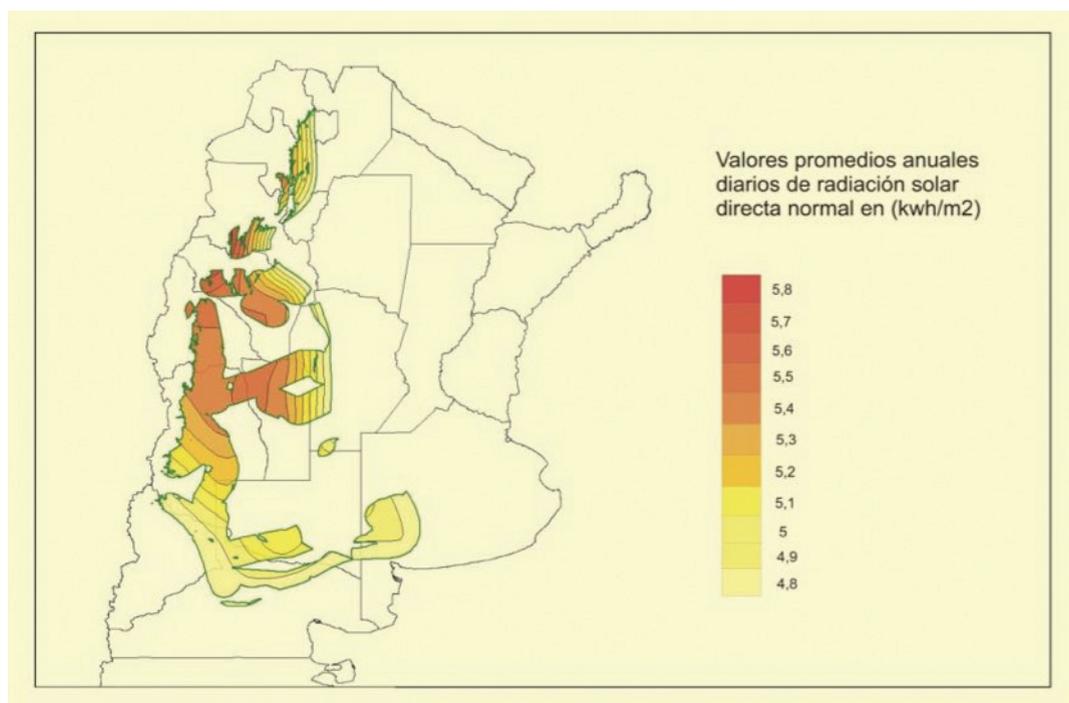
Para definir las zonas de influencias de disponibilidad de recursos hídricos superficiales se cargaron en los programas la capa de irradiación solar directa y la capa de recursos hídricos delimitando la zona de estudio a las zonas de irradiación solar mayor a 4,75 kWh/m<sup>2</sup>. Luego se cargaron las capas de contorno argentino y las provincias, con los recursos hídricos disponibles en un radio o "buffer" de 50 km.

## Resultados

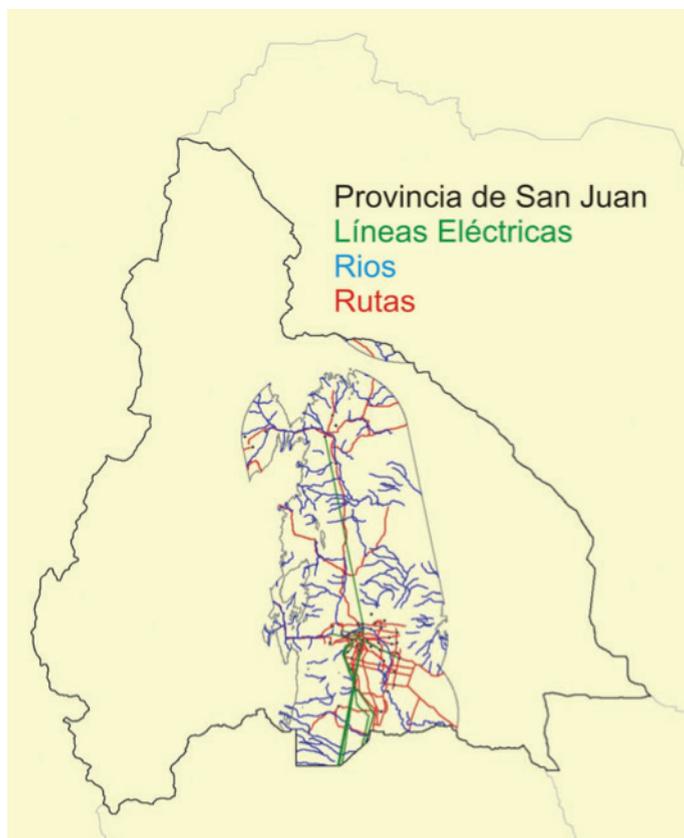
Una vez obtenidas las diferentes capas de rutas, irradiación, líneas eléctricas y recursos hídricos superficiales se cargaron los mismos en el programa y se logró una superposición e intersección de las capas identificando así,



**Fig. 8. Gráfico de radiación solar directa en las zonas óptimas para la instalación de plantas solares termoeléctricas**



**Fig. 9. Gráfico de zonas óptimas para la instalación de plantas solares termoeléctricas discriminando pendientes mayores al 5%**



**Fig. 10. Mapa de recursos hídricos, acceso a rutas y sistema interconectado de la Provincia de San Juan con un radio de intersección de 50km**

las zonas que cumplen con los diferentes parámetros. Fig. 8.

La zona donde es recomendable ubicar la planta debe tener una pendiente o inclinación menor al 5%, para ello se discriminaron del gráfico anterior todas las zonas de pendientes mayores al 5% y las zonas con pendientes menores al 5%, que serían las aptas. Fig. 9.

Luego, mediante una matriz de decisión, se analizaron los recursos de cada provincia: acceso a redes eléctricas, acceso a rutas pavimentadas y disponibilidad de recursos hídricos. Se determinó que las provincias más aptas para instalar este tipo de tecnología son en orden de importancia: San Juan, La Rioja, Mendoza, San Luis, debido a su alta radiación solar directa combinada con la gran disponibilidad de recursos indispensables para el funcionamiento de la planta. En la Fig. 10 se pueden visualizar las zonas más aptas de la provincia de San Juan que disponen de recursos hídricos, acceso a rutas y posibilidad de

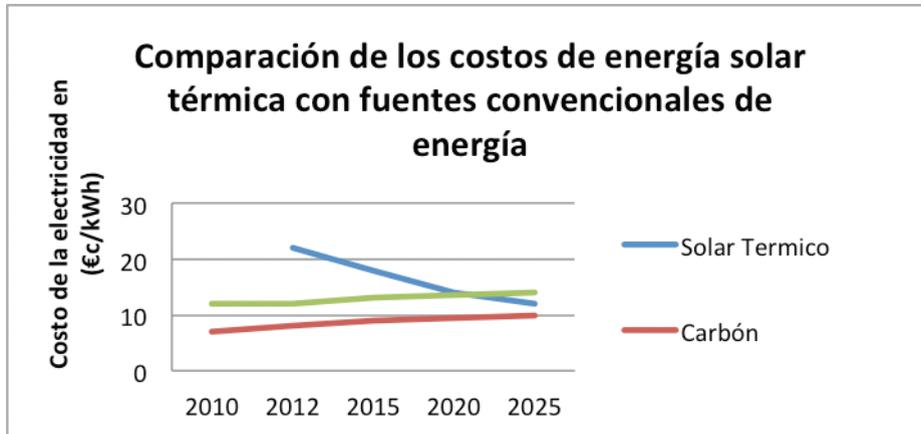
interconexión con el sistema interconectado en un radio de 50 km.

## Discusión

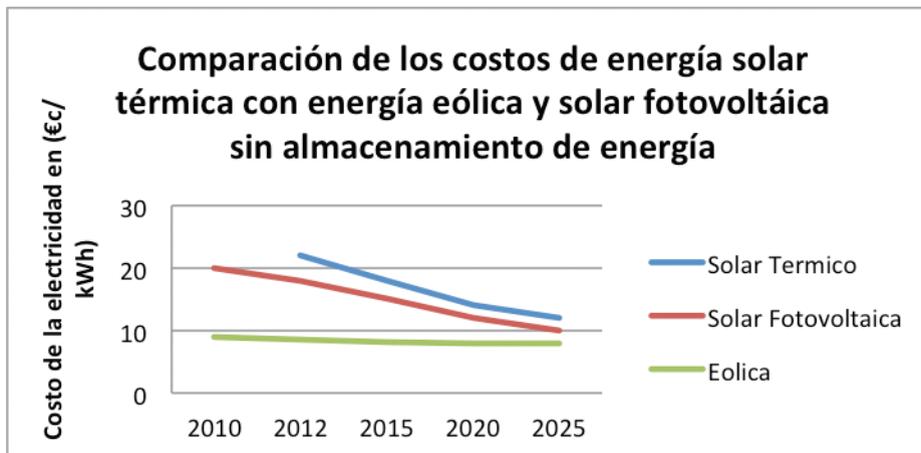
Una gran ventaja que presenta la tecnología solar termoeléctrica por concentración, en comparación con otras fuentes renovables, es que permite almacenar la energía excedente del sistema en forma de energía calórica utilizando sales

A la hora de seleccionar una tecnología para generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, no solo se debe analizar la cantidad de energía disponible sino la disponibilidad de la misma durante todo el año y la posibilidad de despacharla según las necesidades del mercado eléctrico.

La tecnología solar termoeléctrica ofrece soluciones al mercado eléctrico que otras tecnologías de energías renovables no brindan como por ejemplo la eólica o la solar fotovoltaica,



**Fig. 11. Comparación de los costos de energía solar térmica con fuentes convencionales de energía**



**Fig. 12. Comparación de los costos de energía solar térmica con energía eólica y solar fotovoltaica sin almacenamiento de energía**

que es el almacenamiento energético y la posibilidad de elección de despacho energético eléctrico por parte del generador.

Los costos de generación de energía eléctrica comparada con combustibles fósiles aún están por encima, pero se estima que para el 2020 se igualen los costos de los ciclos combinados lo que lograría una penetración muy fuerte en el mercado eléctrico mundial. Fig. 11.

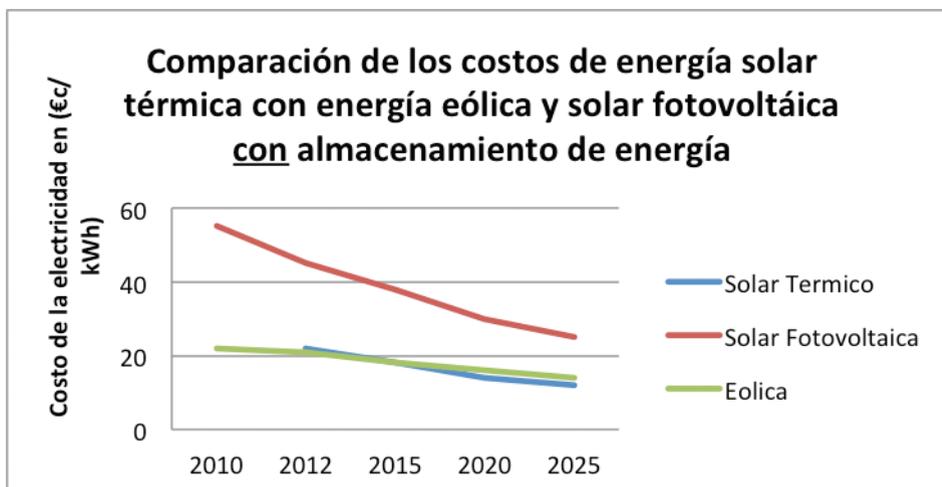
Si comparamos los costos de la energía termoeléctrica con almacenamiento, con la solar fotovoltaica y eólica sin almacenamiento, ésta se encuentra por encima de ambas. Sin embargo, si comparamos ambas tecnologías considerando su almacenamiento energético, la tecnología solar termoeléctrica se encuentra por debajo a las demás tecnologías res-

pecto al precio de la energía. Fig. 12.

Argentina presenta un excelente escenario para el aprovechamiento de la energía solar termoeléctrica, teniendo en cuenta la disminución de los costos energéticos de la tecnología y la necesidad energética que presenta el país. Se puede pensar que la Argentina en poco tiempo puede tener instaladas este tipo de plantas como ya lo hicieron nuestros vecinos chilenos.

## Conclusiones

En la tesis se ha analizado y justificado: la utilización de la energía solar para la generación de energía eléctrica analizando las distintas tecnologías termosolares. Como se ha visto, la tecnología cilindroparabólica y de torre



**Fig. 13. Comparación de los costos de energía solar térmica con energía eólica y solar fotovoltaica con almacenamiento de energía**

central son las más confiables. No obstante, la tecnología de torre central presenta mayores ventajas técnicas y económicas que la de los cilindros parabólicos.

Además analizaron los parámetros más importantes que determinan las posibles zonas para instalar una planta solar termoeléctrica de torre; dada la carencia de datos al respecto, se realizó un mapa de radiación solar directa normal de la República Argentina ya que actualmente el país no cuenta con una red de pirheliómetros que midan irradiación solar directa. El área de estudio quedó delimitada por las zonas de irradiación directa normal admisibles para la instalación de plantas, analizando los parámetros de recursos hídricos, rutas, sistema interconectado nacional y pendientes menores al 5%. Se utilizaron herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para determinar cuáles son las zonas que cumplen con todos los parámetros y mediante una matriz de decisión se determinó cuáles son las provincias más propicias para la instalación de la planta, primero San Juan, seguida de La Rioja, Mendoza y San Luis, en orden de importancia.

Si bien esta tesis define áreas o zonas óptimas para la instalación de plantas solares termoeléctricas es recomendable instalar primeramente una estación meteorológica en la zona definida para la planta y medir valores de los distintos instrumentos, durante 12 meses consecutivos, para validar los datos meteorológicos existentes en la región seleccionada, especialmente los valores de radiación solar directa normal.

Los costos de la energía son superiores a los del mercado eléctrico argentino, por lo tanto para la lograr la instalación de este tipo de plantas en el país, es indispensable presentarse en las licitaciones públicas como por ejemplo las que ofrece la Secretaria de Energía a través del Programa de Generación de Energía Eléctrica a partir de Fuentes Renovables (GENREN), que fija precios de venta de la energía eléctrica a valores superiores a los del mercado con el objetivo de incentivar la inversión en energías renovables, con contratos a 15 años.

Respecto del impacto ambiental este tipo de plantas están catalogadas como de bajo impacto ambiental ya que contribuyen con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Por otra parte, en el análisis de ciclo de vida se determinó que el tiempo necesario para la recuperación de energía utilizada para construir la planta es de 7 meses y 15 días, siendo la vida útil de la planta de 25 años. Esta estimación puede extender varios años más, con un adecuado mantenimiento y recambio de partes.

## Agradecimientos

Al Ing. Juan Ignacio Burgaleta director de la tesis y a todo su equipo de trabajo. Al Dr. Juan Carlos Jimeno co-director de tesis. A los ingenieros Ramiro Garbarini y Cecilia Sánchez que me han abierto las puertas de su laboratorio y enseñado a utilizar las herramientas SIG. A la Universidad Tecnológica Nacional y en especial al Dr. Walter Legnani.

## Referencias

- GROSSI GALLEGOS, H. y RIGHINI, R., (2007). Atlas de energía solar de la República Argentina. Secretaria de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Argentina.
- HAIM, P. A. (2012). Estudio para definir áreas geográficas adecuadas para la implementación de plantas solares termoeléctricas de torre en la Argentina. Tesis de Maestría de Energías Renovables. UTN. Bs. As. Argentina.
- RAICHIJK, C.; GROSSI GALLEGOS; H. y RIGHINI,R., (2008). Cartas preliminares de irradiación directa para Argentina. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 12. Argentina.
- ROMERO ALVAREZ, M., (2000). Energía Solar termoeléctrica. CIEMAT, Almería, España.
- STEINFELD, A., (2010). Concentrated Solar Power & Fuels, Instituto Tecnológico de Energía, Zúrich. Suiza.
- TÉLLEZ, F. y ZARZA, E., (2009). Curso sobre Sistemas Solares Térmicos de Concentración. Ciemat tomo 1, Madrid. España.
- BURGALETA, J. I. (2012). Torresol Energy S.A. Bilbao. España.

# Modelo elemental de flujo de un fluido viscoso elástico. El glaciar Bahía del Diablo. Parte I

**Néstor O. Rotstein<sup>1</sup>; Sebastián Marinsek<sup>2</sup>**

1 Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires  
Medrano 951 (C1179AAQ), Buenos Aires, Argentina

2 Instituto Antártico Argentino, Balcarce 290 (CP 1064), Buenos Aires, Argentina

*nrotstein@cedi.frba.utn.edu.ar*

*Recibido el 20 de Junio de 2013, aprobado el 3 de Julio de 2013*

## Resumen

En este trabajo analizamos la dinámica de un glaciar, pensado como un cuerpo de hielo que se deforma y fluye debido a los esfuerzos derivados de su propio peso. Tratamos el glaciar como un sistema de densidad variable fluyendo sobre un lecho de perfil matemáticamente definido a través de una función que admite inversa. Esta es una condición necesaria para mantener el problema en un nivel matemáticamente tratable. El formalismo lo aplicamos a un sector transversal del glaciar "Bahía del Diablo" (isla Vega, Antártida Argentina) cuyo lecho ha sido registrado por medio de mediciones efectuadas con un radar de hielo. A partir de las profundidades medidas se elaboró un perfil del fondo, que aproximamos por diferentes curvas. En este artículo tratamos el perfil parabólico. Del modelo resultan funciones de velocidad que dependen fuertemente de las condiciones de contorno y, en menor grado, de la variación de densidad en profundidad que introducimos a través de una función lineal. Comparamos los resultados obtenidos con las velocidades en superficie, que también han sido registradas *in situ*. Las diferencias que existen entre los valores calculados y los valores medidos podrían deberse a la velocidad de la base del glaciar, que posiblemente responde a mecanismos de deslizamiento que no habremos de contemplar en el modelo.

**PALABRAS CLAVE:** FLUJO MÁSSICO - FLUIDO - VISCOELASTICIDAD - GLACIAR

## Abstract

In this paper we analyze glacier dynamics, assumed to be a large body of ice that deforms itself and flows owing to stresses produced by its own weight. We treat glacier like a non uniform density system that moves over a bed whose profile can be defined by a mathematical bijective function. This is a necessary condition in order to keep the problem in an amenable level. We apply the formalism to "Bahía del Diablo" glacier (Vega island, located in the Argentinean sector of Antarctic). Depths of glacier bed were derived from measurements made by means of portable radar. By means of these determined depths we have constructed a bed profile that we approximate through three different curves. Model results in a set of velocity functions, strongly dependent of contour conditions and, in a less degree, of mass density variations with depth, which we have introduced through a linear function. Surface velocities were also measured *in situ*. We find differences between measured and calculated values, which likely arise from glacier base sliding velocity, a mechanism that we do not consider in this work.

**KEYWORDS:** MASS FLUX - FLUIDS - VISCOELASTICITY - GLACIER

## Introducción

El conjunto de fenómenos asociados a lo que generalmente se denomina calentamiento global de la atmósfera planetaria se ha transformado en uno de los temas centrales de la agenda de las sociedades modernas. Dentro de este escenario se inscribe naturalmente el estudio del retroceso de los glaciares, pues parece inmediato asociar la ablación de masas glaciares al aumento de la temperatura del aire.

Este fenómeno, sin embargo, no es ni sencillo ni es lineal, pues de hecho hay algunos glaciares alrededor del mundo que, al menos en épocas recientes, no han presentado grandes cambios (por ejemplo el glaciar Perito Moreno) y otros incluso, han avanzado, es decir, han mostrado balances de masa positivo (véase el reporte del Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares (WMGS), 2013). Dentro de este panorama, los glaciares de la Península Antártica experimentan un marcado retroceso, al menos desde hace 50 años (Cook et al., 2005; Cook y Vaughan, 2010). Lo que hace particularmente interesantes a los glaciares antárticos es su marcada sensibilidad al cambio climático, de manera tal que, sea como sistemas individuales o como parte del conjunto completo de masas de hielo polares y subpolares, se torna esencial el monitoreo permanente de su evolución.

En consecuencia, se desprende la necesidad de contar con un modelo que enmarque el conjunto de datos obtenidos y su posterior sistematización. Independientemente de las características estructurales y geográficas del glaciar que se estudie, la imprevisibilidad de los cambios climáticos no permitirá que exista un modelo definitivo porque las variaciones en las condiciones climatológicas y atmosféricas habrán de afectar de manera directa el comportamiento dinámico del glaciar, pero no resulta menos cierto que un modelo de la evolución dinámica del glaciar es un indicador de los cambios del entorno, tanto más fiel cuanto más cercano a la realidad que describimos ese modelo esté. En la literatura tradicional se introducen diversas aproximaciones que tienden a simplificar el tratamiento general de la evolución de glaciares (véase por ejemplo Oerlemans, 2001; Cuffey y Paterson, 2010). En este trabajo desarrollamos un modelo de evolución glaciaria suponiendo conocido el perfil del lecho, el que aproximamos matemáticamente

por una función biyectiva de las variables espaciales perpendiculares a la dirección del flujo. A la par, y abandonando la hipótesis de densidad constante, permitimos eventualmente pequeñas variaciones en la densidad de masa del hielo glaciario con la profundidad, que habremos de modelizar como lineales.

En la primera parte del trabajo introduciremos el tratamiento general del problema, arribando a un conjunto de ecuaciones que, en principio y a la luz de las simplificaciones que proponemos, se reducen a una ecuación diferencial para los elementos de la parte deviatorica del tensor de esfuerzos. Sin embargo, como habremos de ver, el tratamiento matemático requiere en general de dos integraciones de las variables dinámicas que dependen de la particular forma funcional que resulte para el esfuerzo en la dirección de avance del glaciar. Por esta razón no cualquier perfil que se proponga es capaz de mantener el problema en un nivel matemático tratable, aunque siempre debe tratarse de una función plausible, consistente con los perfiles de lechos conocidos.

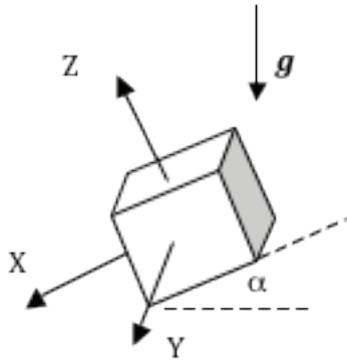
En la segunda parte, habremos de aplicar el modelo desarrollado a uno de los sectores del glaciar Bahía del Diablo (que se localiza en la península Antártica) y dejaremos la sección 4 para el análisis de las implicaciones de esta formulación y la discusión de sus resultados.

## Tratamiento general

Un glaciar fluye por deformación de la estructura cristalina del hielo que lo forma, es decir, se comporta como un fluido viscoso cuyo altísimo coeficiente de viscosidad  $\eta$ , de alrededor de  $10^{13}$  Pa s (esto es, del orden de  $10^{16}$  veces la viscosidad del agua), hace que pueda ser tratado como un fluido de tipo plástico sometido a esfuerzos de tensión y de cizalladura que de alguna manera gobiernan su evolución dinámica. En consecuencia, se trata de fluidos no newtonianos comparativamente lentos, con velocidades de entre 1 - 100 m/año.

Aun cuando un glaciar fluye viscosamente, en el lecho el hielo puede alcanzar el punto de fusión (sea por fricción, por calentamiento geotérmico, combinación de ambos factores o algunos otros que se han propuesto, véase por ejemplo Lliboutry, 1979; Iken, 1981; Fowler,

2010) y en tal caso no sólo derrama sino que además desliza. Esta observación supone la existencia de dos regímenes dinámicos acoplados en la capa límite de fusión que por el momento obviaremos. Por lo demás, es posible que la densidad del hielo sufra ligeras variaciones en profundidad, o que exista alguna región en la que la viscosidad pueda ser razonablemente considerada independiente de las tensiones y los esfuerzos de corte, esto es, que localmente se comporte como un fluido newtoniano (Fontelos; Muñoz y Schiavi, 2007). Nosotros habremos de introducir ligeras variaciones de la densidad con la profundidad del glaciar, variaciones que podrían simular la compresión gravitatoria.



**Fig. 1. Sistema coordenado en el que se describe el modelo**

Para ello, supondremos que el fluido viscoso derrama gravitatoriamente sobre una superficie inclinada, de manera tal que describiremos la evolución cuasiestacionaria del flujo ( $\partial/\partial t = 0$ ) en el sistema de ejes cartesianos XYZ de la figura 1, orientados en la dirección X del flujo. Obsérvese que la dirección del vector aceleración gravitatoria ya no coincide localmente con el eje Z, sino que forma un ángulo  $\alpha$  que es precisamente el ángulo de inclinación del glaciar. Por lo demás, las ecuaciones de evolución dinámica serán en este caso

$$\nabla \cdot (\rho \vec{U}) = 0 \quad (1)$$

$$\rho (\vec{U} \cdot \nabla) \vec{U} = \nabla \underline{\sigma} - \rho \nabla G \quad (2)$$

donde  $\rho$  representa la densidad del fluido,  $\vec{U}=(u,v,w)$  es su velocidad,  $\sigma$  representa el tensor de esfuerzos y  $G$  el potencial gravitatorio. Obsérvese que en el sistema de coordenadas cartesianas

propias que hemos adoptado, las componentes del vector  $\vec{U}$  se refieren a las velocidades en las direcciones  $x, y, z$ , respectivamente.

Como la parte isotrópica del tensor de tensiones no contribuye a la deformación de materiales incompresibles (como usualmente se asume al tratar con el hielo glaciar) definiremos los esfuerzos en términos de la parte deviatorica en la forma

$$\sigma_{ij}^{(D)} = \sigma_{ij} - P \delta_{ij} = \eta \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

donde  $P$  es la presión hidrostática,  $\delta_{ij}$  es la delta de Kronecker,  $[\sigma_{ij}^{(D)}]$  es la parte deviatorica del tensor y  $\eta$  la viscosidad del fluido. Por lo demás (véase, por ejemplo, Cuffey y Paterson, 2010) la expresión (3) puede también escribirse en términos del tensor de la tasa de esfuerzos  $D_{ij}$  como

$$D_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

En lo que sigue supondremos que el flujo avanza uniformemente en la dirección X, sin deformaciones en las direcciones perpendiculares, restricciones que matemáticamente se traducen en las formas

$$v = w = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

Estas restricciones desde ya nos adelantan, a través de la expresión (3), que resultan nulas algunas componentes del tensor de tensiones, a saber

$$\sigma_{yy}^{(D)} = \sigma_{zz}^{(D)} = \sigma_{zy}^{(D)} = \sigma_{xx}^{(D)} = 0 \quad (7)$$

Por lo demás, las componentes no nulas del tensor resultan ser

$$\sigma_{xy}^{(D)} = \eta \frac{\partial u}{\partial y} \quad (8)$$

$$\sigma_{xz}^{(D)} = \eta \frac{\partial u}{\partial z} \quad (9)$$

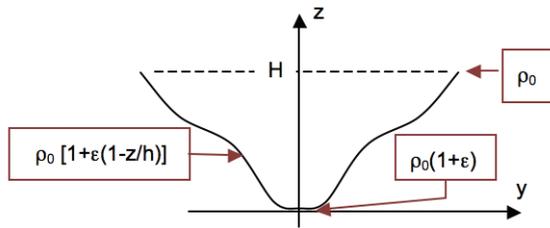
En lo que sigue, habremos de trabajar sobre perfiles del lecho de forma definida, esto es, de ecuación general

$$z = \Phi(y) \quad (10)$$

y pensaremos la densidad de masa perturbada a primer orden en la forma

$$\rho(z) = \rho_0 \left[ 1 + \varepsilon \left( 1 - \frac{z}{H} \right) \right] \quad (11)$$

donde H es la altura del sistema. En la Figura 2 mostramos el esquema general de alturas al que nos referimos, notando que en  $z=0$  está el vértice de la particular curva  $\varphi(y)$  sobre la que trabajamos. Obsérvese que  $z=H$  es el extremo superior (tanto derecho como izquierdo) del sistema, es decir, la altura de los puntos de la superficie del glaciar (considerada plana) en tanto que  $z=0$  representa el punto inferior del sistema en contacto con el lecho.



**Fig.2. Esquema de perfiles de las curvas (perpendiculares al flujo) sobre las que se calculan las velocidades. H es la altura máxima. Se muestran asimismo valores particulares de a distribución de masa en diferentes puntos incluyendo uno intermedio a la altura h/  $0 < h < H$ .**

Obsérvese ahora que la ecuación (1) es idénticamente nula, y aunque es cierto que por la particular estructura del campo de velocidades que hemos adoptado resulta  $\nabla \vec{U} = 0$ , no se implica en este caso que se trate de un fluido de densidad constante (de hecho, recordemos que estamos trabajando en la hipótesis (11)). Por la particular dependencia funcional de la velocidad y la masa es nulo el miembro izquierdo de la expresión (2) que en consecuencia se desarrolla como

$$\frac{\partial \sigma_{xz}^{(D)}}{\partial z} = -\rho(z) g \operatorname{sen} \alpha - \frac{\partial \sigma_{xy}^{(D)}}{\partial y} \quad (12)$$

$$0 = -\frac{\partial P}{\partial z} - \rho(z) g \cos \alpha \quad (13)$$

Notemos ahora que en principio la ecuación (10) puede invertirse y escribirse en la forma

$$y = f(z) \quad (14)$$

de manera tal que resulte

$$\frac{\partial}{\partial y} = \frac{1}{f'_z} \frac{\partial}{\partial z} \equiv F \frac{\partial}{\partial z} \quad (15)$$

$$dy = \frac{\partial y}{\partial z} dz = f'_z dz \quad (16)$$

En términos de la relación (16), resultan las identidades

$$\sigma_{xy}^{(D)} = \eta \frac{\partial u}{\partial y} = \eta F \frac{\partial u}{\partial z} \quad (17)$$

$$\sigma_{xz}^{(D)} = \eta \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{F} \sigma_{xy}^{(D)} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{xy}^{(D)}}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial y} [F \sigma_{xz}^{(D)}] = F \frac{\partial}{\partial z} [F \sigma_{xz}^{(D)}] \\ &= F \left[ F' \sigma_{xz}^{(D)} + F \frac{\partial \sigma_{xz}^{(D)}}{\partial z} \right] \end{aligned} \quad (19)$$

Con las identidades (17)-(19) en mente, la ecuación (12) se escribe como una ecuación para  $\sigma_{xz}^{(D)}$  como función sólo de la profundidad z

$$(1 + F^2) \frac{d\sigma_{xz}^{(D)}}{dz} + [F F'] \sigma_{xz}^{(D)} = -\rho(z) g \operatorname{sen} \alpha \quad (20)$$

de manera tal que en las condiciones y aproximaciones planteadas, en principio es posible resolver la expresión (20) para el esfuerzo  $\sigma_{xz}^{(D)}$  y calcular el perfil de velocidades resultante a partir de la ley general de flujo (Glen, 1952; Nye, 1957)

$$D_{ij} = A(T) \tau^{n-1} \sigma_{ij}^{(D)} \quad (21)$$

donde A(T) es un coeficiente que depende de la temperatura (aunque en sistemas como los glaciares es constante en amplios rangos de temperatura) y  $\tau$  es el segundo invariante del tensor de esfuerzos, definido como

$$\tau^2 = \frac{1}{2} \sigma_{ij}^{(D)} \sigma_{ij}^{(D)} \quad (22)$$

A su vez, n es un factor constante empírico, del orden de 3 (Budd and Jacka, 1989). Teniendo en cuenta que el tensor  $\sigma$  es simétrico y real, es fácil desarrollar la expresión (22) en la forma

$$\tau^2 = \frac{1}{2} \left[ (\sigma_{xx}^{(D)})^2 + (\sigma_{yy}^{(D)})^2 + (\sigma_{zz}^{(D)})^2 + 2 (\sigma_{xy}^{(D)})^2 + 2 (\sigma_{xz}^{(D)})^2 + 2 (\sigma_{yz}^{(D)})^2 \right] \quad (23)$$

Ahora bien, sobre cada superficie  $y=f(z)$  vale la relación (18)

$$\sigma_{xy}^{(D)} = F \sigma_{xz}^{(D)}$$

De esta forma, el invariante (22), teniendo en cuenta las relaciones (18) y (23), se escribe como

$$\tau = \sqrt{(\sigma_{xy}^{(D)})^2 + (\sigma_{xz}^{(D)})^2} = \sqrt{1 + F^2} |\sigma_{xz}^{(D)}| \quad (24)$$

Con esta expresión para el invariante  $\tau$  podemos regresar a la ecuación (21) y escribir su forma completa en el caso que estamos tratando

$$D_{ij} = A(T) (1 + F^2)^{\frac{n-1}{2}} (\sigma_{xz}^{(D)})^n \quad (25)$$

y de esta manera calcular la velocidad  $u(z, \varepsilon)$  del flujo (recordemos que es la única que tomamos en cuenta) a partir de la expresión (4) como

$$\frac{du}{dz} = 2A(T)(1 + F^2)^{\frac{n-1}{2}} (\sigma_{xz}^{(D)})^n \quad (26)$$

Debe notarse que adoptar el valor  $n=1$  resulta en el tratamiento formal de un fluido newtoniano, de manera tal que de ninguna manera sería consistente con las ecuaciones (17) y (18), que adelantan que la viscosidad es función de los esfuerzos de corte. En consecuencia, en lo que sigue habremos de tratar el caso  $n=3$ .

### Aplicación al glaciar Bahía del Diablo

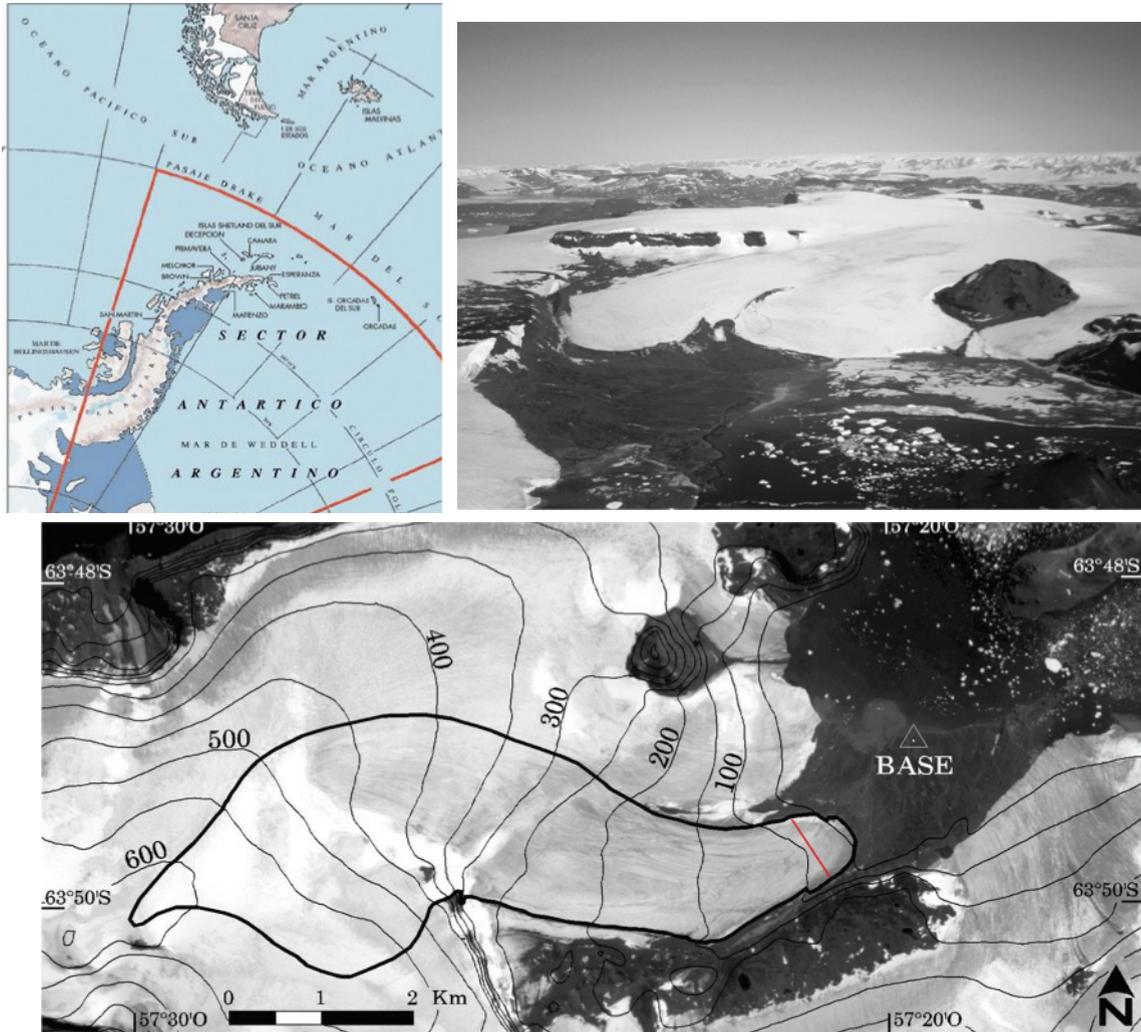
Algunos pocos glaciares de la isla Vega, en el noreste de la península antártica ( $63^\circ 49' S$ ;  $57^\circ 20' O$ ), al oeste de la Base Marambio, ofrecen la particularidad de que terminan en tierra, no son muy extensos en superficie (por lo que el balance de masa de estos glaciares es plausible dentro de las posibilidades logísticas disponibles durante las Campañas Antárticas Argentinas) y, por su naturaleza (no son glaciares de

desprendimiento) las variaciones de su balance de masa pueden asociarse directamente con el cambio climático.

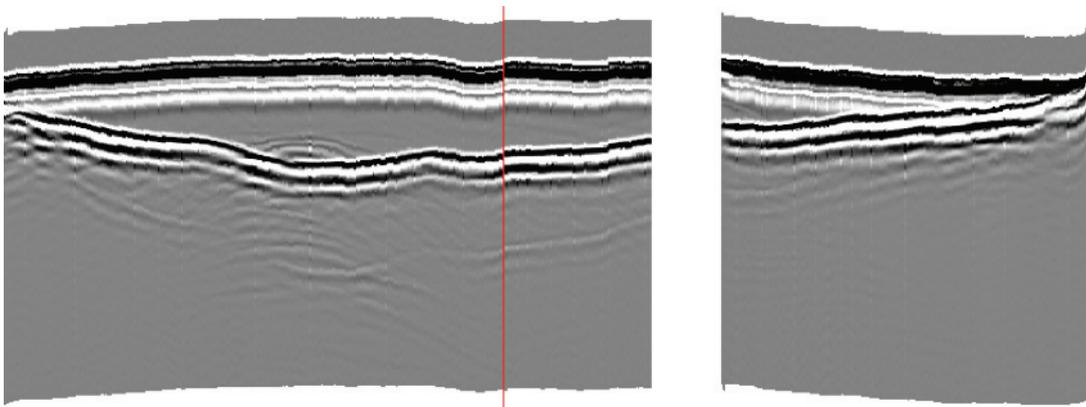
El glaciar Bahía del Diablo (GBD), que mostramos en la Figura 3, cuya superficie es de aproximadamente  $14 \text{ km}^2$ , es uno de los glaciares de la isla Vega, con la particularidad de que actualmente es el único glaciar de Antártida que aporta datos detallados al Servicio de Monitoreo Mundial de Glaciares (World Glacier Monitoring Service-WGMS), auspiciado por la UNESCO, que recopila los datos de balance de masa de una amplia diversidad de glaciares ubicados en distintos puntos de la Tierra, lo que permite evaluar el impacto del cambio climático en todo el planeta. La importancia de este tipo de resultados es tal que el WGMS de la Comisión Internacional de Nieve y Hielo (ICSI/IAHS) recolecta y publica datos estandarizados de glaciares como aporte al Global Climate/Terrestrial Observing System (GCOS/GTOS), establecido por la Organización Meteorológica Mundial (WMO), el Programa Medioambiente de Naciones Unidas (UNEP) y el ICSU y al Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la UNESCO.

A lo largo de la línea que se muestra en la imagen satelital del GBD (parte inferior de la Figura 3) uno de nosotros (S. Marinsek) tomó imágenes de radar del lecho de la lengua del GBD durante la última campaña de verano del Instituto Antártico Argentino (Febrero - Marzo 2013). El radargrama se muestra en la Figura 4 y la Figura 5 resulta del tratamiento de esas imágenes y su traducción en profundidades y espesores. Obsérvese la línea vertical en rojo en el radargrama de la Figura 4: representa la localización de una baliza nivométrica por medio de la cual se ha medido el desplazamiento anual (la velocidad en superficie) y donde la profundidad corresponde a 73m.

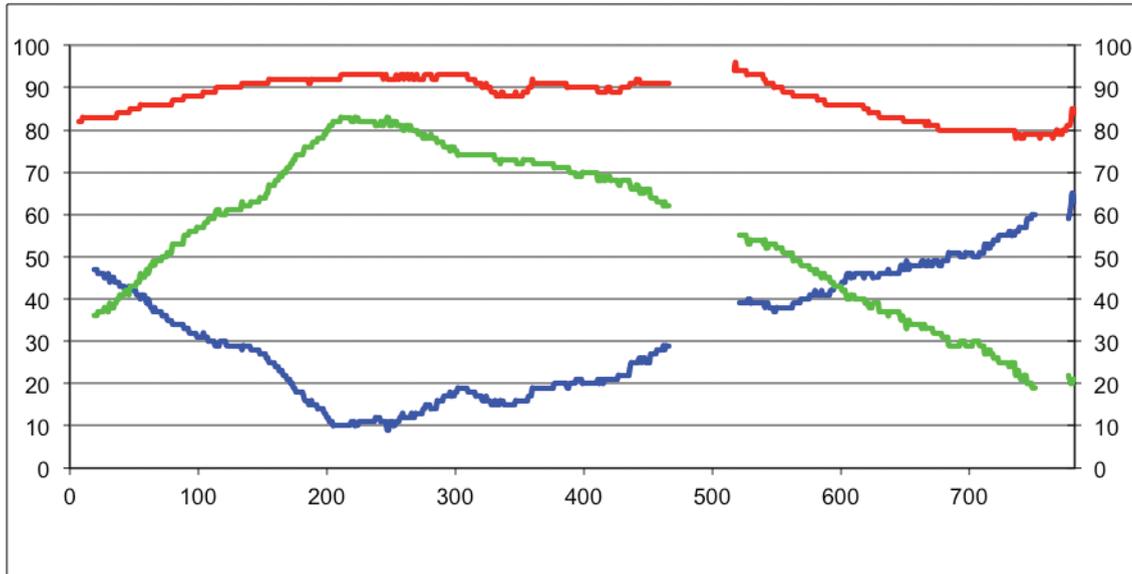
La primera observación casi evidente es que el perfil del lecho no es simétrico. Por ahora focalizaremos nuestra atención sobre la parte derecha del mismo. Aun cuando el perfil del fondo podría fijarse a través de un programa de ajuste de puntos, para ilustrar el método general de análisis que desarrollamos proponemos diversas curvas para poder analizar el efecto de la curvatura sobre las soluciones (obsérvese que incluso podría ajustarse una recta). Por la natural extensión del desarrollo, en este artículo sólo estudiaremos un perfil parabólico.



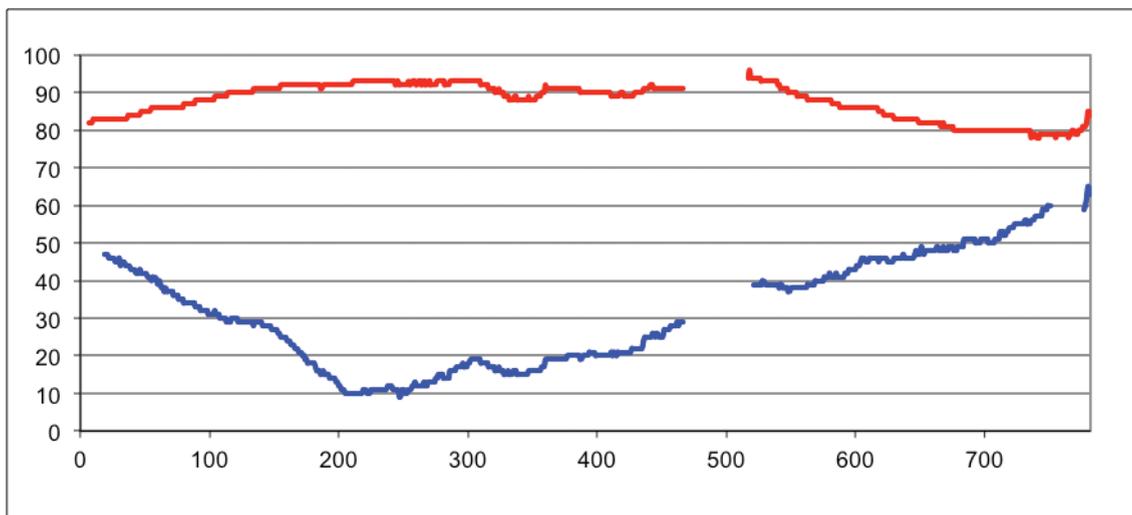
**Fig. 3.** En la parte superior izquierda se muestra la localización de la isla Vega y de la base Marambio, en el sector antártico argentino. A la derecha se muestra una imagen del GBD tomada por Marinsek desde uno de los bordes del glaciar el 13 de Marzo de 2013. El perfil del GBD se recorta en la figura inferior. Como referencia, la roca sobreelevada respecto al glaciar (nunatak Smit) se encuentra corriente arriba de la línea roja que se muestra en la parte inferior. Esta línea marca el camino que se siguió para la confección del radargrama de la Figura 4.



**Fig. 4.** Perfil de datos de radar tomados en la sección transversal de la lengua del GBD. Se pueden observar las reflexiones del lecho del glaciar. La línea roja indica la posición en la superficie de una baliza nivométrica. El sector en blanco se debe a una falla en el radar mientras se realizó la medición.



**Fig. 5. Esquema de perfiles de superficie y fondo en la región estudiada del GBD. La curva intermedia corresponde a las profundidades en cada punto.**



**Fig. 6. Ajuste de una parábola al perfil del fondo del GBD en la región estudiada. Obsérvese que el perfil propuesto (con  $a^2=1,87 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$ ) ajusta aceptablemente en las partes baja y superior de la curva, en tanto que tiende a subvalorar en la región media.**

### Perfil parabólico

En la Figura 6 mostramos el ajuste del perfil con una curva de la forma  $z=a^2y^2$ , para  $a^2=1,87 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$ .

$$\frac{\partial}{\partial y} = 2az^{1/2} \frac{\partial}{\partial z} \quad (28)$$

En este caso, las ecuaciones (14) – (19), con  $z=a^2y^2$ , se escriben como:

$$y = \frac{1}{a} z^{1/2} \quad (27)$$

$$\sigma_{xy}^{(D)} = \eta \frac{\partial u}{\partial y} = 2\eta az^{1/2} \frac{\partial u}{\partial z} \quad (29)$$

$$\sigma_{xz}^{(D)} = \eta \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{2az^{1/2}} \sigma_{xy}^{(D)} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{xy}^{(D)}}{\partial y} &= 2az^{1/2} \frac{\partial}{\partial z} \left[ 2az^{1/2} \sigma_{xz}^{(D)} \right] = \\ &= 2a^2 \sigma_{xz}^{(D)} + 4a^2 z \frac{\partial \sigma_{xz}^{(D)}}{\partial z} \end{aligned} \quad (31)$$

Reemplacemos ahora la expresión (31) en la ecuación (20) para obtener:

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma_{xz}^{(D)}}{dz} (1 + 4a^2 z) + 2a^2 \sigma_{xz}^{(D)} = \\ - \rho(z) g \operatorname{sen} \alpha \end{aligned} \quad (32)$$

donde hemos escrito ahora derivadas totales en lugar de parciales porque z es la única variable espacial que sobrevive. La solución de la ecuación (32) para  $\rho(z)$  definida en la expresión (11) es inmediata y resulta en la forma:

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma_{xz}^{(D)}}{dz} (1 + 4a^2 z) + 2a^2 \sigma_{xz}^{(D)} = \\ - \rho(z) g \operatorname{sen} \alpha \end{aligned} \quad (33)$$

donde C es una constante a determinar, que evaluaremos de inmediato a partir del hecho de que en la superficie del sistema ( $z=H$ ) el esfuerzo se reduce a la componente de la presión atmosférica a lo largo del eje x, esto es,

$$\begin{aligned} \sigma_{xz}^{(D)}(z) &= \frac{C}{(1 + 4a^2 z)^{1/2}} - \\ 2 \frac{\rho_0 g \operatorname{sen} \alpha}{4a^2} \left[ 1 + \varepsilon \left( 1 - \frac{z}{3H} + \frac{2}{12a^2 H} \right) \right] \end{aligned} \quad (34)$$

donde hemos definido:

$$\begin{aligned} \sigma_{xz}^{(D)}(z=H) &= P_0 \operatorname{sen} \alpha = \\ \frac{C}{(1 + 4a^2 H)^{1/2}} - \\ 2 \frac{\rho_0 g \operatorname{sen} \alpha}{4a^2} \left[ 1 + \varepsilon \left( \gamma - \frac{1}{3} \right) \right] \end{aligned} \quad (35)$$

de manera tal que resulta:

$$\gamma = 1 + \frac{2}{12a^2 H} \quad (36)$$

Si por comodidad definimos ahora las cantidades:

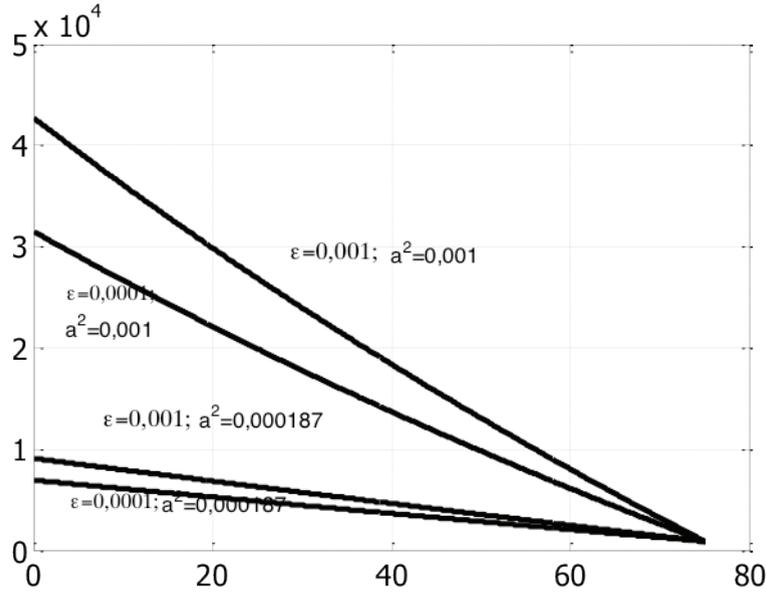
$$\begin{aligned} C &= \left( P_0 + 2 \frac{\rho_0 g}{4a^2} \left( 1 + \right. \right. \\ &\cdot \left. \left. \varepsilon \left( \gamma - \frac{1}{3} \right) \right) \right) \operatorname{sen} \alpha (1 + 4a^2 H)^{1/2} \end{aligned} \quad (37)$$

$$Q = 2 \frac{\rho_0 g}{4a^2} \quad (38)$$

la ecuación (33) se escribe como:

$$\begin{aligned} K &= \left[ P_0 + Q \left( 1 + \varepsilon \left( \gamma - \frac{1}{3} \right) \right) \right] \\ &(1 + 4a^2 H)^{1/2} \end{aligned} \quad (39)$$

En la Figura 7 mostramos el perfil de esfuerzos para diferentes valores de los parámetros de curvatura ( $a^2$ ) y de perturbación de densidad ( $\varepsilon$ ). Parece inmediato que los esfuerzos aumentan con el aumento de la curvatura y con el incremento de la densidad. La razón es como sigue: pensemos el sistema como un conjunto de capas (de hielo) superpuestas, como si se tratara de las hojas de una resma de papel. La deformación de las capas de hielo induce esfuerzos de corte en las superficies de contacto entre capas, de manera tal que el esfuerzo de corte aumenta con el aumento de masa porque debe sostener más hielo en equilibrio (porque sobre cada columna de hielo actúa la fuerza gravitatoria), aunque las diferencias son mínimas para los valores de  $\varepsilon$  que manejamos (la curva para  $\varepsilon=0$  y  $a^2=0,000187$  prácticamente se superpone con la inferior). Algo similar ocurre con el parámetro de curvatura, pues a idéntica anchura parece evidente que hay más masa para sostener en equilibrio cuanto más alto es el sistema. Obsérvese que en todos los casos el esfuerzo es definido positivo y monótono decreciente.



**Fig. 7. Esfuerzo de corte  $\sigma$  en función de la profundidad, para diferentes valores del parámetro de curvatura y de la perturbación de masa. En todos los casos se ha tomado  $H=75\text{m}$ ,  $P_0=1000\text{ hPa}$  y una inclinación  $\alpha$  de aproximadamente  $5^\circ$ .**

Es necesario notar que, dentro de los límites que impone el modelo, existe una relación definida entre la curvatura y la profundidad máxima admisible (o, si se prefiere, la altura máxima del glaciar). Ese límite, naturalmente, se impone exigiendo que los esfuerzos de cizalladura sean positivos. En este caso particular, teniendo en cuenta la expresión (39) podemos establecer esa relación como:

$$\sigma_{xz}^{(D)}(z) = \left[ \frac{K}{(1 + 4a^2z)^{1/2}} - Q \left[ 1 + \varepsilon \left( \gamma - \frac{z}{3H} \right) \right] \right] \text{sen } \alpha \quad (41)$$

Resulta casi evidente que los diferentes valores de curvatura que proponemos, con  $H=75\text{m}$ , mantienen el modelo dentro de los límites aceptables (algo que ya sabíamos porque los esfuerzos de corte de la Figura 7 son definidos positivos).

Ahora bien, a partir de la expresión (25) podemos evaluar la velocidad del sistema teniendo en cuenta la forma que adopta el invariante  $\tau$

$$\begin{aligned} \tau &= \sqrt{(\sigma_{xy}^{(D)})^2 + (\sigma_{xz}^{(D)})^2} = \\ &= \sqrt{1 + 4a^2z} \left| \sigma_{xz}^{(D)} \right| \end{aligned} \quad (42)$$

Con esta expresión para el invariante  $\tau$  podemos regresar a la ecuación (25) y escribir su forma completa en el caso que estamos tratando:

$$D_{ij} = A(T) (1 + 4a^2z)^{\frac{n-1}{2}} (\sigma_{xz}^{(D)})^n \quad (43)$$

La velocidad de flujo a partir de la expresión (4) resulta en consecuencia:

$$\frac{du}{dz} = 2A(T)(1 + 4a^2z)^{\frac{n-1}{2}} (\sigma_{xz}^{(D)})^n \quad (44)$$

Integremos la ecuación (44) para  $n=3$ . Parece inmediato que se trata de resolver la ecuación

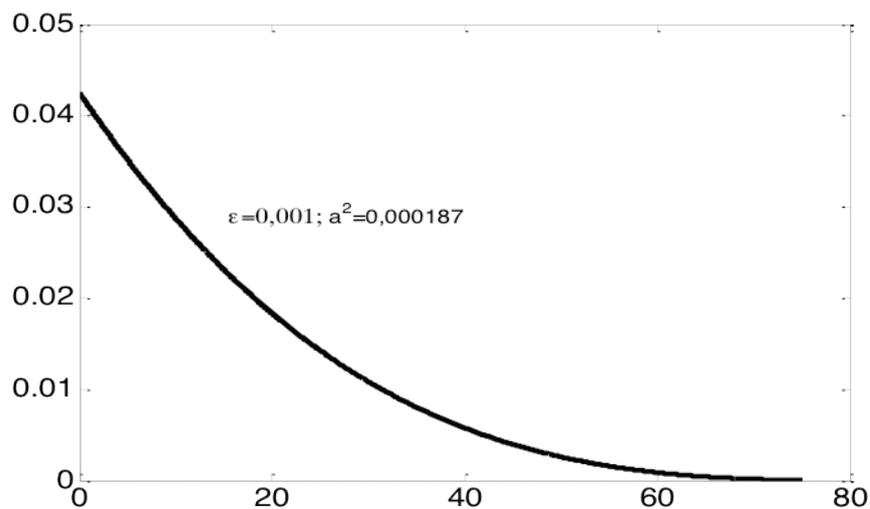
$$\begin{aligned} \frac{du}{dz} &= 2A(T)(1 + 4a^2z) \operatorname{sen}^3 \alpha \left[ \frac{K}{(1 + 4a^2z)^{1/2}} - Q \left( 1 + \varepsilon \left( \gamma - \frac{z}{3H} \right) \right) \right]^3 \equiv \\ &\equiv 2A(T) (1 + 4a^2z) \operatorname{sen}^3 \alpha \left[ \frac{K^3}{(1 + 4a^2z)^{3/2}} - \frac{3K^2Q \left( 1 + \varepsilon \left( \gamma - \frac{z}{3H} \right) \right)}{(1 + 4a^2z)} \right. \\ &\left. \frac{3KQ^2 \left( 1 + \varepsilon \left( \gamma - \frac{z}{3H} \right) \right)^2}{(1 + 4a^2z)^{1/2}} - Q^3 \left( 1 + \varepsilon \left( \gamma - \frac{z}{3H} \right) \right)^3 \right] \end{aligned} \quad (45)$$

$$\begin{aligned} \frac{du_0}{dz} &= 2A(T)(1 + 4a^2z) \operatorname{sen}^3 \alpha \left[ \frac{K}{(1 + 4a^2z)^{1/2}} - Q \right]^3 \equiv \\ &\equiv 2A(T) \operatorname{sen}^3 \alpha \left[ \frac{K^3}{(1 + 4a^2z)^{3/2}} - 3K^2Q + 3KQ^2(1 + 4a^2z)^{1/2} - Q^3(1 + 4a^2z) \right] \end{aligned} \quad (46)$$

En la Figura 8 mostramos las curvas de la derivada de la velocidad para  $a^2=0,000187\text{m}^{-1}$   $\varepsilon=0,001$ , que adelanta la forma del perfil de velocidad  $u_x(z)$  del glaciar; obsérvese que se trata de derivadas positivas y decrecientes, y

en términos del perfil de lecho adoptado, la velocidad crece mucho más rápidamente en los primeros cuarenta o cincuenta metros que en la región más superficial del glaciar.

### Soluciones con $\varepsilon=0$



**Fig. 8. Perfiles de la derivada de velocidad de avance del sistema en función de la profundidad. Las curvas corresponden a un parámetro de curvatura  $a^2=0,000187\text{m}^{-1}$  con una perturbación  $\varepsilon=0,001$ .**

La parte no perturbada de la ecuación (45), llamémosla  $u_0$ , es de la forma y su solución es inmediata

$$u_0(z) = \frac{2A(T)}{4a^2} \text{sen}^3 \alpha \left[ 2K^3 (1 + 4a^2 z)^{\frac{1}{2}} - 3K^2 Q 4a^2 z + \right. \\ \left. + 2KQ^2 (1 + 4a^2 z)^{3/2} - \frac{Q^3}{2} (1 + 4a^2 z)^2 \right] + u_p \quad (47)$$

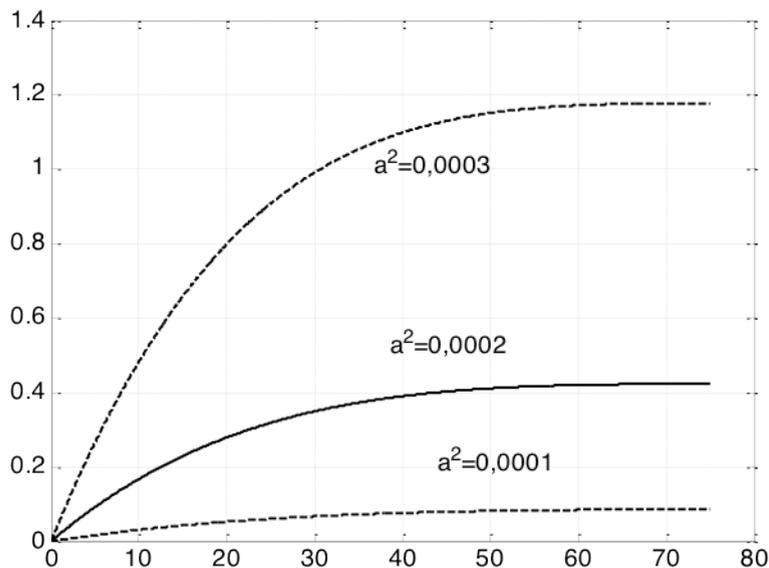
donde  $u_p$  es una constante de integración. Su valor puede calcularse fijando la velocidad del sistema en la base (el lecho del glaciar,  $z=0$ ) como  $u_b$ . La razón por la que se incluye esta última constante (no nula) es porque en general en los glaciares deben distinguirse dos tipos de movimiento: uno debido a la deformación interna (relacionado con el desplazamiento relativo entre cristales de hielo y que consideramos a través del tensor de esfuerzos) y otro debido al deslizamiento del glaciar sobre el lecho (sliding). Este último término es precisamente  $u_b$ . Claramente será:

$$u_0(z=0) \equiv u_b = \frac{2A(T)}{4a^2} \text{sen}^3 \alpha \left[ 2K^3 + 2KQ^2 - \frac{Q^3}{2} \right] + u_p \quad (48)$$

de manera tal que resulta

$$u_0(z) = \frac{2A(T)}{4a^2} \text{sen}^3 \alpha \left\{ 2K^3 \left[ (1 + 4a^2 z)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] - 3K^2 Q 4a^2 z \right. \\ \left. + 2KQ^2 \left[ (1 + 4a^2 z)^{\frac{3}{2}} - 1 \right] - \frac{Q^3}{2} \left[ (1 + 4a^2 z)^2 - 1 \right] \right\} + u_b \quad (49)$$

En la Figura 9 mostramos las curvas correspondientes para diferentes valores del parámetro de curvatura. Obsérvese que la velocidad en la superficie crece con la disminución del parámetro de curvatura.



**Fig. 9. Perfiles de velocidad en función de la profundidad para diferentes valores de curvatura. La curva intermedia (de trazo continuo) es la que corresponde al a los parámetros del GBD.**

## Soluciones con $\varepsilon \neq 0$

Para resolver la parte perturbada, notemos que para  $H=75\text{m}$  y  $a^2 \sim 10^{-4}\text{m}^{-1}$ ,  $\gamma$  es del orden de 12, y como  $z/3H \leq 1/3$  podemos estimar que el paréntesis que multiplica a  $\varepsilon$  es del orden de 2. Luego, para  $\varepsilon \ll 1$  podemos desarrollar Taylor a primer orden los paréntesis que están multiplicados por  $\varepsilon$  en la ecuación (48)

$$(1 + p\varepsilon)^\chi \approx 1 + \chi p\varepsilon \quad (50)$$

Luego, es casi inmediato que a primer orden resultará:

$$u(z) = u_0 + 2A(T) \operatorname{sen}^3 \alpha \int \varepsilon \left( \gamma - \frac{z}{3H} \right) [-3K^2Q + 6KQ^2(1 + 4a^2z)^{1/2} - 3Q^3(1 + 4a^2z)] dz \quad (51)$$

esto es

$$u(z) = u_0 + 2A(T) \operatorname{sen}^3 \alpha \varepsilon \left\{ -3K^2Qz \left( \gamma - \frac{z}{6H} \right) + 6KQ^2(1 + 4a^2z)^{\frac{3}{2}} \left( \frac{2\gamma}{12a^2} - \frac{2(12a^2z - 2)}{720Ha^4} \right) - 3Q^3 \left( \frac{\gamma}{8a^2} (1 + 4a^2z)^2 - z^2 \left( \frac{1}{6H} + \frac{4a^2z}{9H} \right) \right) \right\} + u'_p \quad (52)$$

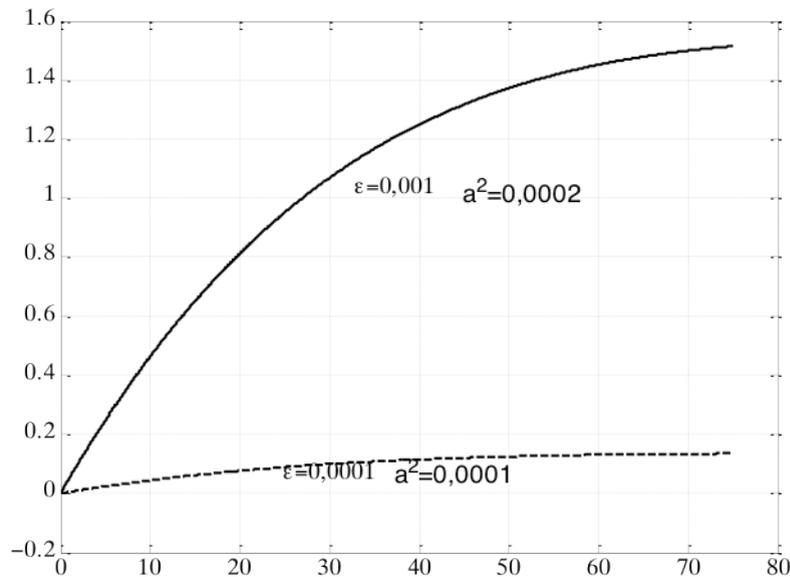
$$u(z=0) = u_0(0) + 2A(T) \operatorname{sen}^3 \alpha \varepsilon \left\{ 6KQ^2 \left( \frac{2\gamma}{12a^2} + \frac{4}{720Ha^4} \right) - 3Q^3 \frac{\gamma}{8a^2} \right\} \quad (53)$$

escribimos la solución completa en la forma:

$$u(z) = u_0(z) + 2A(T) \operatorname{sen}^3 \alpha \varepsilon \left\{ -3K^2Qz \left( \gamma - \frac{z}{6H} \right) + 6KQ^2 \left[ (1 + 4a^2z)^{\frac{3}{2}} \left( \frac{2\gamma}{12a^2} - \frac{2(12a^2z - 2)}{720Ha^4} \right) - \left( \frac{2\gamma}{12a^2} + \frac{4}{720Ha^4} \right) \right] - 3Q^3 \left( \frac{\gamma}{8a^2} [(1 + 4a^2z)^2 - 1] - z^2 \left( \frac{1}{6H} + \frac{4a^2z}{9H} \right) \right) \right\} \quad (54)$$

donde  $u_0(z)$  está dada por la ecuación (49). En la Figura 10 mostramos los perfiles de velocidad que resultan para dos pares diferentes de curvatura y de perturbación de masa.

En ambos casos la velocidad obtenida está por debajo de la velocidad medida en la baliza nivométrica (por encima de los 2m/año). La diferencia podría deberse a la existencia de un régimen diferencial en la capa límite de contacto entre el hielo y el lecho, que podría dar origen a mecanismos de deslizamiento basal.



**Fig. 10. Perfiles de velocidad para diferentes valores del parámetro de curvatura y diferentes valores de perturbación de masa.**

### Análisis y conclusiones

En este artículo hemos estudiado el avance de un glaciar, que fluye por efecto de su deformación y debido a los esfuerzos derivados de su propio peso. El principio de análisis es en sí estándar, pero la diferencia radica en que en este caso conocemos el perfil del lecho porque ha sido registrado *in situ*. Ni falta hace mencionarlo, no todo glaciar cuenta con esta posibilidad, y todavía más, ni siquiera todo glaciar razonablemente accesible puede ser sensado por medio de radar. En principio, conocidas las funciones que ajustan el perfil del lecho sería siempre posible construir su perfil de velocidades. Sin embargo, debemos tener en cuenta que la falta de simetría en el perfil matemático del lecho hace que exista una asimetría en los esfuerzos. Para decirlo en términos concretos, los esfuerzos a derecha e izquierda del punto  $y=200\text{m}$  (que hemos tomado como cero del sistema) posiblemente no sean los mismos, lo que conlleva la necesidad de introducir una condición de contorno más a la hora de completar los cálculos, pues si llamamos  $\sigma_{xz,IZQ}$  y  $\sigma_{xz,DER}$  a los esfuerzos de corte a izquierda y a derecha de  $y=0$ , respectivamente, parece evidente que debemos acoplar ecuaciones reclamando que esos valores sean iguales.

Hemos introducido un parámetro de perturbación de masa en profundidad, porque parece razonable suponer que la densidad del hielo

se modifique por efectos de la presión a que lo somete su propio peso. La función que introducimos es lineal con la profundidad. Salvo la simplificación que se logra con esta forma, no tenemos evidencia empírica que permita asegurar que la elección es correcta. Sin embargo, representa un paso más allá del tratamiento usual, que considera densidad de masa constante en toda la profundidad del glaciar, y por lo demás, en vista de los valores relativamente pequeños que permitimos al parámetro de perturbación  $\varepsilon$ , siempre sería posible desarrollar la función a primer orden.

Si bien en este artículo sólo hemos tratado con detalle el perfil parabólico, debemos apresurarnos a decir que no es ni el único ni, posiblemente, el que mejor ajusta. De hecho, dejamos para un próximo artículo (continuación de este) el análisis de un perfil que va como  $y^{3/2}$  en lugar de  $y^2$ . Pero hemos optado por ajustar el perfil del lecho por curvas en algún sentido sencillas porque fijar la curva del perfil por medio de algún programa de ajuste posiblemente nos haría perder de vista buena parte del análisis que realizamos. En particular, la dependencia de la velocidad con la curvatura. Parece evidente que la velocidad del conjunto se incrementa con la curvatura, y de hecho esta propiedad se observa en la Figura 9. La explicación es que la deformación de las capas de hielo requiere de esfuerzos de corte en las superficies de contacto entre capas, de ma-

nera tal que mantener más hielo en equilibrio (debido a que trabajamos con ancho glaciario fijo) requiere de mayor esfuerzo. Sin embargo, el esfuerzo de corte no se ve afectado de manera marcada por la variación en la densidad de masa.

Hemos obtenido soluciones de velocidad a menos de una constante aditiva que hemos asociado a la velocidad de la base del glaciar. Como quedó dicho, diferentes mecanismos podrían provocar la fusión del hielo en contacto con el lecho y provocar deslizamiento. A partir de las diferencias entre los valores de

velocidad medidos en la superficie y los que brinda el modelo podría estimarse la velocidad por deslizamiento. Dicho de otro modo, si se conocen en detalle todos los parámetros que intervienen en las ecuaciones de flujo y se fija la curva del perfil de manera segura, es posible utilizar estos modelos para medir la velocidad de la base.

Nuevos y mayores esfuerzos serán necesarios para tratar las partes que aquí no hemos discutido y, por otro lado, introducir nuevos métodos de análisis.

## Referencias

- COOK, A. J.; FOX, D. G.; VAUGHAN and J. G. FERRIGNO. (2005) *Science*, 308, 541.
- COOK, A. J. and VAUGHAN, D.J. (2010) *The Cryosphere*, 4, 77.
- CUFFEY, K. and PATERSON, W. (2010) "The Physics of Glaciers" (Elsevier: Amsterdam)
- FONTELOS, M.; MUÑOZ, A. y SCHIAVI, E. (2007) *Anales del XX Congreso de Ecuaciones Diferenciales y Aplicaciones y X Congreso de Matemática Aplicada, Sevilla (España)*, 1.
- FOWLER, A. (2010) *Journal of Glaciology*, 56, 965.
- HOOKE, R. (2005) "Principles of glacier mechanics" (Cambridge University Press: Cambridge)
- IKEN, A. (1981) *Journal of Glaciology*, 27, 407.
- LLIBOUTRY, L. (1979) *Journal of Glaciology*, 23, 67.
- OERLEMANS, J. (2001) "Glaciers and climate change" (Taylor & Francis: London)
- World Glacier Monitoring Se

# Estudio de la transferencia de agua durante la deshidratación osmótica de zanahoria

**Patricia A. Della Rocca<sup>1</sup>, Luis Alberto Roche<sup>1,2</sup>, Rodolfo H. Mascheroni<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Química, grupo IDETQA, Medrano 951, (C1179 AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup> CIDCA, Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología, (CONICET La Plata y Universidad de La Plata), Calle 47 y 116, (B1900 AJJ) La Plata, Pcia. de Buenos Aires, Argentina

<sup>3</sup> Universidad de La Plata, Facultad de Ingeniería, Modelado y Diseño de Ingeniería de Alimentos (MODIAL) - Unidad de Investigación y Desarrollo (UID)

*patriciadellarocca@hotmail.com*

*Recibido el 02 de agosto de 2013, aprobado el 23 de agosto de 2013*

## Resumen

Se estudió la cinética de deshidratación y la ganancia de sólidos de cubos de zanahoria en solución de sacarosa y sal a una temperatura de 40 °C. Se aplicaron modelos empíricos para describir el proceso de transferencia de agua desde el alimento hacia la solución como los de Azuara, Page y uno teórico, basado en la segunda ley de difusión de Fick, el modelo de Crank. Todos ajustaron los datos experimentales de manera satisfactoria, siendo los dos primeros los que presentaron un mejor ajuste. Se estimó el coeficiente de difusión efectiva del agua y el valor obtenido fue de aproximadamente  $1,5 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ , similar a los hallados en la literatura en condiciones análogas.

**PALABRAS CLAVE:** MODELADO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA - DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA - DESHIDRATACIÓN DE ZANAHORIAS

## Abstract

The osmotic dehydration kinetic and the solid uptake of carrots cubes in a sucrose-salt solution at a temperature of 40 °C were studied. Empiric models were applied to describe the process of water transfer from the product to the solution. All the models: Azuara, Page and Crank adjust the experimental data in a satisfactory way, being the two first models which adjust better. The water diffusion effective coefficient was estimated and the value obtained was  $1,5 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ , similar to that found in the literature in analogous conditions

**KEYWORDS:** OSMOTIC DEHYDRATION MODEL - OSMOTIC DEHYDRATION - CARROTS DEHYDRATION

## Introducción

La deshidratación osmótica (DO) consiste en la inmersión de un alimento sólido entero o en piezas en soluciones acuosas de alta concentración de solutos a un tiempo y temperaturas específicas. Las membranas de los alimentos son semipermeables, entonces, podemos considerar que dos flujos principales a contracorriente se generan: el flujo de agua desde el interior del alimento hacia la solución para intentar equilibrar el potencial químico del agua a ambos lados de la membrana y el flujo de solutos de la solución al alimento. En el modelado, se puede suponer sólo estos dos flujos y considerar despreciable a los efectos de la transferencia de masa relacionado con el flujo de solutos (azúcares, sales minerales, ácidos orgánicos y vitaminas) que son arrastrados desde el alimento a la solución por el agua. Aunque este egreso de solutos desde el alimento puede tener alguna importancia a nivel nutricional u organoléptico.

La solución osmótica debe contener solutos que generen una diferencia de presión osmótica entre el producto a deshidratar y la solución. Entre los solutos más usados por su disponibilidad y por su bajo costo se encuentran la sacarosa y el cloruro de sodio, cuya mezcla presenta un efecto sinérgico. La eficacia de los solutos como agente deshidratantes está en relación con su efecto depresor de la actividad del agua, siendo más eficaces cuando presentan mayores interacciones con el agua y su fracción molar en la solución se incrementa.

Las principales variables que afectan la transferencia de masa son las propias del producto como la composición, el tamaño, la forma, pretratamientos previos y de la solución osmótica como la temperatura, la concentración, la naturaleza del agente osmótico, presión de trabajo, relación de solución-producto, nivel de agitación, presión de trabajo y el tiempo de deshidratación.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la transferencia de agua durante la deshidratación osmótica de zanahoria y modelar el fenómeno con algunos modelos como los de Azuara y Page y Crank. La no homogeneidad de las estructuras de los productos naturales genera resistencias complejas al proceso de transferencia de masa (Genina Soto, 2005).

En la DO se presentan varios fenómenos físicos

simultáneos: ósmosis, difusión y capilaridad. La capilaridad adquiere importancia cuando en el sistema se producen cambios importantes de presión o temperatura que dan origen al mecanismo hidrodinámico (Fito, 1994; Fito y Pastor, 1994)

El fenómeno osmótico se produce durante la transferencia de agua a través de la membrana celular semipermeable de la hortaliza hacia la solución osmótica manifestándose en transferencia célula-célula, transferencia célula-espacios intercelulares y transferencia celular-disolución (superficial).

La fuerza impulsora responsable del fenómeno osmótico que provoca la transferencia de agua viene dada por la diferencia de potencial químico del agua en las células y en la disolución osmótica. El potencial químico está relacionado con la actividad del agua y con la presión osmótica de cada una de las fases líquidas, en el interior del alimento y en la disolución (ecuaciones 1 y 2) (Chirife, 1982)

$$\mu_w = \mu_w^0 + RT \ln a_w \quad (1)$$

$$\pi = \frac{-RT \ln a_w}{\bar{V}} \quad (2)$$

$\mu_w^0$  = potencial químico del estado de referencia

R = constante de los gases

T = temperatura

$\bar{V}$  = volumen molar del agua pura

$\pi$  = presión osmótica

La fuerza impulsora para los diferentes componentes en el sistema son las diferencias de potencial químico de los mismos en los distintos puntos del sistema. Cuando estas diferencias desaparecen el sistema alcanza el equilibrio y no hay transferencia de materia.

El agua es el componente que difunde mayoritariamente durante el proceso de deshidratación osmótica debido a que su pequeño tamaño molecular y la alta permeabilidad que presentan a ella las membranas celulares.

La velocidad de transferencia de masa varía

durante el proceso de deshidratación osmótica. Al principio, presenta un valor máximo y luego disminuye hasta anularse en el equilibrio, donde la tasa neta de transporte de masa tiende a cero. Con el modelo de Crank se puede estimar el coeficiente de difusividad efectiva del agua y del soluto, pero las suposiciones que implica el modelo no son siempre fáciles de lograr en la práctica, lo que genera importantes limitaciones del modelo (Parjoko et al., 1996).

### Modelo de Azuara

Este modelo fue desarrollado por Azuara y col., (1992) y se basa en el balance de agua en el alimento. Consiste en una ecuación de dos parámetros que puede predecir la cinética de la deshidratación osmótica y el punto final de equilibrio. El mismo se puede estimar utilizando datos obtenidos durante un período relativamente corto de tiempo. Además su aplicación a los datos experimentales no requiere de las dimensiones, la forma, ni la estructura del alimento. Sin embargo, como todo modelo empírico su principal inconveniente es que su validez se limita a las condiciones experimentales para las que se obtuvieron los parámetros.

El balance de masa en el movimiento de agua dentro del alimento es:

$$PA = PA_{\infty} - FA \quad (3)$$

Donde PA es la fracción de agua perdida por el alimento al tiempo t,  $PA_{\infty}$  es la fracción de agua perdida por el alimento en el equilibrio (es decir para  $t \rightarrow \infty$ ) y FA es la fracción de agua capaz de difundir hacia el exterior del alimento pero que todavía permanece en el alimento al tiempo t. En esta ecuación  $PA_{\infty}$  tiene un valor constante para determinadas condiciones de temperatura y concentración inicial. Por otra parte, PA y FA dependen de la velocidad de pérdida de agua y del tiempo. Sin embargo, PA aumenta a medida que estas últimas variables se incrementan, mientras que la FA es una función decreciente de ellas. Esto motivó a Azuara y col. a postular una relación entre PA y FA de la forma

$$FA = PA/k \quad (4)$$

Donde k es un parámetro que es función del tiempo y de la velocidad de pérdida de agua, simultáneamente.

Asimismo, la velocidad de pérdida de agua es función del tiempo, temperatura y concentración inicial de la solución osmótica. Debido a que la mayoría de los experimentos de deshidratación osmótica se llevan a cabo a temperatura constante y para un dado valor inicial de concentración, se puede suponer que la velocidad de pérdida de agua es solamente una función del tiempo bajo estas condiciones. Basado en estas suposiciones, es posible proponer una función de k en términos del tiempo y  $S_1$  de la velocidad de pérdida de agua. Para tiempos breves la forma general de esta función será:

$$k = S_1 t \quad (5)$$

donde  $S_1$  tiene unidades de (tiempo)<sup>-1</sup>

Sustituyendo las ecuaciones (4) y (5) en la ecuación (3) queda:

$$PA = PA_{\infty} [S_1 t / (1 + S_1 t)] \quad (6)$$

que es la ecuación fundamental del modelo de Azuara. La misma suele linealizarse y escribirse de la siguiente forma:

$$\frac{t}{PA} = \frac{t}{PA_{\infty}} + \frac{1}{S_1 PA_{\infty}} \quad (7)$$

En el marco del modelo de Azuara pueden realizarse predicciones para los coeficientes de difusión efectivos. Para ello utilizamos la solución a la ecuación de Crank para tiempos breves de un sistema unidimensional de una placa plana en contacto con una cantidad infinita de solución. La misma se expresa mediante:

$$\frac{PA}{PA_{\infty}} = 2 \left( \frac{D_{efa} t}{\pi a^2} \right)^{1/2} \quad (8)$$

Donde  $D_{efa}$  es el coeficiente de difusión efectivo del agua,  $efa$  es el valor promedio de los coeficientes de difusión para el rango de concentraciones durante el proceso de difusión y a es la mitad del espesor de la placa.

Para obtener una expresión para el coeficiente de difusión efectivo en el contexto del modelo de Azuara, trabajando con las ecuaciones (6) y (8) se puede obtener la ecuación (9) que se establece en un régimen de tiempos breves.

$$D_{efa} = \frac{\pi a^2}{4} t \left( \frac{S_1}{1 + S_1 t} \right)^2 \quad (9)$$

Esta expresión crece linealmente con el tiempo para tiempos pequeños, y decae como  $t^{-1}$  para tiempos grandes. En un tiempo intermedio, que llamaremos  $t^* = 1/S_1$ ,  $D_{efa}$  alcanza un valor máximo de  $\pi a^2 (S_1)^2 / 16$ .

La expresión asintótica para  $t \rightarrow \infty$  de  $D_{efa}$  resulta:

$$D_{efa} \approx \frac{\pi a^2}{4t} \quad (10)$$

Esta expresión se hace independiente de  $S_1$ , ya que este factor no aparece en ella. En este sentido puede considerarse que (10) provee una expresión asintótica promedio que puede usarse para estimar fácilmente órdenes de magnitud de  $D_{efa}$ .

### Modelo de Page

Este modelo plantea una relación directa entre el contenido de humedad y el tiempo de deshidratación y está basado en derivaciones de las ecuaciones de difusión de la segunda ley de Fick.

$$\frac{H}{H_0} = C \exp(k t^n) \quad (11)$$

Boccalatte y Pagano, 2009 emplearon este modelo para representar la cinética de deshidratación osmótica de manzanas bajo condiciones de operación diferentes.

### Modelo de Crank

Consiste en un grupo de soluciones de la segunda Ley de Fick para diferentes geometrías, condiciones límites y condiciones iniciales desarrollado por Crank. Con este modelo se estima la difusividad efectiva ( $D_{ef}$ ) del agua ( $D_{efa}$ ) y la del soluto ( $D_{es}$ ), resolviendo las ecuaciones de forma analítica o numérica. Sin embargo, las suposiciones que se consideran no siempre son fáciles de lograr lo que implica grandes limitaciones.

Consideraciones del modelo de difusión de Fick:

1. El alimento es sólido, homogéneo y uniforme.
2. Se asume que la solución osmótica es un medio semiinfinito; en consecuencia se requiere una relación masa de solución a masa de producto muy grande.
3. Por inmersión del alimento en la solución hipertónica se producen dos movimientos difusivos:
  - a) Difusión del agua del interior del alimento hacia la superficie y posteriormente hacia la solución.
  - b) Difusión de solutos desde la solución hipertónica bien agitada hacia el interior del sólido.
4. Existen soluciones analíticas para láminas planas, cilindros, cubos y esferas. Se emplean técnicas numéricas para resolver formas irregulares.
5. Los parámetros de equilibrio se determinan experimentalmente y por lo general no se alcanza el equilibrio a los tiempos que se consideran en las experiencias.
6. Se considera que no hay efecto de los solutos ganados ni de los solutos perdidos en el proceso de difusión del agua.
7. Se desprecia el encogimiento debido a la transferencia de masa.
8. Se desprecia la resistencia a la transferencia de masa externa. Esta suposición no se puede lograr a bajas temperaturas ni a una alta concentración de soluto en la solución y tampoco si la solución no tiene agitación.
9. Se considera que el único mecanismo de difusión para la transferencia de agua es la difusión, si bien este es el principal también existen otros mecanismos.

Por consiguiente, el uso del modelo de Crank (1975) se convierte en un procedimiento empírico que intenta ajustar los datos experimentales para determinadas condiciones de operación y el coeficiente de difusión efectiva del agua resulta un parámetro cinético fuertemente dependiente de las condiciones experimentales y del método matemático (Salvatori, 1999)

### Determinación de coeficientes de difusión de agua

La segunda ley de Fick para la difusión unidireccional en estado transitorio está dada por:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (12)$$

donde:

C: concentración

t: tiempo

$D_{ef}$ : coeficiente de difusión efectivo o aparente

x: dimensión en la que se produce la difusión, distancia desde el centro de la placa.

Para las siguientes suposiciones y condiciones límites:

$C = C_0$  a  $t = 0$   $-a < x < +a$  donde a es la semiarista del cubo y  $C_0$  es la concentración inicial.

$C = C_1$  a  $t > 0$   $x = \pm a$

donde  $C_1$  es la concentración en el seno del fluido.

La solución de la ecuación cuando se plantea en tres dimensiones para la difusión del agua en los cubos de zanahoria se detalla a continuación, siendo:

S: concentración de sólidos en el producto.

$D_{ew}$ : coeficiente de difusión efectivo del agua.

Los subíndices 0, t y e se refieren a las condiciones iniciales, a cualquier tiempo t y al equilibrio, respectivamente.

$$\frac{(H_t - H_e)}{(H_0 - H_e)} = \sum_{n=1}^{\infty} C_n^3 \quad (13)$$

$$C_n = \frac{2\alpha(1+\alpha)}{(1+\alpha+\alpha^2q_n^2)} \quad (14)$$

$$\tan q_n = -\alpha q_n \quad (15)$$

$q_n$  son las raíces positivas no nulas de la ecuación (15)

$\alpha$  es la relación entre el volumen de solución y el volumen del producto.

### Número de Fourier para la transferencia de agua

(16)

En el caso de una geometría cúbica, cuando el número de Fourier para la transferencia de agua es mayor que 0,1, solamente el primer término de la serie en la ecuación (13) es significativo y los demás términos pueden despreciarse. Entonces, las ecuaciones se reducen a las siguientes

expresiones cuando se aplica logaritmo natural a ambos miembros:

(17)

Si se grafican los primeros miembros de estas ecuaciones versus el tiempo de deshidratación empleando los datos experimentales; en ambos casos se obtiene aproximadamente una recta, cuya pendiente y ordenada al origen correspondientes a las ecuaciones anteriores son las siguientes:

Ordenada al origen ecuación (17):

$$3 \ln C_1 \quad (19)$$

Pendiente ecuación (17):

(18)

El valor de  $D_{efa}$  puede determinarse a partir de la pendiente de la recta.

## Parte experimental

### Materiales

La hortaliza utilizada fue zanahoria, la que se lavó, peló y se cortó en cubos de 1 cm de arista. La **zanahoria** es de la familia de las *Umbelliferas*. Es un producto de la temporada de otoño e invierno, sin embargo, se puede disponer de ella fácilmente en cualquier momento del año. La zanahoria representa, después de la papa, el principal tubérculo cultivado en el mundo. Constituye una fuente importante de azúcares, vitaminas (B1, B2, B6 y B12) y  $\beta$ -caroteno (precursor de la vitamina A), con propiedades antioxidantes

Los agentes deshidratantes utilizados para elaborar las diferentes soluciones acuosas empleadas en las distintas experiencias fueron:

Sacarosa: Se utilizó sacarosa comercial, marca Ledesma.

Sal (cloruro de sodio): Se empleó sal fina comercial, marca Dos Anclas.

## Métodos

### Experiencias de deshidratación osmótica

#### a) Descripción

El sistema (zanahoria y solución) se colocó en un vaso de precipitado de 2 L y se agitó a 120-130 rpm en un agitador orbital con controlador de temperatura y una campana acrílica que permite mantener una temperatura constante en el recinto en donde se halla el recipiente.

A intervalos de tiempo de 30 min (para la primera medición) y 60 min para las mediciones posteriores se extrajeron del vaso de precipitado los cubos de zanahoria que se hallaban inmersos en la solución deshidratante. Se los enjuagó con agua destilada para extraer la sacarosa adherida a su superficie y se los secó cuidadosamente con papel *tissue*. Posteriormente, se pesaron para analizar cómo varía la pérdida de peso en función del tiempo. Para elaborar las curvas (pérdida de peso del zapallo en función del tiempo de deshidratación osmótica) se realizaron las correcciones de peso correspondientes por la masa de muestra que se retiró para cada tiempo de medida. Las experiencias se llevaron a cabo por triplicado. El tiempo total de duración de las experiencias de deshidratación osmótica fue de 180 minutos.

#### b) Condiciones de operación

Las condiciones de operación finales obtenidas en las experiencias de deshidratación osmótica fueron:

Concentración de sacarosa: 40% m/m

Concentración de sal: 5% m/m

Temperatura: 40 °C

Relación masa de solución a masa de producto: 4

Tamaño de cubos: 1 cm de arista

Nivel de agitación: 120-130 rpm

#### c) Determinación de humedad de las zanahorias

El contenido de humedad se determinó a través de la pérdida de peso por desecación en estufa. Durante 2 h se las seca a 70 °C y luego a 104 °C por 72 h. En un principio el secado se realiza a menor temperatura para evitar la pérdida abrupta de agua y la pérdida de material por proyección.

d) Cálculo de la humedad (H), la pérdida de peso (PP), la pérdida de agua (PA) y la ganancia de sólidos (GS)

Se calcularon la humedad, la pérdida de peso (PP), la pérdida de agua (PA) ganancia de sólidos (GS) a partir de las siguientes ecuaciones:

$$H(\%) = 100 - TS(\%) \quad (20)$$

$$(21)$$

$$(22)$$

$$\left( \frac{ST_o(\%)}{100} \right) * 100 \quad (23)$$

Donde: ST son los sólidos totales, m es la masa de producto y los subíndices 0 y f se refieren a inicial y final, respectivamente.

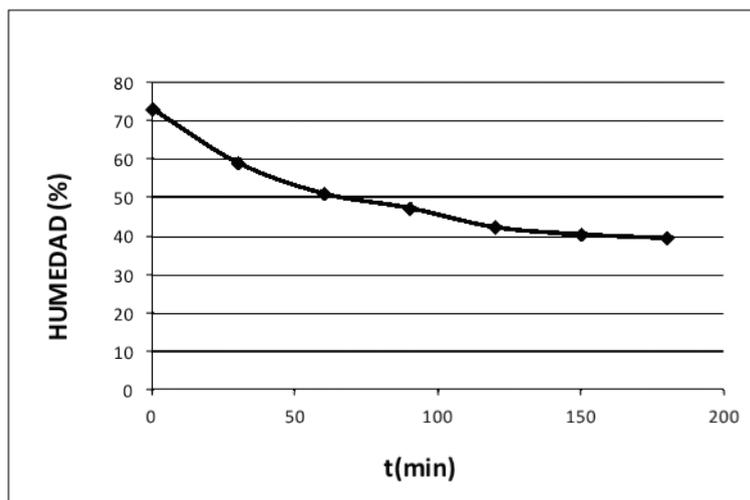
La relación entre la pérdida de peso, la pérdida de agua y la ganancia de sólidos está dada por la siguiente ecuación.

$$PP(\%) = PA(\%) - GS(\%) \quad (24)$$

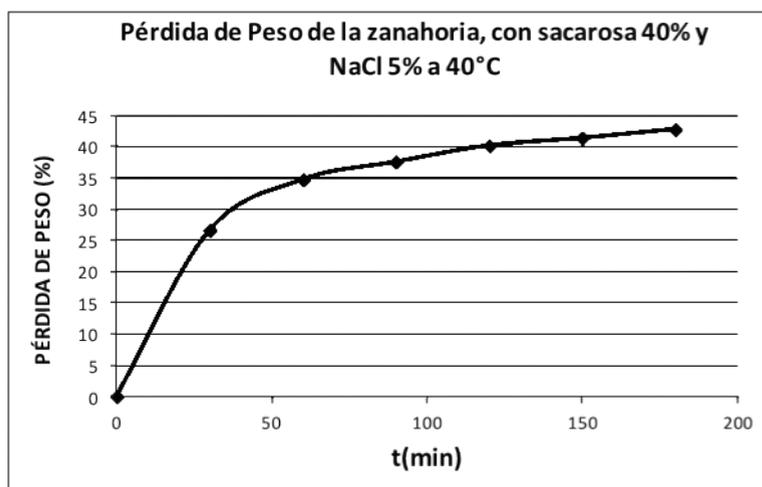
### Análisis de resultados

En la Figura N°1 se representa como varía la humedad en función del tiempo durante la deshidratación osmótica. La humedad disminuye desde el 73 % en base húmeda en la zanahoria en estado fresco hasta el 39,5 % en base húmeda luego de 180 min de deshidratación osmótica. Se alcanza una reducción de la humedad del 46 % respecto de la humedad inicial.

En las Figuras N° 2, 3 y 4 se grafican la pérdida de peso, la ganancia de sólidos y la pérdida de agua en función del tiempo, respectivamente. La pérdida de peso y la pérdida de agua aumentan a medida que transcurre el tiempo de deshidratación osmótica.



**Fig. 1. Humedad de la zanahoria en función del tiempo de deshidratación osmótica**



**Fig. 2. Pérdida de peso de cubos de zanahoria en solución deshidratante con una concentración de sacarosa de 40 % m/m y de cloruro de sodio de 5 % m/m a una temperatura de 40 °C**

**Fig. 3. Ganancia de sólidos de cubos de zanahoria en solución deshidratante con una concentración de sacarosa de 40 % m/m y de cloruro de sodio de 5 % m/m a una temperatura de 40 °C**

**Fig.4. Pérdida de agua de cubos de zanahoria en solución deshidratante con una concentración de sacarosa de 40 % m/m y de cloruro de sodio de 5 % m/m a una temperatura de 40 °C**

**Tabla 1. Valores de los parámetros cinéticos del modelo de Azuara para las experiencias de deshidratación osmótica de cubos de zanahoria en solución de 40 % m/m de sacarosa y 5 % m/m de sal**

En las experiencias de deshidratación osmótica con cubos de zanahoria en solución deshidratante con 40 % m/m de sacarosa y 5 % m/m de sal se obtuvieron los siguientes resultados al aplicar el modelo de Azuara a los datos experimentales, que se presentan en la Tabla 1. El ajuste al modelo se puede observar en la Figura 5.

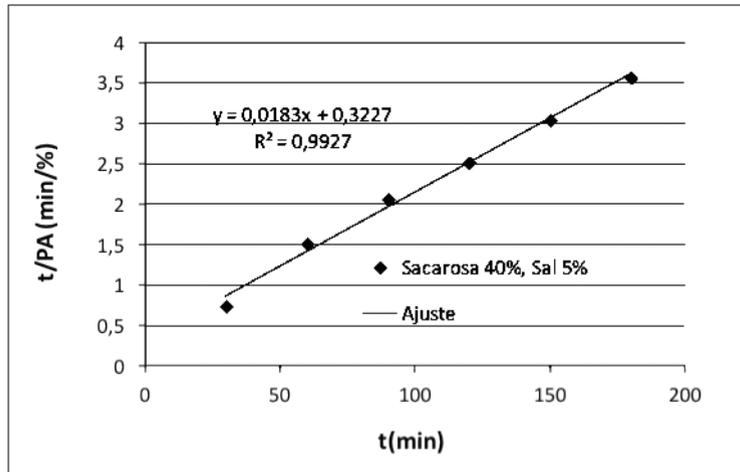
La pérdida de agua a tiempo infinito calculada con el modelo de Azuara fue del 54,64 % bastante similar a la obtenida luego de 180 min de deshidratación osmótica, 50,4 % pero de menor magnitud ya que a este tiempo seguramente todavía no se ha alcanzado el equilibrio.

En la Figura 6 se grafica el coeficiente de difusividad efectiva del agua con la ecuación (9), en función del tiempo de deshidratación osmótica, que tiene en cuenta el modelo de Azuara y el de Crank para tiempos breves considerando una lámina plana infinita y difusión unidimensional. Para un tiempo de 180 min y considerando el semi espesor de la placa igual a la semi arista del cubo, el coefi-

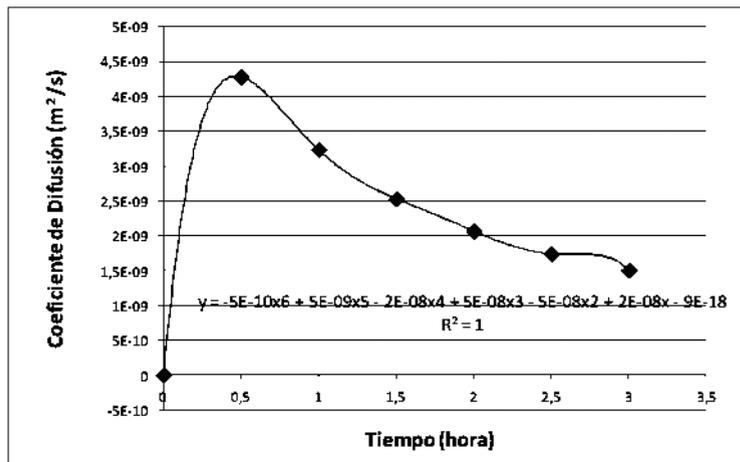
ciente de difusión efectiva del agua es de  $1,52 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ , muy similar al obtenido con el modelo de Crank considerando la solución de la segunda Ley de Fick para una geometría cúbica y difusión tridimensional ( $1,57 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ), ecuación simplificada (17). También se calculó el coeficiente de difusión efectiva del agua para un tiempo tendiendo a infinito empleando la ecuación (10) pero considerando un tiempo de 180 min y se obtuvo un valor de  $1,81 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ . Todos los valores hallados con del mismo orden de magnitud. En la Fig 6 se muestran dichos valores. En ella se ajustaron los valores del coeficiente de difusión efectiva del agua en función del tiempo con una función polinómica de grado 6, cuya expresión se presenta en la figura.

En la Figura 7 se grafican los datos experimentales de la humedad normalizada de los cubos de zanahoria en función del tiempo y el ajuste satisfactorio de los mismos con el modelo de Page, con un valor de  $R^2$  de 0,999.

En la Tabla 2 se presentan los valores de los parámetros de la ecuación del modelo de Page.



**Fig.5. Ajuste del modelo de Azuara a los datos experimentales en la deshidratación osmótica de cubos de zanahoria en solución acuosa de 40 % m/m de sacarosa y 5 % m/m de sal.**



**Fig. 6. Coeficiente de difusividad efectiva del agua en función del tiempo aplicando la ecuación N°9.**

<b>C</b>	<b>K</b>	<b>n</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
1	0,02849	0,6039	0,999

**Tabla 2. Parámetros de la ecuación de Page**

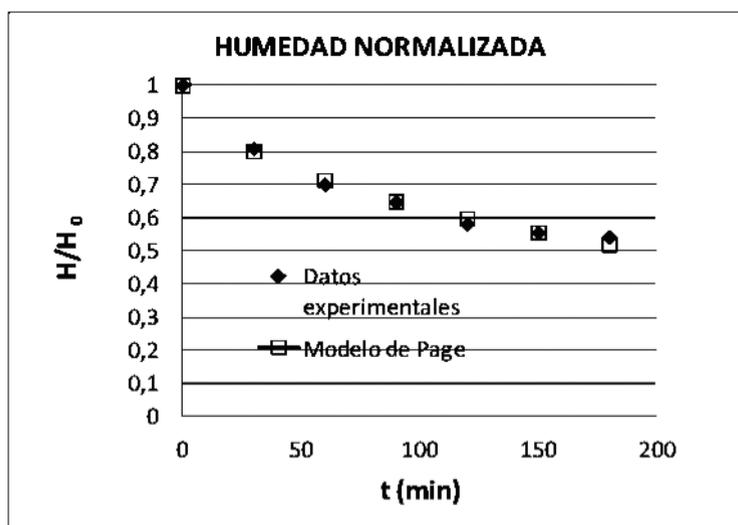
En la Figura 8 se grafica la expresión simplificada del modelo de Crank, ecuación (17). El valor obtenido del coeficiente de difusión efectiva del agua es de  $1,57 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ .

En cuanto al ajuste de los modelos a los datos experimentales, el modelo de Azuara ajustó muy satisfactoriamente los datos, mejor que el modelo de Crank. Sin embargo el que ajustó

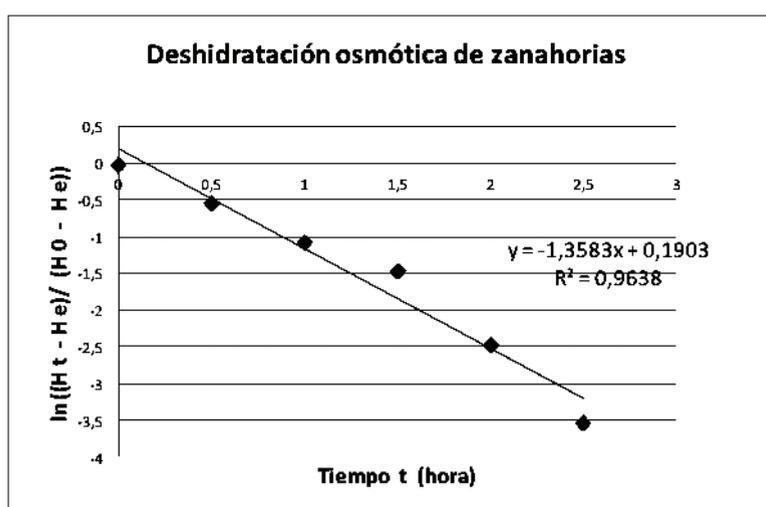
mejor de todos fue el de Page.

### **Conclusiones**

La pérdida de agua resultó mayor a la ganancia de sólido con lo cual la pérdida de peso fue positiva durante todo el proceso de deshidratación osmótica.



**Fig. 7. Ajuste del modelo de Page a los datos experimentales en la deshidratación osmótica de cubos de zanahoria en solución acuosa de 40 % m/m de sacarosa y 5 % m/m de sal**



**Fig. 8. Aplicación de la expresión simplificada del modelo de Crank, ecuación (17), a los datos experimentales.**

Todos los modelos aplicados (Azuara, Page y Crank) ajustaron los datos experimentales de manera bastante satisfactoria en las condiciones consideradas en las experiencias. Los valores de coeficiente de difusividad efectivos del agua resultaron del orden de los obtenidos en la literatura ( $0,5 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ , Melquiades et al., 2009).

### Agradecimientos

Se agradece la colaboración de la alumna Micaela Moriconi de la Facultad Regional Rosario de la UTN que colaboró en las mediciones durante el desarrollo de su práctica profesional en nuestra Regional y al Ing. Reynaldo Justino Silva Paz.

## Referencias

- AZUARA, E.; BERISTAIN, C. I. y GARCÍA, H.S. (1992) Development of a mathematical model to predict kinetics of osmotic dehydration. *International Journal of Food Science and Technology* 29 (4), 239-242
- BELLOCQ C. E.; ROCHE L. A.; DELLA ROCCA P. A. y MASCHERONI R. H., (2012) Osmodehidrocongelación de zapallo Anco (Cucúrbita Moschata), IV Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, 14, 15 y 16 de noviembre de 2012, Ciudad de Córdoba, Argentina (modalidad póster).
- BOCCALATTE, F. L. y PAGANO, A. M., (2009) Estudio de la cinética de deshidratación osmótica de manzanas y del efecto sobre la calidad final del producto deshidratado, III Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Córdoba
- CRANK J, (1975) *The mathematics of diffusion*, Second Edition, UK, Clarendon Press.
- CHIRIFE, J., (1982) Principios de la deshidratación de frutas. En: *Anales de la Asociación Química Argentina*, 70, 913-932.
- DELLA ROCCA P.A. y MASCHERONI, R. H., (2011) Papas secadas por métodos combinados y envasadas en atmósfera modificada, XIII CONGRESO CYTAL - AATA. Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos y 4º Simposio Internacional de Nuevas Tecnologías, Buenos Aires 2011.
- GENINA SOTO, P. y ALTAMIRANO-MORALES, S., (2005) Deshidratación osmótica de prismas de camote, manzana y papa, *Interciencia*, 30 (8), 485-487.
- GENINA SOTO, P, (2002) Efecto de la temperatura y la concentración en el proceso de deshidratación osmótica de cubos de camote (*Ipomea batatas*). Tesis. Centro de Investigación y Estudios Avanzados. IPN. México. pp. 24-38.
- FITO, P., (1994) Modelling of vacuum osmotic dehydration of food, *Journal of Food Engineering*, 22, 313-328.
- FITO, P. y PASTOR, R., (1994) Non diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration, *Journal of Food Engineering*, 21:513.
- MELQUÍADES, Y.; LÓPEZ, C. y ROSAS M., (2009) Estudio de la cinética de rehidratación de zanahoria (*Daucus Carota*) deshidratadas, *Información Tecnológica*, Vol 20, N° 3, La Serena
- PARJOKO, K.A.; RAHMAN, M.S.; BUCKLE, K.A. y PERERA, C.O. (1996) Osmotic dehydration kinetics of pineapple hedges using palm sugar. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 29, 452-459.
- SALVATORI, D., (1997) Deshidratación osmótica de frutas: cambios composicionales y estructurales a temperaturas moderadas. Tesis doctorales., Universidad Politécnica de Valencia.
- SALVATORI, D.; ANDRÉS, A., FITO, P., (1999) Osmotic dehydration progression in Apple tissue I: Spatial distribution of solutes and moisture content. *Journal of Food Engineering*, 42: 125-138.



# Investigación sobre una problemática urbana y su aplicación en la transferencia docencia-investigación

**José Luis Verga, Mónica Susana Bado, María Elena Forzinetti,  
Ana María Zapata Álvarez**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Civil, Mozart 2300, (C1407IVT) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

*arqjlv@yahoo.com.ar*

*Recibido el 8 de Julio de 2013, aprobado el 8 de Agosto de 2013*

## Resumen

El trabajo está vinculado al proyecto de investigación "Diagnóstico sobre vías de comunicación terrestres como barreras o centralidades en la sectorización de barrios". El caso sobre el que se trabaja es el de Villa Luro en el que participan docentes de asignaturas de Ingeniería Civil, UTN. BA. Diseño Arquitectónico Planeamiento y Urbanismo II, del 5<sup>to</sup> año, toma, durante 2012, la problemática sobre barreras e identidad-pertenencia y propone como tema de trabajo práctico la "Aldea para todos", aquella donde no se encuentren presentes barreras que pudieran generar discriminación.

Interesa mostrar una manera de enseñanza-aprendizaje, donde la transferencia recíproca investigación-docencia y la participación activa de estudiantes arrojan resultados beneficiosos para el futuro ingeniero.

**PALABRAS CLAVE:** TRANSFERENCIA INVESTIGACIÓN-DOCENCIA - FORMACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL - BARRERAS Y CENTRALIDADES

## Abstract

The work is linked to the research project "Diagnosis of roads as barriers or centralities land in the neighborhood zoning. Case Villa Luro", which involved teaching Civil Engineering subjects, UTN.BA. Architectural Design, Planning and Urban II, the 5<sup>th</sup> year, take, in 2012, the issue of barriers and identity-belonging and proposes practical working theme the "Village for all", one where no barriers are present that could lead to discrimination.

Want to show a way of teaching and learning, where reciprocal transfer research-teaching and active student participation yield results beneficial for the future engineer.

**KEYWORDS:** TRANSFER RESEARCH-TEACHING - TRAINING IN CIVIL ENGINEERING - BARRIERS AND CENTRALITIES





**Fig. 3. Límite de Villa Luro, C.A.B.A**

En 2010, la cátedra propuso enriquecer el proceso determinando una "temática marco" que pudiera ser abordada con temas diferentes en cada ciclo lectivo, eligiendo el de la "Aldea abierta" que, durante ese ciclo, se trabajó a modo de "Aldea de una comunidad particular abierta a la comunidad global". En 2011 a modo de "Unidad vecinal abierta según particularidades de una comunidad deportiva" y en 2012 a modo de "Aldea para todos", aquella donde no se encuentren presentes barreras causantes de algún tipo de discriminación.

Importa destacar que la asignatura DAPyU II se encuentra vinculada, desde 2010, a proyectos de investigación siendo su relación en el período 2012-2013, con el Proyecto de Investigación + Desarrollo del tipo Facultad denominado "Diagnóstico sobre incidencia de las vías de comunicación terrestres, como barreras o cen-

tralidades, en la sectorización de barrios. Caso Villa Luro", (Resolución 1466/12, UTN.BA).

La presentación del proyecto de investigación se realizó a principios de 2012 y antes de su aprobación formal comenzó la conjunción con la asignatura DAPyU II a través de la implementación de un trabajo de ejercitación formalizado en una encuesta vecinal, enmarcada como tarea de campo, de un sector del barrio de Villa Luro, y en simultáneo se desarrolló un trabajo práctico a realizar en tres etapas donde la problemática de las "barreras" tomó relevancia, eligiéndose como tema para el ciclo 2012 el de "Aldea para todos", aquella donde no se encuentren presentes barreras que pudieran causar algún tipo de discriminación, vinculado particularmente a la identidad y sentido de pertenencia dentro de la temática marco de "Aldea abierta".

El desarrollo de la ejercitación se planteó como una manera de transferencia recíproca entre investigación y asignatura debido a que los resultados surgidos de la encuesta vecinal realizada por alumnos de DAPyU II se incorporarían al proyecto de investigación previo análisis y evaluación de los investigadores formados que componen el grupo.

Importa mencionar que dos de los alumnos que han elaborado la ejercitación mencionada integran el grupo de investigación del proyecto en curso.



**Fig. 4. Barreras y centralidades, Villa Luro, C.A.B.A.**

## Marco teórico

### Socialización barrial. Barrio

Se entiende por barrio a la organización político - administrativa de las ciudades que da origen a subdivisiones territoriales las que, con el desarrollo histórico, van recreando en su dinámica interna aspectos de identificación y fortaleciendo en los vecinos el sentido de pertenencia, eje básico de la integración social. Se constituyen así, los denominados "barrios", conformados por construcciones simbólicas en territorios fijos (Bado, 2012).

El barrio puede ser considerado también como "unidad urbanística identificable", constituyendo un sistema organizado de relaciones a menor escala que la ciudad, y que se presenta como asiento de una comunidad urbana reconocible (Buraglia, 1999:26).

La escala del barrio debiera permitir la participación de sus habitantes de manera directa, sin la delegación a representantes, situación que permitiría inferir que la proximidad que ofrece la escala barrial puede permitir el fortalecimiento de la democracia urbana, reconociéndose que la ausencia de barrios generaría una aglomeración pero no vida colectiva (del Franco et al., 2008).

### Identidad, pertenencia, apropiación y participación

La identidad supone compartir la pertenencia a un conjunto social particular, estando los vecinos unidos por la proximidad, los afectos recíprocos, el territorio compartido, los símbolos locales, la historia del lugar y las problemáticas y proyectos en común, relaciones que despiertan solidaridades, descubren afinidades y generan acciones en común dentro de un espacio físico territorial, sentido como terruño (del Franco et al, 2008).

Se tiene entonces en consideración, tomando a Bordieu (1992), que el proceso por el cual un individuo se posiciona en la estructura social de su barrio debería vincularse con las "formas de existencia social" que se alcanzan a través de la relación entre "*habitus* - representaciones sociales - campus - identidad".

*Habitus* como esquemas de clasificación (Am-

parán, 1998: 186/7), representaciones sociales como formas de conocimiento o ideación construidas socialmente (Durkheim, 1898, Moscovici, 1961), campus determinado por el capital común y la lucha por su apropiación (Amparán, 1998: 182, 188) e "identidad" como aspecto dinámico de construcción (Castells, 1998: 29).

Pensar el barrio, desde las teorías de identidad y el *habitus* hace necesario un referente geográfico, entendido como construcción simbólica, además de territorio físico. El espacio se carga entonces de un "sentido" que es resignificado a través de los mecanismos de apropiación que utiliza el sujeto, actuando sobre este espacio de modo individual o colectivo (Pol, 1996). La apropiación es entendida como la acción que un individuo o grupo produce sobre el espacio público cuando se instala para el desarrollo de alguna actividad, incorporándose este nuevo acontecimiento a la historia del lugar. Apropiación podría asociarse a espacio vivo (del Franco et al., 2008).

La participación puede ser definida como la energía que motoriza las actividades colectivas que emanan del sentimiento de la comunidad y de compartir necesidades y proyectos al incluir al habitante, su tiempo y su persona en la vida comunitaria (del Franco et al., 2008). Participar en la red social del barrio permite constituir identidades vecinales, entendidas como construcciones imaginarias, que articulan las demandas de los habitantes, lugar de pertenencia primaria, vivido y experimentado en la cotidianidad.

Estas construcciones imaginarias pueden presentarse como lo "deseado" por los grupos populares que conforman el barrio, sobreponiéndose con el barrio real o solapándose con las influencias de los barrios contiguos (Bado, 2012).

### Configuración y delimitación

La configuración de un barrio debiera incluir límites físicos bien establecidos, tejidos bien estructurados y fuertes centros de convergencia que permitan reconocer tres elementos estructuradores como la demarcación de territorio, la claridad del tejido urbano y el carácter del área central en la percepción final de la imagen física del territorio y el funcionamiento de la comunidad barrial.

Un aspecto primordial a tener en cuenta en cualquier intervención en un sector urbano es el descubrimiento del sentimiento mayoritario de la población con respecto a la dimensión y a los límites de su barrio.

En la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, en el devenir histórico, con frecuencia es confundido el barrio vivo y real, desde el ámbito de gobierno, con jurisdicciones administrativas que, en épocas pasadas, constituyeron unidades socio-territoriales pero que, en la actualidad, son reconocidas por los vecinos como disociadas, debido a que:

- a) resultan demasiado extensas por efecto de la conurbación y del incremento de la densidad poblacional;
- b) funcionan como áreas administrativas para la provisión de servicios a infraestructura urbanos (policía, sanidad, correo, teléfonos);
- c) son atravesadas por un número importante de vías de comunicación terrestres, tanto vehiculares como férreas, que actúan como barreras, por tanto no se corresponden con la noción del barrio real.

### **Enseñanza-aprendizaje en la Educación superior. Modelos pedagógicos y tipificación del docente**

Se sostiene "no hay alumno que no pueda aprender" y que la búsqueda de la forma de aprendizaje es "tarea creativa del docente".

La relación "docente-alumno-saber" a través de los procesos implícitos en el acto educativo "enseñar", "aprender" y "formar" conforman modelos pedagógicos en la educación superior. Así el enseñar enfatiza el eje docente- saber, el aprender el eje alumno-saber y el formar el eje docente-alumno, reconociéndose a cada uno como el componente esencial de modelos pedagógicos centrados en la "enseñanza", en el "aprendizaje" y en la "formación", que podrían ser tomados como herramienta por los docentes para lograr impartir conocimientos a sus alumnos (Jiménez, 2007).

Desde otra apreciación interesa la tipificación del docente en "ejecutivo", "terapeuta" y "liberador" (Fenstermacher y Soltis, 1999).

Al estudiante que comienza diseño, el primer trabajo que se le encarga le provoca una si-

tuación única debido a que le demanda un enfoque de trabajo que lo coloca en un estado de desconcierto y ansiedad. Esta sensación comienza a disiparse cuando comprende que producir un resultado de cierto valor estético (diseño) no puede lograrse en un rato de trabajo, sino que es necesario estar familiarizado con tiempos de creatividad, procesos, marcos mentales y momentos que pudieran aparecer y más importante aún, cuando reconoce que un problema de arte (diseño) admite infinidad de soluciones válidas.

### **Estudiante en "Modo artista"**

El "modo artista", como manera de participación del estudiante, presenta cinco fases que indican:

- a) que la habilidad del alumno no puede desarrollarse sin la "frecuentación";
- b) que existe un "vaivén ideas-praxis" que el estudiante debe implementar;
- c) que la "nutrición" es una tarea que permite al estudiante movilizarlo, entusiasmarlo y situarlo en el inicio de un proceso imaginativo-creativo;
- d) que luego de un período experimental el estudiante puede "conocer sus fortalezas" lo que implica también conocer sus debilidades;
- e) que finalmente se aprecia el "placer en el camino" del proceso creativo.

La aplicación de ellas, en la formación del alumno, no asegura un buen resultado sino un ordenamiento que le permite cierto grado de certezas. Entiende que podrá alcanzar su meta a través de la reacción, agilización y fecundación en su tarea de desarrollo y al mismo tiempo experimenta la posibilidad del libre pensamiento, aspectos fundamentales en asignaturas donde la creatividad tiene tanta relevancia.

Un buen proceso creativo reconoce como inicio: el disfrute de la preparación, como desarrollo: el quehacer y como final: el logro. Cuando este se repite permite el desarrollo de una disciplina propia que encamina la investigación, potencia los hallazgos y estructura los conceptos. Se trata, para el estudiante, de encontrar y construir su propia identidad creativa (Abadi, 2007).

### **Ámbitos**

La articulación teoría-práctica es alcanzada a través de la construcción de un sentido en el

saber de la cursada, mediante la implementación de estrategias de enseñanza que contemplen la realidad particular de cada curso, situación que permite mostrar el grado de diversidad en la aplicación de recursos didácticos.

La construcción del conocimiento valora la calidad de las metas que se proponen y el esfuerzo por cumplirlas y permite que los tópicos a enseñar puedan ser aplicables en los diferentes ámbitos por los que los estudiantes habrán de transitar.

La formalización de la construcción del sentido posibilitará al estudiante aplicar aquellos conocimientos sólidamente construidos (Bernárdez, 2007).

### **Conceptos clave utilizados en el ciclo 2012**

Algunos conceptos teóricos clave utilizados por los estudiantes en el cursado de DAPyU II durante el ciclo 2012 son: comunidad, comunidad intencional, región plan, sistema urbano, urbanismo alternativo, barrio, siendo la intención provocar un acercamiento del estudiante a una perspectiva más integradora, sociológica y alternativa que lo diferencie en su desempeño profesional. Importa en este trabajo en particular formalizar una descripción sintética de aquellos especialmente importantes en el mismo.

### **Vías de comunicación**

Conjunto de elementos, tales como calles, carreteras, vías férreas, canales y ríos navegables, líneas aéreas y demás, que permiten la circulación tanto local, como regional o internacional (Petroni y Kenigsberg, 1966 en Verga, 2003).

Le Corbusier ha clasificado a la calle, denominación genérica de las vías de circulación urbanas, según sus funciones e importancia por categorías cuyos extremos opuestos son la autopista (para grandes comunicaciones) y los paseos y calles arboladas (Petroni y Kenigsberg, 1966). Se toma como idea de vía de comunicación terrestre, a aquella asociada estrictamente a la vía pública, entendiéndose como tal a senderos peatonales, vehiculares, calles y avenidas de tránsito de libre acceso, elementos urbanos conformadores de espa-

cios donde sea posible el desplazamiento en situación urbana, interurbana o de enlace.

En el New Urbanism y en el New Pedestrianism, considerados dentro del urbanismo alternativo, se prioriza en distinto grado la desvinculación entre el peatón y el vehículo en vías de comunicación terrestres (Verga, 2011).

### **Barreras**

En sentido amplio, es toda estructura del entorno que se opone a la independencia y valimiento de la persona con o sin discapacidad.

Las limitaciones o imposibilidades en ese entorno no existirían si no se encontraran presentes las denominadas como "arquitectónicas" en edificios públicos o privados como lugar de acceso ocasional, puesto de trabajo, vivienda o recreación; "urbanísticas", en la estructura y mobiliario urbanos, sitios históricos y espacios libres públicos y privados; "en el transporte" en el sistema de movilidad mecanizada pública y privada; "en la comunicación" en los sistemas televisivos, telefónicos, informáticos y de señalización. La situación ideal debiera alcanzarse por caminos no coincidentes pero convergentes a través de la planificación, el diseño sin barreras y la adaptabilidad al medio físico existente (Amengual, 2010).

### **Centralidades**

Una centralidad o "centro" puede ser definida como el lugar geográfico con un específico contenido social asociado a las funciones de integración de elementos del conjunto de la ciudad, a la coordinación de actividades y a la simbología. La centralidad geográfica y la consideración de una entidad espacial inmutable no implica la noción de centro urbano sino que hace referencia a la dinámica respecto a cada momento histórico en relación con el resto de la ciudad, siendo esta noción de centro urbano fundamentalmente sociológica, pero que hace necesaria la delimitación de sus formas y sus características propias (Casado Galván, 2010).

### **Metodología**

La metodología de enseñanza de la asignatura Diseño Arquitectónico Planeamiento y Urbanismo II, se propone desde una interpretación particular de los modelos pedagógicos (Jimé-

nez, 2007), de los tipos de profesor (Fenstermacher y Soltis, 1999), de las estrategias de enseñanza (Abadi, 2007) y de los ámbitos donde se imparte (Bernárdez, 2007).

Se plantea la idea de los momentos diversos, a veces contrapuestos, que el alumno debe transitar en todo su ciclo lectivo que genera la inclusión del docente dentro del modelo centralizado en la enseñanza, en el aprendizaje y en la formación vinculado a un tipo ejecutivo, terapeuta y liberador, no a través de un mix sino cada uno a su tiempo.

El desarrollo de DAPyU II a través de clases teóricas y trabajo práctico, de duración anual, se realiza en tres etapas consecutivas, diferentes. Hace imposible situarse exclusivamente en un modelo pedagógico único y estático. Esto es difícil de sostener en una asignatura donde la creatividad, ligada a la diversidad y a la libre acción, conforman aspectos básicos y fundamentales para la formación del estudiante de Ingeniería Civil.

Una posible metodología de enseñanza para ser implementada en asignaturas que guarden relación con todos los aspectos del diseño se propone a través de "ideas fuerza", vinculadas a conceptos mencionados precedentemente, que se relacionan con que a) el conocimiento se construye; b) el proceso de enseñanza y aprendizaje es un proceso comunicacional; c) se hace necesaria la utilización de códigos de significación comunes (docente-alumno, alumno-alumno).

Estas ideas fuerza debieran permitir, que el estudiante, a partir de ellas pueda conseguir:

- a) una disciplina creativa a través del otorgamiento de una metodología de trabajo;
- b) el fomento del libre pensamiento, posicionándose el docente en el rol de liberador;
- c) la canalización y el respeto de ideas y propuestas para que no se convierta en discípulo;
- d) la utilización de herramientas didácticas diversas para asegurar diferentes formas de expresión;
- e) la inducción a la investigación y búsqueda de información como etapa inicial del proceso creativo;
- f) el desarrollo de la creatividad, a través de la frecuentación;
- g) el fortalecimiento del desarrollo de la capacidad de autocrítica y reflexión, no la primera

idea, fundamental en el proceso creativo;

h) la interactividad docente-alumno, que posibilite esa relación socio-afectiva del grupo;

i) la retroalimentación, como potenciadora de la relación docente- alumno / alumno-docente;

j) la implementación de un proceso que comience desde lo general y culmine en lo particular;

k) la obtención de su propia identidad creativa mediante un trabajo individual como búsqueda personal;

l) la utilización crítica de herramientas y medios informáticos en la obtención de información valiosa;

m) el apoyo teórico específico para el desarrollo de trabajos prácticos con la utilización de herramientas didácticas informáticas, sin descuidar el uso de medios artesanales y

n) el desarrollo de trabajos prácticos en función de los contenidos y objetivos de la asignatura vinculado a la relación teoría-práctica.

### **Transferencia investigación-docencia**

"Diagnóstico sobre incidencia de las vías de comunicación terrestres, como barreras o centralidades, en la sectorización barrial. Caso Villa Luro", proyecto de investigación y desarrollo en curso se ha tomado, durante 2012, como referente para la realización de una ejercitación y además para el trabajo práctico en la asignatura Diseño Arquitectónico Planeamiento y Urbanismo II, del 5<sup>to</sup> año de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional.

Ser director del proyecto y al mismo tiempo profesor de DAPyU II permite la posibilidad de asegurar una participación de los estudiantes en las tareas de investigación, aunque sea de manera indirecta.

La necesidad de realizar tareas de campo como fundamentación de conceptos, apreciaciones y conclusiones parciales surgidas dentro del proyecto, fue motivo decisivo para la formalización de tal actividad mediante una ejercitación, en la asignatura mencionada. Con ese objetivo durante la primera parte del ciclo lectivo, se concretó dicha ejercitación, con la intención de tomar sus resultados para realizar su evaluación y posterior incorporación al proyecto, situación que mostró una transferencia particular de modo recíproco entre investigación y asignatura altamente interesante.

Respecto del trabajo práctico se implementó un modo lineal de transferencia investigación-asignatura cuando la cátedra propuso tomar como motivo fundamental la problemática de las "barreras", desde una perspectiva amplia, para la propuesta de tema en el ciclo 2012. Por ello, su denominación final fue la de "Aldea para todos, aquella donde no se encuentren presentes barreras causantes de algún tipo de discriminación", continuándose, de esta manera con la temática marco, implementada desde 2010, de "Aldea abierta".

## Lineamientos generales para trabajos de los estudiantes

### Ejercitación

Una encuesta a vecinos, habitantes de un sector del barrio de Villa Luro comprendido por Av. Lope de Vega, Av. Juan B. Justo, Irigoyen y Av. Álvarez Jonte ha sido la manera de formalizar una tarea de campo que pueda arrojar resultados pertinentes, que se la formula con premisas tales como a) formulario único, simple y entendible, b) una división de la totalidad de las manzanas en partes iguales por estudiante y c) una conclusión a través de un informe conjunto que pudiera ser tomado por el grupo de investigación para su evaluación y posterior incorporación.

### Trabajo práctico

La "Aldea para todos", aquella donde no se encuentren presentes barreras causantes de algún tipo de discriminación, se aborda en tres etapas, siendo la primera el análisis, evaluación y síntesis de la información obtenida sobre la problemática de las "barreras" que permita una 'caracterización de la propuesta' donde se indique el tipo de comunidad que la habitará (Verga, 2011); la segunda, la delimitación de la "Región Plan" y "Sistema Urbano" (Verga, 2004) junto a la implementación de un Estudio de Impacto Territorial, (EsIT) (Verga, 2007) para la "determinación del predio de implantación" y finalmente la tercera etapa, la propuesta de diseño urbano-arquitectónico como respuesta de "diseño de proyectos complejos" (Verga, 2012).

## Resultados

### Ejercitación

La vinculación entre identidad (*habitus* - re-

presentaciones sociales - identidad) y territorio (*campus*) puede ser reconocida mediante un trabajo de campo formalizado a través de encuestas de diferentes grados de profundización y de objetivación que permitan determinar coincidencias o divergencias con la delimitación administrativa-política-jurisdiccional vigente.

En la asignatura Diseño Arquitectónico Planeamiento y Urbanismo II, 5<sup>to</sup> año, Ingeniería Civil, UTN.BA, se formalizó mediante una encuesta vecinal de un sector del barrio con la pretensión de obtener un reconocimiento situacional, resultados valederos y conclusiones formuladas en un informe final.

El informe final, evaluado por el grupo de investigación e incluido en el proyecto, muestra que la problemática de la desvinculación vecinal de sectores de un mismo barrio podría plantear la formulación de soluciones que contemplen de particularidades significativas como las que se mencionan a continuación:

a. Se valida, desde el aspecto físico, la diferenciación espacial entre el norte y el sur, tomándose como eje referencial este-oeste a la Av. Juan B. Justo quedando descartadas las vías del ex FFCC Sarmiento como referente tradicional.

b. La proximidad vecinal entre habitantes del sector norte de Villa Luro con otros de sectores barriales lindantes como los de Versalles, Monte Castro y Vélez Sarsfield pero también la desvinculación con aquellos que se ubican al sur de la Av. Juan B. Justo. Dentro del mismo barrio se verifica que el límite administrativo-político-jurisdiccional del mismo no es reconocido por parte de los vecinos del sector de análisis debido a que para ellos, sectores de barrios lindantes son incluidos dentro de Villa Luro.

c. Se acrecienta la vinculación social, desde lo urbano, a través de la centralidad existente como nodo / senda en Av. Álvarez Jonte y Av. Lope de Vega debido a la existencia de un 'centro comercial a cielo abierto' aglutinante de los barrios mencionados en el punto anterior. (Ver Fig. 5)

Interpretando resultados de la encuesta vecinal pero desde una visión más amplia es posible establecer que:

a. Existe una situación de aislamiento y de ausencia de identificación de los habitantes ubi-



**Fig. 5. Vinculaciones vecinales en el sector de análisis**

cados entre la Av. Juan B. Justo y la Av. Rivadavia ya que no pertenecerían al sector norte mencionado ni tampoco al sector al sur de las vías del ex FFCC Domingo F. Sarmiento.

b. Quienes se identifican con la etapa fundacional de Villa Luro, en torno a su estación de ferrocarril y centran su atención desde lo comercial en la Av. Rivadavia entre Av. Canónigo Miguel Calixto del Corro/Medina e Irigoyen/ Escalada y más específicamente en su intersección con la Av. Lope de Vega son aquellos vecinos que habitan desde las vías del ex FFCC Domingo F. Sarmiento hasta algunas cuadras al sur de la Av. Rivadavia.

c. Finalmente sucede, una situación similar a los del sector norte del barrio, a aquellos que se ubican en el sector cercano a la Av. Emilio Castro y Av. Juan B. Alberdi debido a que su centralidad, de menor jerarquía, es causante de la vinculación con vecinos de otros sectores barriales lindantes como son los de Vélez Sarsfield, Parque Avellaneda, Liniers y Mataderos, no pertenecientes a la Comuna 10. (Ver Fig. 6) Luego de enunciar resultados y reconocer el grado de desvinculación del norte y el sur de Villa Luro, podrían suponerse diferentes alternativas de solución que posibiliten la identidad y pertenencia de vecinos a su sector barrial,

barrio o comuna.

Se asume que la actividad barrial merece ser reforzada y que los sectores urbanos marginados o relegados de una pertenencia barrial deberían ser integrados a barrios existentes o estructurados en nuevas unidades barriales.

Posibles alternativas de solución:

1.- Generar una vinculación entre el vecino y su territorio, mediante una nueva delimitación de barrio o una subdivisión barrial haciendo alusión a "*habitus* - representaciones sociales - identidad - *campus*", apropiación que en el caso del sector norte quedaría delimitado por Av. Álvarez Jonte, Av. Lope de Vega, Av. Juan B. Justo e Irigoyen mientras que en el sur por Av. Juan B. Justo, Av. Canónigo Miguel Calixto del Corro, Av. Rivadavia, Medina, Av. Juan B. Alberdi, Escalada, Av. Emilio Castro, Albariño, Anselmo Sáenz Valiente, vías del ex FFCC Domingo F. Sarmiento, Irigoyen, Bacacay, fortaleciendo la idea de pertenencia a un lugar.

Si se valida que la conformación de la ciudad en barrios, estructura la vida colectiva, éstas deberían ser cuidadosamente conservadas. Por tanto la formulación precedente podría ser considerada simplista debido a que se parte



clo 2012, se muestra dos ejemplos:

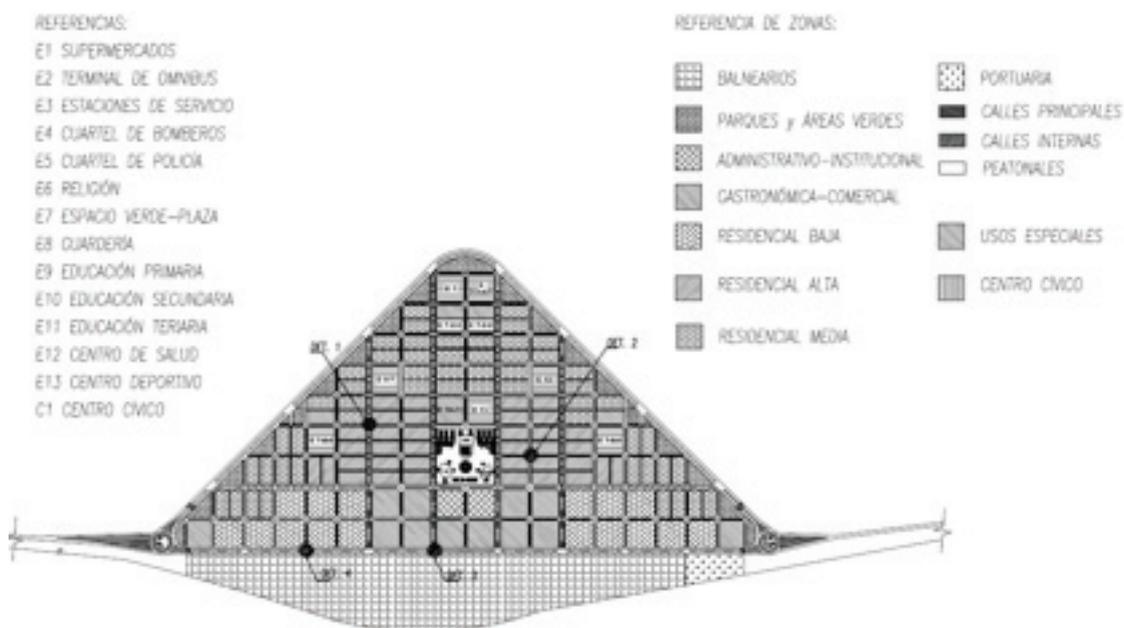
### Trabajo Machicote - Sandrín

Memoria descriptiva: proponen la elección de un predio ubicado a 11,75km al sur de la ciudad de Rawson, Chubut, Argentina y como actividad principal la turística. Plantean su diseño según principios del New Urbanism, corriente de urbanismo alternativo que establece la separación entre vías de circulación priorizando la peatonal por sobre la vehicular, por tanto, surgen particularidades en el encuentro a) entre predios y calles peatonales, b) entre veredas y cruces peatonales y calles vehiculares, y además se utiliza semaforización para personas con capacidad visual y auditiva disminuidas. La urbanización final se formaliza como "controlada" situación que

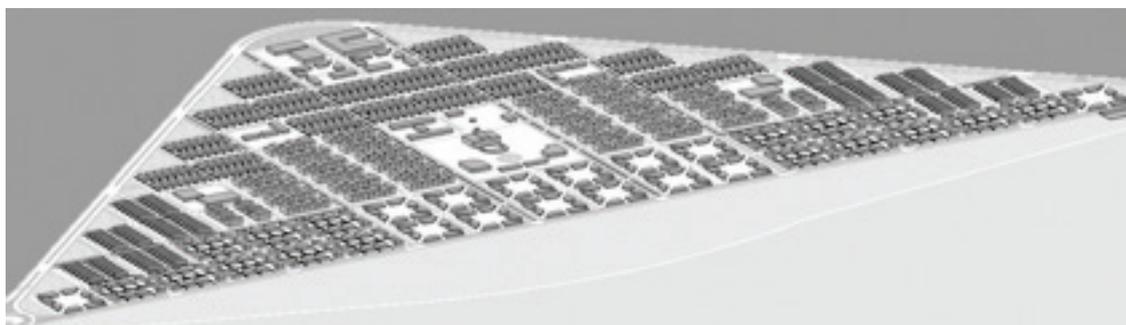
conlleva a la formulación de una codificación regulatoria desde su inicio y para su futuro crecimiento. (Figs. 7 y 8)

### Trabajo Antonioli - Castro

Síntesis descriptiva: eligen como predio de implantación, un área de 112,50ha, emplazada en una zona costera a 15km al sur de Puerto Lobos y a 70km al norte de Puerto Madryn, Chubut, Argentina y como actividad principal la pesca, seguida por el turismo y las agrícola-ganaderas (consumo). Valoran principios del 'New Pedestrianism', otra corriente de urbanismo alternativo, que establece la separación entre peatón y automóvil de manera más rigurosa que la del New Urbanism, jerarquizando a la calle peatonal como principal mientras que la vehicular es



**Fig. 7. Planta general**



**Fig. 8. Imagen volumétrica de la urbanización**



**Fig. 9. Planta general**



**Fig. 10. Imagen volumétrica de la urbanización**

considerada secundaria. El diseño urbano-arquitectónico propuesto ha considerado relevante la formulación de un planteo que incluya macro manzanas donde cada predio presente la particularidad de poseer accesibilidad dual diferenciada (peatonal-vehicular), dentro una trama ortogonal sin desniveles, reconocible por los habitantes, en la que las intercepciones conflictivas peatón-vehículo han sido resueltas mediante el uso de semaforización auditiva-visual-táctil, generándose un conjunto regulado por una codificación particular que condiciona su materialización de origen y su desarrollo futuro. (Figs. 9 y 10)

### **Conclusiones**

La ponderación de la libre elección como modo

para el logro de diversidad, creatividad, profundidad y calidad en los resultados, desde la cátedra y la toma de decisión respecto a la manera de encarar el cursado de la asignatura, la incorporación de la teoría y la ejecución de cada ejercitación o etapa de trabajo práctico, desde el estudiante, apelan a una manera diferente en la enseñanza-aprendizaje.

Lograr la incorporación de resultados de ejercitaciones o trabajos prácticos, previa evaluación de los investigadores integrantes del grupo, a la investigación en curso; generar interés por la problemática de las barreras y centralidades vinculadas a la identidad y sentido de pertenencia en sectores barriales, barrios, comunas y aglomeraciones humanas de diferente nivel de complejidad y conseguir la incorporación

de estudiantes como investigadores iniciales al grupo del proyecto en curso, son producto de la transferencia recíproca entre investigación y docencia, como también de la participación de los estudiantes, cursantes durante el ciclo 2012. En la asignatura Diseño Arquitectónico Planeamiento y Urbanismo II, 5to. año, Ingeniería Civil, Facultad Regional Buenos Aires, Universidad

Tecnológica Nacional, se implementa un modo de enseñanza, diferente al utilizado en otras asignaturas de la carrera. El mismo hace referencia al "modo artista" en el marco teórico, lo que permite una formación hacia lo social, lo urbano y lo ambiental, sin descuidar el aspecto tecnológico propio del egresado de UTN.BA.

## Referencias

- ABADI, S., 2007, 'El Estudiante trabajando en modo-artista', en 'Experiencias y Propuestas en la Construcción del Estilo Pedagógico en Diseño y Comunicación', XV Jornadas de Reflexión Académica en Diseño y Comunicación, Facultad de Diseño y Comunicación, Universidad de Palermo, Año VII, Vol. 7, ISSN 1668-1673, Buenos Aires, Argentina.
- AMENGUAL, C., 2010, Barreras Físicas, Discapacidad visual hoy, Aportes sobre la visión diferenciada. UBA.
- AMPARÁN, AQUILES CHIHU, 1998, 'La teoría de los campos en Pierre Bourdieu' Polis 98, Anuario de Sociología, pp. 179/198 UAM- Iztapalapa México.1998. 29.
- ANTONIOLI, G., CASTRO, M. A., 2012, Trabajo Práctico 'Aldea para todos, aquella donde no se encuentren presentes barreras causantes de algún tipo de discriminación', DAPyU II, UTN.BA
- BADO, M. S., 2012, 'Monografía sobre Barrio' para Informe de Proyecto de Investigación + Desarrollo 'Diagnóstico sobre incidencia de las vías de comunicación terrestres, como barreras o centralidades, en la sectorización de barrios. Caso Villa Luro', C.A.B.A., Argentina.
- BERNÁRDEZ, M., 2007, 'El camino del conocimiento y la construcción de sentido de la práctica docente', en 'Experiencias y Propuestas en la Construcción del Estilo Pedagógico en Diseño y Comunicación', XV Jornadas de Reflexión Académica en Diseño y Comunicación, Facultad de Diseño y Comunicación, Universidad de Palermo, Año VII, Vol. 7, ISSN 1668-1673, Buenos Aires, Argentina
- BOURDIEU, P., 1992, Réponses. París. Senil.
- BURAGLIA, D., 1999, 'El barrio, desde una perspectiva socio-espacial. Hacia una redefinición del concepto'.
- CASADO GALVÁN, I., 2010, Apuntes para la delimitación y estudio del centro urbano, en Contribuciones a las Ciencias Sociales, enero 2010, [www.eumed.net/rev/cccss/07/icg.htm](http://www.eumed.net/rev/cccss/07/icg.htm)
- CASTELLS, M., 1998, 'La era de la información. Economía, sociedad y cultura', Vol. 2: 'El poder de la identidad'. Madrid. Alianza.
- DEL FRANCO, C.; GARCÍA FAHLER, G.; LADIZESKY, J. 2008, 'Elementos para una política de recuperación del uso del espacio público barrial como soporte de la vida comunitaria', Revista Notas nº 1, CPAU, C.A.B.A., Argentina.
- DURKHEIM, E., 1898, 'Représentations individuelles et représentations collectives' Revue de Métaphysique et de Morales.
- FENSTERMACHER y SOLTIS, 1999, 'Enfoques de enseñanza', Amorrortu, Buenos Aires, Argentina
- JIMÉNEZ, M., 2007, 'Modelos pedagógicos vigentes en la universidad y ejercicio de la docencia' en 'Experiencias y Propuestas en la Construcción del Estilo Pedagógico en Diseño y Comunicación', XV Jornadas de Reflexión Académica en Diseño y Comunicación, Facultad de Diseño y Comunicación, Universidad de Palermo, Año VII, Vol. 7, ISSN 1668-1673, Buenos Aires, Argentina
- MACHICOTE, L., SANDRÍN, G., 2012, Trabajo Práctico 'Aldea para todos, aquella donde no se encuentren presentes barreras causantes de algún tipo de discriminación', DAPyU II, UTN.BA
- MOSCOVICI, S., 1961, 'El psicoanálisis, su imagen y su público' Bs. As. Huemul.
- PETRONI, C. A.; KRATZ DE KENIGSBURG, R., 1966, Diccionario de urbanismo, Cesarini editores
- POL, E., 1996, 'La apropiación del espacio'. Iñiguez y E. Pol (comps.), Cognición, representación y apropiación del espacio. Colección Monografías psico/socio/ambientales. Barcelona. Universidad de Barcelona.

RIZO, M., 2006, 'Conceptos para pensar lo urbano' IADE/ Realidad Económica, Bs. As., Argentina.  
VERGA, J. L., 2012, Desarrollo programático anual, Diseño Arquitectónico  
Planeamiento y Urbanismo II, CEIT / UTN.BA  
VERGA, J. L., 2011, Comunidad, Urbanismo alternativo, Nuevos principios del urbanismo, DAPyU II, P5DT7, CEIT / UTN.BA  
VERGA, J. L., 2007, Ambiente, DAPyU II, P5DT6, CEIT / UTN.BA  
VERGA, J. L., 2004 Metodología, DAPyU II, P5DT3, CEIT / UTN.BA  
VERGA, J.L., 2003, Urbanismo y Planeamiento, DAPyU II, P5DT1, CEIT /UTN.BA

## **INSTRUCCIONES PARA LA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS**

El presente instructivo reúne las condiciones generales de presentación y formato e información general para todos los interesados en remitir sus contribuciones.

### **Presentación de los textos**

Los trabajos, en versión impresa (original y copia), podrán ser remitidos a los miembros del Comité Editorial:

Lic. Gladys Esperanza, Lic. Juan Miguel Languasco, Dr. Fernando Gache

proyecciones@frba.utn.edu.ar

Facultad Regional Buenos Aires,  
Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva  
Medrano 951 (C1179AAQ) Buenos Aires, República Argentina

### **Recomendaciones generales**

Proyecciones es una publicación destinada a un público amplio, con formación específica en diferentes campos del conocimiento, que se distribuye en diversos países de habla castellana. Por tal razón, se recomienda a los autores preservar la pureza y la claridad idiomática de sus textos y evitar el uso de vocablos de uso corriente en disciplinas particulares, pero no conocidos (o con significado distinto) en otros ámbitos. Asimismo, no deberán emplearse palabras derivadas de traducciones incorrectas (por ejemplo, asumir en lugar de suponer, o librería por biblioteca) o pertenecientes a otros idiomas, salvo cuando no existan en castellano equivalencias válidas, o cuando se refieran a técnicas o procesos conocidos por su denominación en la lengua original.

Se recomienda también evitar el uso indiscriminado de mayúsculas cuando se haga mención sustantivos comunes, como por ejemplo elementos químicos o técnicas particulares.

Es conveniente, en todos los casos, efectuar una adecuada revisión ortográfica y de sintaxis de los textos antes de su envío.

### **Pautas específicas**

Se deberán contemplar las siguientes pautas:

La presentación corresponderá a un formato adecuado para hojas tamaño A4 (21cm x 29,7cm) escritas con interlineado simple, conservando los siguientes márgenes: superior e inferior, 2,5 cm; derecho e izquierdo, 3 cm; encabezado y pie de página, 1,2 cm. La fuente escogida es Tahoma, tamaño 12. Se recomienda muy especialmente a los autores respetar esta pauta, pues las conversiones posteriores desde otras fuentes, diferentes a la mencionada, pueden representar la distorsión o la pérdida de caracteres especiales, como las letras griegas. Se deberá emplear sangría en primera línea de 1cm y alineación justificada en el texto.

En la página inicial se indicará el título en negrita, centrado y con mayúscula sólo en la primera letra de la palabra inicial; en otro renglón, también en negrita, iniciales y apellido del (de los) autor(es) y, finalmente, en *italica*, el nombre y la dirección postal de la(s) institución(es) a la(s) que pertenece(n), junto con la dirección de correo electrónico del autor principal. Este autor será el enlace con el Comité editorial para todos los requerimientos vinculados con la publicación. Se recuerda que a los efectos de esta publicación solo se listarán debajo del título hasta cinco autores, figurando los restantes en el pie de la misma página.

A continuación, dejando tres espacios libres, el texto, en espacio simple, comenzando con un resumen de 50 a 100 palabras, en castellano e inglés, también en negrita y con tamaño de fuente 10. Luego del resumen, deberán consignarse las palabras clave que orienten acerca de la temática del trabajo, hasta un máximo de cinco. Asociaciones válidas de palabras (por ejemplo, contaminación ambiental, fluorescencia de rayos X) se considerarán como una palabra individual.

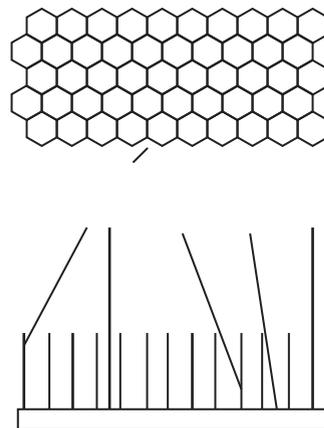
Se aconseja ordenar al trabajo de acuerdo a los siguientes ítems: Introducción, Parte Experimental, Resultados y Discusión, Conclusiones, Agradecimientos (si existieren) y Referencias. Cada uno de ellos tendrá categoría de título y deberá ser presentado en forma equivalente al título original del trabajo, en negrita y centrado, mientras que los subtítulos se consignarán en el margen izquierdo y en negrita. Ninguno de estos ítems deberá ser numerado. La extensión del trabajo no podrá ser mayor que 20 páginas.

El autor principal deberá remitir su trabajo en soporte electrónico y diagramado en la forma propuesta para la versión final impresa.

Sólo se aceptarán trabajos realizados íntegramente en Microsoft Word.

### **Tablas y Figuras**

Las figuras deberán ser ubicadas en el texto, en el lugar más cercano a su referencia, con números arábigos y leyendas explicativas al pie. Las imágenes fotográficas deberán estar al tamaño 1.1 a 300ppi, en formato tif, jpg o eps. Los gráficos o dibujos se presentarán, preferentemente, en vectores (formato .cdr o .ai); en el caso de estar presentados en forma de mapa de bits su resolución en 1.1 deberá ser mayor a 800 ppi. No podrán reproducirse figuras en color salvo en casos excepcionales que quedan a juicio del Comité Editorial, cuando el uso del mismo redunde en un cambio muy significativo de la comprensión técnica del trabajo.



**Fig. 1. Ejemplo de ubicación de la figura y su leyenda explicativa (centrada, en negrita y fuente 10)**

Las tablas se incluirán en el lugar más cercano a su referencia, con números arábigos y acompañadas con un título auto-explicativo en el encabezado.

**Tabla 1. Ejemplo de formato para tabla y título (centrada, en negrita y fuente 10)**

<b>Magnitud</b>	<b>Condición A</b>	<b>Condición B</b>
<b>Magnitud A</b>	<b>1a</b>	<b>1b</b>
<b>Magnitud B</b>	<b>2a</b>	<b>2b</b>

## Agradecimientos

Los agradecimientos deberán ser escuetos y específicos, vinculados al trabajo presentado. Serán suprimidos los de naturaleza general o no aplicables a la contribución.

## Referencias

Las referencias se consignarán en el texto indicando el apellido del autor (o primer autor, en trabajos de autoría múltiple) y el año de la publicación. Ejemplos: Gould (1958); Sah y Brown (1997); Probst y colaboradores (1997). Cuando la referencia se coloque a continuación de una oración completa en el texto, la forma indicada se convertirá en: (Gould, 1958). Las referencias múltiples se indicarán bajo un único par de paréntesis; ejemplo: (Sah y Brown, 1997; Probst y colaboradores, 1997). El ítem Referencias contendrá todas las citas consignadas en el texto, ordenadas alfabéticamente, tomando el apellido del primer autor. Los artículos incluidos en publicaciones colectivas deberán figurar en el orden: apellido e iniciales de todos los autores; entre paréntesis, año de publicación; abreviatura internacionalmente aceptada de la publicación; volumen; primera página del artículo. Las referencias a libros consignarán iniciales y apellido de todos los autores; título; página (si corresponde); editorial: Ejemplos:

**GOULD, E. S. (1958)** *Curso de Química Inorgánica*. Selecciones Científicas, Madrid, España.

**PROBST, T.; BERRYMAN, N.; LARSSON, B. (1997)** Anal. Atom. Spectrom. 12, 1115.

**SAH, R.; BROWN, P. (1997)** Microchem. J., 56, 285.

No deberán incluirse, bajo el ítem **Referencias**, citas bibliográficas no mencionadas específicamente en el texto del trabajo.

## Mecanismos de Aceptación y Normativa General

Los trabajos serán revisados por reconocidos especialistas, designados por el Comité Editorial. El dictamen será, en cada caso: a) aprobado en su versión original; b) aprobado con pequeñas modificaciones; c) revisado, con necesidad de modificaciones significativas; d) rechazado. En los casos diferentes a su aprobación directa, el trabajo será enviado al autor principal. Cuando se trate de cumplir con modificaciones sugeridas por los árbitros, el trabajo será sometido a una nueva evaluación.

El envío de una contribución para Proyecciones supone que ésta no ha sido publicada previamente y, adicionalmente, la cesión de los derechos de publicación por parte de los autores. Cuando el trabajo ha sido ya presentado en una reunión científica (sin publicación de actas) o inspirado en una presentación de esta naturaleza, se aconseja citar la correspondiente fuente. Con el fin de formalizar la cesión de los derechos antes mencionados, el autor principal deberá cumplimentar el formulario de Autorización y Declaración Jurada para la Publicación de un Artículo que se encuentra a continuación. El mismo deberá ser completado, firmado y remitido al Comité Editorial como requisito previo a la publicación.



**UTN.BA**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES

## Autorización y Declaración jurada para la publicación de un artículo

### 1. Identificación del trabajo:

Título: \_\_\_\_\_

Área de conocimiento: \_\_\_\_\_

Nº de páginas del trabajo: \_\_\_\_\_

Fecha de envío del archivo y del soporte magnético:                    /                    /

### 2. Identificación del autor/a:

Nombre y Apellido del Autor/a: \_\_\_\_\_

Tipo y Nº de documento: \_\_\_\_\_

Domicilio: \_\_\_\_\_

### 3. Identificación Institucional:

Universidad y/o organismo: \_\_\_\_\_

Dependencia / departamento: \_\_\_\_\_

Domicilio: \_\_\_\_\_

En calidad de titular de los derechos de autor del mencionado trabajo, **autorizo** a la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional, **a publicar, sin resarcimiento de derechos de autor**, conforme a las condiciones arriba indicadas, en medio electrónico, en la red mundial de computadoras, en la colección de proyectos de investigación de la Facultad Regional Buenos Aires, en su versión en línea e impresa y sitios en las que esta última haya otorgado licencias, para fines de lecturas, impresión y/o descarga por Internet, **a título de divulgación de la producción científica generada por la Universidad**, a partir de la fecha.-----

Deslindo a la Facultad Regional Buenos Aires y a la Universidad Tecnológica Nacional de toda responsabilidad legal que surgiera por reclamos de terceros que invoquen la autoría del artículo cuya publicación se efectúe.-----

He sido informado que puedo registrar mi trabajo de investigación en el Registro de la Propiedad Intelectual, no siendo responsable la Universidad Tecnológica Nacional y/o Facultad Regional Buenos Aires por la pérdida de los derechos de autor por falta de realización del trámite ante la autoridad pertinente.-----

Asimismo, quedo notificado que para obtener el título de "Patente de Invención" es necesario presentar la solicitud de patente dentro del año de la publicación o divulgación. (art. 5 Ley 24.481).-----

Declaro bajo juramento que el presente trabajo es una obra inédita, verídica y todos los datos e información consignados en el mismo se encuentran bajo mi exclusiva responsabilidad. Garantizo que la obra no contiene ningún planteamiento ilícito y que no infringe algún derecho de otros.-----

.....  
Nombre y Apellido

.....  
Firma

.....  
DNI/ LC /LE /Pasaporte

## **Doctorado, Maestrías y Carreras de Especialización**

Doctorado en Ingeniería

*Mención en Procesamiento de Señales e Imágenes*

Magíster en Administración de Negocios

Magíster en Docencia Universitaria

Magíster en Ingeniería Ambiental

Magíster en Ingeniería en Calidad

Magíster en Ingeniería en Sistemas de Información

Magíster en Tecnología de los Alimentos

Magíster en Procesos Biotecnológicos

Especialista en Docencia Universitaria

Especialista en Ergonomía

Especialista en Higiene y Seguridad en el Trabajo

Especialista en Ingeniería Ambiental

Especialista en Ingeniería en Calidad

Especialista en Ingeniería en Sistemas de Información

Especialista en Ingeniería Gerencial

Especialista en Tecnología de los Alimentos

## **Cursos de Posgrado**

Dirección de Empresas

Higiene y Seguridad del Trabajo

Automación Industrial

Formulación y Evaluación de Proyectos

Sistemas Integrados de Gestión-Calidad, Medio Ambiente y Salud, y Seguridad Ocupacional

## **Carreras de Grado**

Ingeniería Civil

Ingeniería Eléctrica

Ingeniería Electrónica

Ingeniería Industrial

Ingeniería Mecánica

Ingeniería Naval

Ingeniería en Sistemas de la Información

Ingeniería Química

Ingeniería Textil

## **Ciclos de Licenciatura**

Licenciatura en Ciencias Aplicadas

Licenciatura en Tecnología Educativa

Licenciatura en Gestión de la Producción Gráfica

**Proyecciones se terminó de imprimir en ...**