

Proyecciones

Volumen 10
Número 2
Octubre, 2012

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

Mg. 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. 4995190
(Versión impresa)

Registro de la
Propiedad
Intelectual
No. 962251
(Versión en línea)

Propietario

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

 **Universidad Tecnológica Nacional**

Proyecciones

Volumen 10
Número 2
Octubre, 2012

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 - CITEFA - CONICET, 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

✱ Universidad Tecnológica Nacional

Proyecciones

Volumen 10
Número 2
Octubre, 2012

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.

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 **Palabras del Comité Editorial**
- 11 **Presentación**
- 15 **Técnicas de imágenes médicas 3D con fuentes extensas de rayos X y gamma**
Sergio Gerardo Strocovsky, Dino Otero
- 29 **Modelización del mercado energético argentino mediante *cluster analysis***
César Bucci, Walter Legnani
- 49 **La buena enseñanza en la universidad, la enseñanza como práctica reflexiva**
Claudio Dominighini, Zulma Cataldi
- 61 **Flujos magnetohidrodinámicos axisimétricos con conductividad finita. Parte II. Geometría cilíndrica anular**
Néstor O. Rotstein, Constantino Ferro Fontán
- 75 **Implementación de un sintetizador de banda ancha mediante tecnología DDS**
Raúl Federico Guilló Marquez, Carlos Mario Puliafito, Pablo Jeremías Aliquó, José Luis Puliafito
- 89 **Aderezo con características de alimento funcional**
María de los Ángeles Borda, Patricia Della Rocca

Editorial

La revista *Proyecciones* cumple diez años.

Diez no es más o menos importante que nueve u once. Pero una década de trayectoria para una revista científica argentina dedicada a las ingenierías sí que es una rareza. Y es un motivo de orgullo: esta revista se pudo sostener durante todo este tiempo gracias al trabajo institucional de largo plazo, al esfuerzo de las personas involucradas en su desarrollo y al talento de quienes se presentaron a publicar sus trabajos.

La revista *Proyecciones* es una buena demostración de un proyecto institucional que supimos sostener todos quienes estuvimos y estamos implicados en el devenir de su trayectoria. Forma parte de esos buenos proyectos que son pensados colectivamente para ser mejorados, para ampliar su alcance, para mejorar su impacto, para que no retroceda en sus avances. Me tomo el trabajo de remarcar estas características no porque seamos pocos los que las tratamos de desarrollar, sino más bien porque este tipo de orientaciones –esfuerzo colectivo, construcción institucional, proyectos de largo plazo, búsqueda de la mejora constante– son las que surgen de ilusionarse con un futuro mejor al presente que tenemos. El progreso es eso: pensar que siempre el futuro debe ser mejor al pasado y al presente, y actuar en consecuencia.

Hago más las palabras del Comité Editorial que se encuentran en este número aniversario. En especial a quienes hoy tienen esta responsabilidad: Gladys Esperanza; Fernando Gache y su actual Director, Miguel Languasco. A todo el personal técnico administrativo que se relaciona con la revista, y a las autoridades que cada año la fueron impulsando. Felicito y agradezco por el esfuerzo a todos quienes estuvieron involucrados en estos diez años, y los comprometo para las próximas décadas de historia, que son las que están por venir.

Como repito siempre, una de las mayores satisfacciones es poder realizar estos proyectos desde la universidad pública, gratuita y cogobernada que alguna vez pensaron desde la Reforma Universitaria de 1918 y que desde la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional nos empeñamos en mejorar y proyectar hacia el porvenir.

Un ideal que nos obliga a ser cada vez mejores, con mayor incidencia en el mundo científico, tecnológico y con el progreso económico y social de nuestro país, y con un mayor compromiso con el futuro, que es la patria de todos nosotros.

ING. GUILLERMO OLIVETO
Decano

Palabras del Comité Editorial

Desde hace ya una década ininterrumpida *Proyecciones* llega puntualmente a manos de nuestros lectores. A través de ella venimos difundiendo trabajos de docentes investigadores y tesis de los posgraduados de esta casa de estudio y de otras universidades nacionales e internacionales.

En primer lugar vaya nuestro agradecimiento para los más de ciento setenta autores que confiaron y confían en *Proyecciones* como vehículo apto para transportar sus creaciones. También para las autoridades de la Facultad Regional Buenos Aires, que brindan su apoyo y que sostienen económicamente y con continuidad esta iniciativa, que va por su edición número 20. Este agradecimiento estaría incompleto si omitiéramos mencionar al personal de apoyo y administrativo que ha colaborado y colabora con la salida de cada nuevo número de la revista. Todos ellos hacen posible *Proyecciones*.

La historia arranca en 2002, momento en el que las propuestas y las apuestas a futuro, eran infrecuentes. Publicar resultados de investigaciones docentes y trabajos académicos del posgrado en el área de la ingeniería, no parecía interesar ni al país ni al mundo. A pesar de ello, el entonces Decano Arq. Luis De Marco y los secretarios del Área Académica y de Planeamiento y de Ciencia y Tecnología Ricardo Bosco y Miguel Languasco respectivamente, tuvieron la iniciativa y la echaron a andar.

Mediante una Resolución *ad hoc* el Consejo Directivo dota formalmente a la publicación de un presupuesto y designa un Comité Editorial dirigido por Marcos Cohen e integrado por Hugo Donato y Miguel Languasco. El primer número sale en abril de 2003, con una tirada de 600 ejemplares. El siguiente se publica seis meses después y desde entonces y de manera ininterrumpida, *Proyecciones* aparece con una frecuencia semestral.

Desde el comienzo se opta por someter todos los trabajos a mecanismos de evaluación, mediante el arbitraje realizado por consultores externos. Además, se define que la revista será gratuita y de circulación libre y no contará con publicidad ni avisos comerciales. Condiciones que se sostienen hasta hoy. Durante tres años y medio su diagramación es realizada por personal de la Fundación Gutenberg de manera desinteresada.

La publicación se inscribe con su *International Standard Serial Number* (ISSN) en el Centro Argentino de Información Científica y Tecnológica (CAYCIT), entidad dependiente del CONICET, así como en la Dirección Nacional del Derecho de Autor (DNDA), dependencia del Ministerio de Justicia de la Nación.

En abril de 2006, luego del fallecimiento de Hugo Donato, se incorpora al Comité Editorial Gladys Esperanza.

En el número de octubre de ese año se producen importantes cambios en la presentación de la revista siguiendo los lineamientos de las publicaciones científicas y de acuerdo con las recomendaciones emanadas del CAICYT (Resumen y palabras clave, en castellano e inglés, fechas de recepción y aprobación, *email* de autor, acaballado y diagramación, etc.). Diagrama el material desde ese año, Luciana Acuña Elías y la publicación incrementa su tiraje a 800 ejemplares.

En octubre de 2008 se incorpora como diagramadora Marcela Ferritto y ese número se dedica íntegramente a la Enseñanza de la Ingeniería como tributo al Año Internacional de la Enseñanza de las Ciencias.

Hacia mediados de 2009 renuncia a la Dirección editorial Marcos Cohen.

La elección del Decano Ing. Guillermo Oliveto abre a partir del año 2010, una nueva etapa de crecimiento para *Proyecciones*. Bajo la dependencia de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, se incorpora a la revista Fernando Gache y se designa a su actual Director. La Resolución 12/12 ratifica a los miembros del Comité y constituye además, el Consejo Editorial integrado por reconocidos profesionales nacionales y del exterior.

De la mano de Sebastián Brie se duplica la tirada inicial hasta alcanzar los 1200 ejemplares, que se distribuyen entre veintinueve bibliotecas nacionales y seis internacionales, entre todas las facultades de Ingeniería del país, entre ciento veinte instituciones del quehacer académico y tecnológico y llega a un centenar de investigadores y profesionales de áreas afines.

Por iniciativa del actual secretario de SeCTIP, Agustín Campero, junto con la revista de abril de 2011 se realiza una publicación adicional dedicada exclusivamente a la implementación del primer Doctorado en Ingeniería en la FRBA. Asimismo, como resultado de su permanente apoyo y estímulo, sumado a las iniciativas de la subsecretaria Patricia Cibeira, a partir de ese mismo número se inauguró la versión en línea dentro del sitio www.sectip.frba.utn.edu.ar/proyecciones, de consulta libre, e inscripta con su respectivo ISSN y Registro en la DDNA.

Detenernos a mirar hacia atrás ha sido solo para seguir aprendiendo de los aciertos y también de los errores cometidos, para tomar impulso al percibir cómo mejoramos y para buscar los faltantes y listar los “imprescindibles”. En síntesis, para seguir imaginando un futuro que nos oriente y nos permita continuar con nuestra labor.

GLADYS ESPERANZA, FERNANDO GACHE, MIGUEL LANGUASCO (DIRECTOR)
Comité Editorial

Presentación

La revista Proyecciones cumple diez años. Esto es un logro institucional que provoca una alegría y satisfacción que queremos compartir con ustedes, los lectores.

Estos diez años fueron posibles gracias al esfuerzo de las personas involucradas en el desarrollo de la revista: el Consejo Editorial, los autores, y los responsables institucionales que aportan en distintas etapas. Pero el mayor logro a destacar es la decisión institucional de darle impulso, continuidad y expansión. Es una decisión que corresponde a distintas etapas de la Facultad, y que por eso le pertenece a la comunidad toda.

El trabajo que inicia este número de la Revista Proyecciones corresponde nuevamente a una tesis doctoral “Técnicas de imágenes médicas 3D con fuentes extensas de rayos X y gamma”. Son sus autores Sergio Strocovsky y Dino Otero. Está constituida por dos partes. En la primera se explican los principios de una nueva técnica de radiografía médica (imágenes con fuente codificadora o IFC), que utiliza fuentes radiactivas extensas. En la segunda, se presenta una técnica novedosa de imágenes gamma en Medicina Nuclear (imágenes de apertura total o IAT). Ambas técnicas permiten recopilar información 3D en una única adquisición. Se exhiben imágenes simuladas que muestran la utilidad potencial de IFC y de IAT en aplicaciones de diagnóstico médico. Los resultados permitieron comprobar que ambas técnicas poseen rendimientos superiores, en varios aspectos, a las técnicas convencionales vigentes.

A continuación se incluye “Modelización del mercado energético argentino mediante cluster analysis” artículo en el que los autores César Bucci y Walter Legnani realizaron un exhaustivo análisis de los modelos energéticos y económicos del país, haciendo foco en las fuentes de energía que gravitan con mayor peso dentro de la matriz energética nacional. Para ello usaron una particular metodología que se aplica a la identificación de patrones de comportamiento de un determinado sistema. La caracterización del mercado ayuda a anticipar posibles inconvenientes de abastecimiento y precios y es un soporte para la toma decisiones estratégicas en el tema energético.

El tercer artículo es un trabajo elaborado por Claudio Dominighini y Zulma Cataldi que lleva como título “La buena enseñanza en la universidad, la enseñanza como práctica reflexiva”. ¿A qué llamamos buena enseñanza? Esta es la pregunta nodal que orienta el trabajo y que busca ser respondida a partir de un conjunto de reflexiones en torno de las prácticas docentes. Los autores recorren una serie de propuestas y conceptualizaciones sobre la buena enseñanza. Insisten en que la misma es la que supera la simple transmisión

de conceptos y que, acompañada por el aporte de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, requiere para concretarse del entusiasmo y la pasión de los profesores por lo que enseñan.

Luego se incluye “Flujos magnetohidrodinámicos axisimétricos con conductividad finita. Parte II. Geometría cilíndrica anular”, sus autores Néstor Rotstein y Constantino Ferro Fontán plantean las ecuaciones matemáticas aplicadas al comportamiento del plasma, suponiendo no nula su resistividad, para una dada geometría. Analizan el problema axisimétrico completo y lo aplican en particular a plasmas confinados en cilindros cerrados circularmente. Se proponen mostrar que, en este modelo, las isosuperficies de flujo másico no son coincidentes con las isosuperficies de flujo magnético.

La “Implementación de un sintetizador de frecuencias de banda ancha mediante tecnología DDS” es el trabajo que sigue y fue elaborado por Raúl Federico Guilló Márquez, Carlos Mario Puliafito, Pablo Jeremías Aliquó y José Luis Puliafito. En él se plantea que dicha implementación suele ser dificultosa, puesto que en su diseño intervienen técnicas de radiofrecuencia tanto digitales como analógicas. No obstante, gracias al avance de las tecnologías de integración en Circuitos Integrados, hoy se pueden resolver algunos de los obstáculos de la implementación de soluciones complejas, por medio de una fácil implementación y reducido tamaño. En el trabajo se muestra que la topología de diseño utilizada permite, entre otras cosas, extender el rango de barrido, cambiando solamente el filtro de reconstrucción y haciendo uso de la operación Super Nyquist, que permite utilizar el mismo equipo en diversas aplicaciones con un muy buen rendimiento y costos relativamente bajos.

Finalmente se presenta el trabajo de María de los Ángeles Borda y Patricia Della Rocca, titulado “Aderezo con características de alimento funcional” que es parte de la tesis de la primera para acceder al grado de Magister en Alimentos y cuya parte experimental se realizó en laboratorios de la FRBA. El objetivo de este trabajo fue la formulación de una base de aderezo para ensaladas y carnes con características de alimento funcional. El producto resultante presenta un alto contenido en fibra alimentaria, reducido en lípidos y en valor energético.

Estamos seguros que estos artículos serán del provecho de los lectores en sus actividades científicas. Este es el espíritu que animó, y va a seguir animando, a la revista Proyecciones para seguir contribuyendo al conocimiento.

LIC. AGUSTÍN CAMPERO
Secretario de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

Técnicas de imágenes médicas 3D con fuentes extensas de rayos X y gamma*

Sergio Gerardo Strocovsky¹, Dino Otero²

1 Centro Atómico Ezeiza, Comisión Nacional de Energía Atómica,
Pro. González y Aragón 15, (B1802AYA), Ezeiza, Provincia de Buenos Aires, Argentina

2 Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Escuela de Postgrado,
Castro Barros 91 (C1178AAA), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

strocovs@cae.cnea.gov.ar

Recibido el 16 de Febrero de 2012, aprobado el 24 de Abril de 2012

Resumen

En la primera parte de este trabajo se explican los principios de una nueva técnica de radiografía médica (imágenes con fuente codificadora o IFC), que utiliza fuentes radiactivas extensas. En la segunda parte, se presenta una técnica novedosa de imágenes gamma en Medicina Nuclear (imágenes de apertura total o IAT). Ambas técnicas permiten recopilar información 3D en una única adquisición. Se exhiben imágenes simuladas que muestran la utilidad potencial de IFC y de IAT en aplicaciones de diagnóstico médico. Los resultados permitieron comprobar que ambas técnicas poseen rendimientos superiores, en varios aspectos, a las técnicas convencionales vigentes.

PALABRAS CLAVE: RADIOGRAFÍA - FUENTES RADIATIVAS - IMÁGENES CON FUENTE CODIFICADORA - MEDICINA NUCLEAR - IMÁGENES DE APERTURA TOTAL

Abstract

The principles of a new medical radiography technique (coding source imaging or CSI) are explained in the first part of this work. CSI uses extended radioactive sources. The second part presents a novel gamma imaging technique in Nuclear Medicine (full aperture imaging or FAI). Both techniques allow to collect 3D information in a single acquisition. We exhibit simulated images showing the potential usefulness of IFC and IAT in medical diagnostic applications. The results allowed to check that both techniques have superior performance, in various aspects, to the existing conventional techniques.

KEYWORDS: RADIOGRAPHY - RADIOACTIVE SOURCES - CODING SOURCE IMAGING - NUCLEAR MEDICINE - FULL APERTURE IMAGING

* El presente artículo forma parte del trabajo de tesis "Sistemas de imágenes médicas 3D con fuentes extensas de rayos X y gamma" para optar al grado de Doctor de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, área Ingeniería, bajo la dirección del Dr. Dino Otero

PARTE I

Introducción

Las técnicas radiográficas utilizadas en medicina para fines diagnósticos, presuponen el uso de una fuente de rayos X, que idealmente debería cumplir los siguientes requisitos: elevada puntualidad, fluencia regulable sin compromiso en la puntualidad de la fuente, espectro discreto restringido al intervalo de energías de interés médico o IEIM (17-100 KeV aproximadamente), y emisión de energías seleccionables según la aplicación. En la práctica, la radiografía convencional con tubos de rayos X tiene varios inconvenientes, entre los cuales podemos mencionar: compromiso entre tamaño del spot focal y la fluencia, compromiso entre tamaño del spot focal y la magnificación, el espectro de rayos X es esencialmente continuo, el tubo requiere alimentación eléctrica con alto voltaje (~ 100 kV), el blanco requiere refrigeración activa en sistemas de alta potencia, los tiempos de respuesta son largos debido a la necesidad de calentamiento del filamento emisor de electrones (e^-), y por último, el sistema en su conjunto ocupa un volumen considerable y posee una elevada ineficiencia energética.

Las fuentes radiactivas aventajan en tamaño, portabilidad y sencillez a los tubos de rayos X. Además, emiten radiaciones electromagnéticas de espectro discreto (X y/o gamma), lo cual es una ventaja para imágenes médicas, y se autoabastecen de energía (de origen nuclear). Sin embargo, en la práctica tienen varias desventajas: la tasa de fluencia de fotones X de una fuente radiactiva de máxima actividad manejable (~ 1 Ci)* es mucho menor (por varios órdenes de magnitud) que la emitida por los tubos de rayos X más potentes usados en tomografía computada (TC); es difícil evitar la contaminación con otras radiaciones gamma de energías demasiado elevadas (ubicadas fuera del IEIM) emitidas por la misma fuente; los nucleídos que emiten solo radiaciones dentro del IEIM son minoritarios; existe un serio compromiso entre las dimensiones de la fuente y la fluencia, por lo cual se deben utilizar fuentes extensas para obtener una fluencia relativamente elevada; finalmente, las fuentes radiactivas pueden tener vida comparativa-

mente corta (Por ejemplo el I-125 emite en el IEIM (27.2–35.5 KeV) pero tiene un período de semidesintegración de 59.4 días).

En trabajos previos, propusimos el uso de fuentes radiactivas para radiografía de diagnóstico médico (Strocovsky y Otero: 2006, 2007). Para lograr dicho fin se propusieron soluciones a cada uno de los inconvenientes mencionados arriba. Por ejemplo, la baja tasa de fluencia de las fuentes radiactivas puede compensarse con el uso de detectores fotón único, como MEDIPIX (Ballabriga y colaboradores: 2011). El problema de la emisión de radiaciones demasiado energéticas, fue solucionado mediante la implementación de mecanismos de fluorescencia de rayos X por foto-excitación con los rayos gamma provenientes de la fuente, y el problema de las dimensiones finitas de las fuentes radiactivas se solucionó mediante el desarrollo de una nueva técnica basada en fuentes extensas, denominada Imágenes de Fuente Codificadora (IFC), cuyos principios fueron presentados con anterioridad (Strocovsky y Otero: 2011, 2012). La nueva técnica tiene capacidades estereoscópicas, permitiendo adquirir simultáneamente cuatro proyecciones desde cuatro puntos de vista cercanos diferentes.

Las pequeñas dimensiones de las fuentes radiactivas y de los detectores más avanzados (tipo Medipix) permitirían construir, en conjunción con la aplicación de la técnica IFC, micro-sistemas radiográficos 3D para aplicaciones aún no exploradas. Por ejemplo, una fuente radiactiva pequeña podría albergarse en el interior del paciente, mientras que el detector ubicado en el exterior podría registrar imágenes muy localizadas del interior, evitando la interposición de órganos/tejidos que estén fuera del interés del estudio. Una posible localización de la fuente podría ser el tubo digestivo en toda su extensión para tomar desde allí imágenes de rayos X, desde ubicaciones y perspectivas no alcanzadas con las técnicas radiográficas actuales.

La alta localización que permitirían alcanzar estos microsistemas, posibilitaría la irradiación de tejidos en una zona de interés muy pequeña, y

* El presente trabajo cuenta con un glosario de términos que se encuentra luego de las Conclusiones

evitaría irradiaciones innecesarias de tejidos adyacentes como sucede con la radiografía actual. Por otro lado, los bajos niveles de fluencia serían detectados eficientemente por detectores de foton único y se dispondría de energías discretas y seleccionables de rayos X. La consecuencia más importante de estos tres hechos, es que se reduciría considerablemente la dosis recibida por el paciente, respecto de sistemas convencionales.

Las aplicaciones que necesitan información de la distribución espacial de pequeñas estructuras muy absorbentes, inmersas en un fondo de baja densidad y/o bajo Z, también se beneficiarían de la nueva técnica IFC. Un ejemplo de tal aplicación lo constituyen las técnicas de mamografía con rayos X destinadas a identificar microcalcificaciones mamarias (Wei y colaboradores, 2012).

Métodos

En la presente sección, se resumen los principios de la técnica IFC, basada en el uso de fuentes extensas de rayos X según el esquema conceptual de la figura 1. La forma planar cuadrada de la fuente permite la codificación-decodificación de las imágenes. La geometría del sistema de registro es similar a la radiografía convencional, con la fuente paralela al plano del detector. La imagen codificada obtenida debe ser procesada mediante un operador que funciona como decodificador perfecto, reconstruyendo cuatro proyecciones del mismo objeto desde cuatro fuentes estrictamente puntuales que se corresponden con los cuatro vértices de la fuente.

Es importante remarcar que el procesamiento de

la imagen original produce la transformación de la geometría de fuente, de manera que la fuente cuadrada original utilizada durante el registro, se transforma en un conjunto de cuatro fuentes puntuales, luego de la decodificación. Por lo tanto, IFC permite que la fuente extensa sea equivalente, en sus efectos, al uso simultáneo de cuatro fuentes (puntuales) convencionales de rayos X, como si se tratara de una técnica de radiografía estereoscópica con cuatro puntos de vista.

El procedimiento de decodificación de las imágenes se basa en los tres pasos fundamentales esquematizados en las figuras 2 y 3, a saber: Localización de los volúmenes de detección parciales (por ejemplo, regiones U_{ij} , Y_{ij23} y Z_{ij3} en la figura 2), el cálculo de los factores de atenuación parciales correspondientes a dichos volúmenes, (por ejemplo, factores b_{ij} , k_{ij23} y t_{ij3} en la figura 2) y finalmente, la detección diferencial de la fluencia en direcciones ortogonales X e Y. La detección diferencial se implementa calculando los cocientes entre las fluencias detectadas por píxeles vecinos, de un conjunto de cuatro píxeles adyacentes (D_{ij} , D_{i+1j} , D_{i+1j+1} , D_{ij+1}), tal como se indica en la figura 3. Estos pasos permiten calcular los factores de atenuación de tercer orden (t_{ij3} , t_{i+1j+1} , t_{i+1j+1} y t_{ij+1}) que representan la atenuación de la radiación que atraviesa las porciones de objeto encerradas por las regiones piramidales (Z_{ij3} , Z_{i+1j+1} , Z_{i+1j+1} y Z_{ij+1}). Estas pirámides tienen un vértice a cada uno de los vértices (V_1 , V_2 , V_3 y V_4) de la fuente cuadrada, y por base a los píxeles (D_{ij} , D_{i+1j} , D_{i+1j+1} , D_{ij+1}) respectivamente.

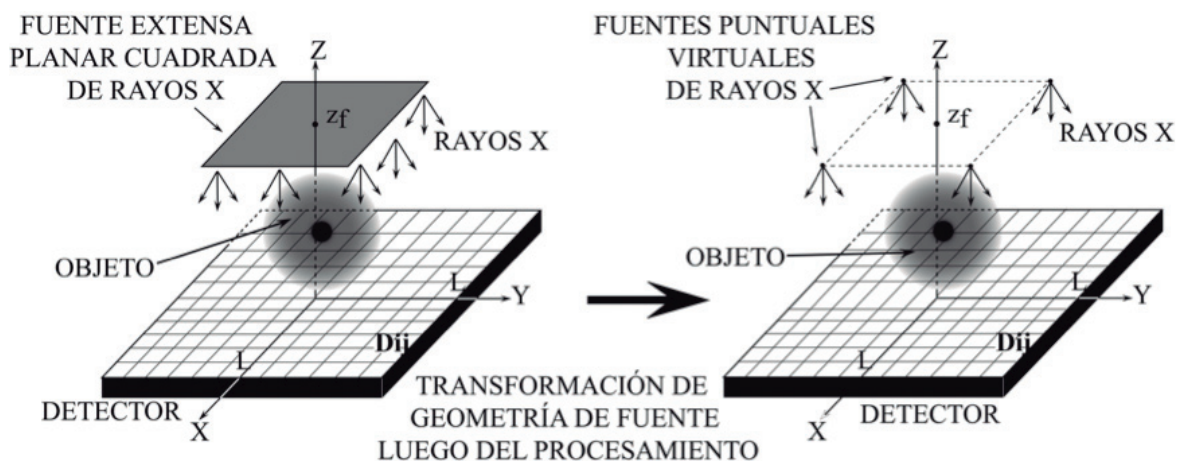


Fig. 1. Esquema conceptual de la técnica IFC. Registro y reconstrucción de imágenes con fuente codificadora extensa de rayos X según el método propuesto en el trabajo.

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{ij3} = (I_{i+1j} \ I_{ij+1})^{-1} (I_{ij} \ I_{i+1j+1}) (I_{i+1j}^0 \ I_{ij+1}^0) (I_{ij}^0 \ I_{i+1j+1}^0)^{-1} \\ t_{ij+12} = (I_{i+1j} \ I_{ij+1}) (I_{ij} \ I_{i+1j+1})^{-1} (I_{i+1j}^0 \ I_{ij+1}^0)^{-1} (I_{ij}^0 \ I_{i+1j+1}^0) \\ t_{i+1j4} = (I_{i+1j} \ I_{ij+1}) (I_{ij} \ I_{i+1j+1})^{-1} (I_{i+1j}^0 \ I_{ij+1}^0)^{-1} (I_{ij}^0 \ I_{i+1j+1}^0) \\ t_{i+1j+11} = (I_{i+1j} \ I_{ij+1})^{-1} (I_{ij} \ I_{i+1j+1}) (I_{i+1j}^0 \ I_{ij+1}^0) (I_{ij}^0 \ I_{i+1j+1}^0)^{-1} \end{array} \right. \quad (1)$$

Las expresiones (1) permiten calcular los factores de atenuación t_{i+1j+1} , t_{ij+12} , t_{i+1j4} y t_{ij3} en función de los cuatro valores de fluencia en presencia del objeto atenuante (I_{ij} , I_{i+1j} , I_{ij+1} , I_{i+1j+1}) y en función de los cuatro valores de fluencia sin el objeto atenuante (I_{ij}^0 , I_{i+1j}^0 , I_{ij+1}^0 , I_{i+1j+1}^0). Estas mediciones se realizan sobre los cuatro píxeles adyacentes D_{ij} , D_{i+1j} , D_{ij+1} y D_{i+1j+1} ($1 \leq i, j \leq n-1$). Se considera que el detector tiene un tamaño de $n \times n$ píxeles.

Cada una de las cuatro expresiones (1) es válida en un único cuadrante del sistema de coordenadas utilizado, según la correspondencia: $t_{ij3} \rightarrow$ cuadrante I, $t_{i+1j4} \rightarrow$ cuadrante II, $t_{i+1j+11}$

\rightarrow cuadrante III y $t_{ij+12} \rightarrow$ cuadrante IV. Cada uno de los cuadrantes se constituye, luego de la decodificación, en el campo imagen correspondiente a cada uno de los cuatro puntos de vista.

Por lo tanto, la distribución espacial de los cuatro factores de atenuación (1) sobre el plano del detector, representa una distribución 2D de fluencia, similar a la obtenida por un sistema equivalente de proyección radiográfica convencional, donde la fuente extensa F es reemplazada por 4 fuentes puntuales (S_1 , S_2 , S_3 y S_4) ubicadas en las posiciones que ocupaban los vértices (V_1 , V_2 , V_3 y V_4) de la fuente cuadrada (figura 3d).

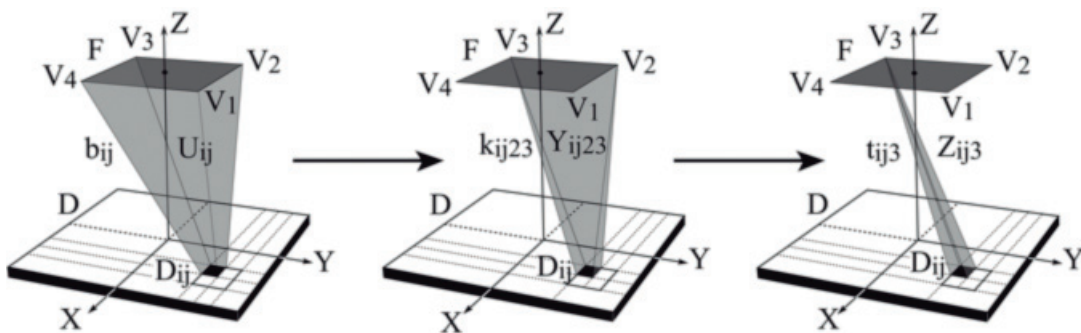


Fig. 2. Método geométrico utilizado para localizar volúmenes de detección parciales, en el sistema IFC

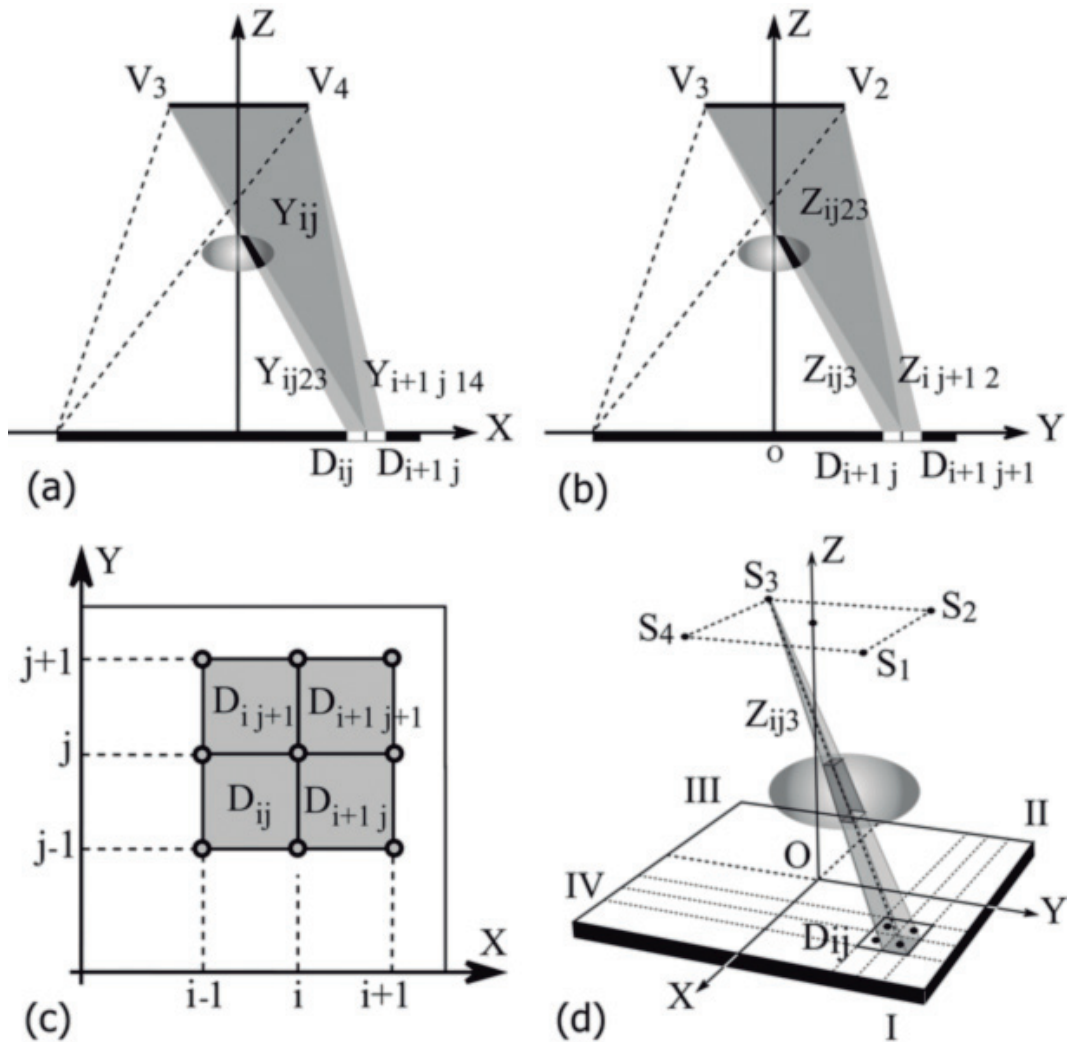


Fig. 3. Principios del método de detección diferencial en la técnica IFC, basado en el cálculo de las diferencias de fluencias detectadas por píxeles vecinos, de un conjunto de cuatro píxeles adyacentes. (a) Detección diferencial según dirección X . Las regiones laterales Y_{ij23} , Y_{i+1j14} adyacentes a la región central Y_{ij} , contienen los flujos diferenciales. (b) Detección diferencial según dirección Y . Las regiones laterales Z_{ij3} , y $Z_{i+1j+12}$ adyacentes a la región central Z_{ij23} , contienen los flujos diferenciales. (c) Esquema de los cuatro píxeles adyacentes D_{ij} , D_{i+1j} , D_{i+1j+1} y D_{i+1j+1} ($1 \leq i, j \leq n-1$) que intervienen en el cálculo. (d) Geometría equivalente (fuentes puntuales S_1 , S_2 , S_3 y S_4), luego de aplicar el método de detección diferencial. Se esquematiza la formación de la imagen producida por la fuente S_3 .

Las expresiones (1) permiten deducir el algoritmo de reconstrucción de las imágenes a partir de la imagen codificada. Solo basta aplicar a la imagen codificada un filtro 2×2 , no lineal y multiplicativo (F_1), que reproduzca las operaciones de (1) correspondientes a cada cuadrante. Por ejemplo, el filtro F_1 correspondiente al cuadrante I (píxel D_{ij} , factor de atenuación t_{ij3} y pirámide Z_{ij3}) es:

$$F_1 \equiv \frac{Y_{ij} Y_{i+1j+1}}{Y_{i+1j} Y_{i+1j+1}}, Y_{ij} \equiv \frac{I_{ij}}{I_{ij}^0}, \quad (2)$$

También es posible, hacer una reconstrucción de la distribución del coeficiente de atenuación lineal μ_{ij} (correspondiente a la atenuación entre la fuente puntual S_3 y el píxel D_{ij}) sobre el plano de detección, tomando logaritmos en las

expresiones (1) y (2) y usando la definición de los coeficientes Y_j :

$$\mu_{ij} = \log Y_{ij} + \log Y_{i+1,j+1} - \log Y_{i,j+1} - \log Y_{i+1,j} \quad (3)$$

$$F_2 \equiv \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Por lo tanto, es posible linealizar las operaciones aplicando el filtro F_2 , en forma convolutiva a la imagen diferencia logarítmica $[\log(I_{ij}) - \log(I_{ij}^0)]$. Se obtiene, entonces, un mapa del coeficiente de atenuación μ_{ij} . El filtro F_2 representa la discretización por diferencias finitas de la derivada espacial mixta $\frac{\partial^2}{\partial x \partial y}$. La convolución se im-

plementó como convolución cíclica, donde el elemento (1,1) de F_2 está alineado con cada elemento (i,j) de la matriz imagen.

Uno de los problemas derivados del uso de decodificadores tipo gradiente, es la amplificación del ruido correlacionado de corto alcance, en este caso, el del ruido estadístico. Por esta razón, también se han utilizado versiones modificadas del filtro F_2 , que permiten moderar dichos efectos. Por ejemplo, se empleó el siguiente filtro 3x3:

$$F_3 \equiv \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Para evaluar la validez de los principios de la técnica propuesta se realizaron simulaciones por el método de Monte Carlo con el código MCNP

(Anderson y colaboradores, 2012). La fuente X simulada consiste en una superficie cuadrada de 10 mm x 10 mm que emite rayos X en forma isotrópica desde cada punto de la superficie. Se utilizó la tarjeta de fuente general SDEF. Se utilizaron las variables de fuente NRM=-1, VEC = (0 0 1), SUR, X, Y, y Z para determinar las coordenadas (x, y, z) de las posiciones de inicio de los fotones fuente. Los fotones emitidos son monoenergéticos (20 KeV).

El detector simulado consiste en un mosaico de 64 x 64 cristales de CsI, cada cristal tiene dimensiones laterales 3,12 mm x 3,12 mm y 1 mm de espesor. Los fotones fueron detectados mediante el contador de altura de pulso F8. Se utilizó una ventana de energía de ±10%, es decir el intervalo de energías 27 KeV-33 KeV. La distancia fuente-detector es de 15 mm. El detector y la fuente están centrados según el eje Z, ambos se encuentran en planos paralelos y sus bordes son paralelos entre sí.

Resultados

Se hicieron pruebas, mediante el código MCNP, colocando diversos objetos absorbentes de geometría elemental, entre la fuente y el detector. El material elegido fue fosfato de calcio en la forma cristalina de hidroxiapatita $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})]$, que posee una densidad de 3,16 g/cm³ y coeficiente de absorción lineal de 20,73 cm⁻¹ (a energías de 20 KeV). El número total de fotones generados en la fuente fue de 10⁷.

En la figura 4a se muestra la configuración de registro para dos pequeñas esferas absorbentes colocadas entre la fuente y el detector, donde las coordenadas de sus centros y

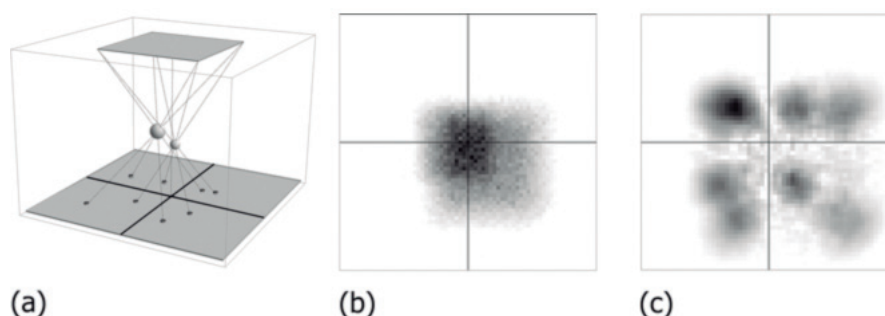


Fig. 4. Registro y decodificación mediante la técnica IFC. (a) Configuración de registro consistente en dos esferas absorbentes. Los puntos sobre el detector muestran la posición geométrica de las imágenes correspondientes a cada punto de vista. (b) Imagen codificada original. (c) Imagen decodificada mediante el operador F_3 .

radios son, respectivamente: $O_1=(1, 1, 6,8)$ mm ; $r_1=0,75$ mm; $O_2=(-0,5, 0,25, 5,5)$ mm ; $r_2=0,5$ mm. Las posiciones de las esferas se eligieron de tal manera que existan rectas que pasan por uno de los vértices de la fuente extensa y por puntos interiores a ambas esferas simultáneamente.

La imagen codificada obtenida (Fig. 4b) fue procesada con el filtro de decodificación F_3 , obteniéndose un conjunto de cuatro imágenes (Fig. 4c). Cada una de las cuatro imágenes representa la proyección de las dos esferas desde 4 puntos de vista diferentes correspondientes a cada uno de los vértices de la fuente extensa cuadrada. Se observa el incremento de la densidad en una de las cuatro imágenes correspondiente a la superposición de las dos esferas desde ese punto de vista. En cada imagen se registra una diferente distribución de absorción debido al cambio de punto de vista. Por otro lado, pese a haberse controlado el ruido mediante F_3 , todavía es bastante elevado.

PARTE II

Introducción

Una de las limitaciones más serias en el uso de la cámara gamma (CG) en medicina nuclear radica en su baja eficiencia de detección de la radiación gamma, debido al uso del colimador (Moore, Kouris y Cullum; 1992). La proporción de fotones gamma absorbidos en el colimador es muy alta. En el peor de los casos, solo uno de cada 10.000 fotones se transmite a través de los orificios del colimador. Debido a que el tiempo de adquisición está limitado por varias razones prácticas, solamente una cantidad relativamente pequeña de fotones se encuentra disponible para producir imágenes de calidad aceptable. En consecuencia, las imágenes se encuentran contaminadas por ruido de Poisson que limita el contraste y la nitidez de las mismas. La colimación de los rayos gamma que entra al sistema es esencial para la formación de las imágenes. Sin embargo, los colimadores también aceptan hasta cierto grado, rayos oblicuos, apartándose entonces del comportamiento ideal. Como resultado, el colimador es uno de los principales componentes que contribuye a la disminución de la resolución espacial. Estos factores limitan la

resolución espacial máxima a 7-8 mm en las geometrías usuales de trabajo. En condiciones especiales, mediante el uso de un colimador *pinhole* pueden alcanzarse resoluciones de 1 mm o menos, pero con una eficiencia de colección de fotones mínima, debido al hecho de que la sensibilidad del sistema y la resolución espacial impuesta por el colimador operan como magnitudes opuestas (Accorsi y Metzler: 2004; Zeniya y colaboradores: 2004). Por otro lado, la resolución espacial empeora severamente cuando se incrementa la distancia paciente-colimador, lo que requiere minimizarla siempre que sea posible. En la práctica, la distancia paciente-colimador característica se encuentra limitada a unos 10 cm para imágenes planares y a unos 20 cm para imágenes tomográficas.

La técnica conocida como tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT), utiliza una CG montada sobre un sistema pivoteante que rota alrededor del paciente obteniendo un gran número de imágenes 2D desde diferentes ángulos, las que son procesadas conjuntamente mediante un algoritmo de reconstrucción tomográfica y permiten obtener información de la distribución espacial 3D de actividad en el interior del paciente. La adquisición de imágenes se realiza en forma secuencial y cada una requiere un tiempo de adquisición similar al usado para obtener una única imagen en centellografía planar. Por lo tanto, los tiempos de adquisición que permiten obtener información 3D se hacen excesivamente largos, de alrededor de 30 o más minutos.

En trabajos previos (Strocovsky y Otero: 2010, 2011 y 2012), hemos propuesto una nueva técnica de Imágenes de Apertura Total (IAT) que permite reconstruir cualquier distribución espacial 3D de densidad de radiación gamma, proveniente del interior del paciente. El aspecto novedoso fundamental es que IAT no utiliza colimadores y se basa en la codificación por borde cuando la radiación gamma atraviesa una única abertura de gran tamaño. Así, IAT permite: elevada eficiencia de colección de fotones, alta resolución espacial y reconstrucciones 3D en una única adquisición. En IAT se registra una imagen codificada sobre el plano detector, que es decodificada mediante el uso de un operador exacto, obteniéndose simultáneamente cua-

tro proyecciones de la fuente, desde cuatro puntos de vista cercanos. Estas proyecciones permiten la reconstrucción 3D de la distribución de actividad original en el interior del paciente. En el presente trabajo se explican y demuestran los principios de la técnica IAT y el método de reconstrucción de las imágenes. Se realizan, también simulaciones por Monte Carlo para comprobar la validez de la nueva técnica y analizar su rendimiento comparado con CG.

En los trabajos citados se hicieron otras investigaciones, como pruebas de resolución espacial con diferentes distancias fuente-detector, pruebas con las fuentes inmersas en medios absorbente-dispersivos, y estudios sobre *voxelización* del campo de visión.

Métodos

Para comprender los principios de esta nueva técnica propuesta, consideremos la configuración de la figura 5a. La cara superior de un detector pixelado de dimensiones $q \times q$ se coloca sobre el plano XY . Los píxeles D_{ij} ($1 \leq i \leq n$, $1 \leq j \leq n$) se numeran de tal manera que el píxel D_{11} se localiza en $(-q/2, q/2, 0)$. La máscara codificadora (MC), una placa de material absorbente de la radiación con una abertura cuadrada en su centro de dimensiones $p \times p$, se coloca a una distancia Z_M desde el plano XY . Ambos elementos están centrados según el eje Z . La radiación gamma se emite desde una distribución arbitraria de actividad S totalmente incluida en el campo de visión FOV.

Sea S_0 una fuente elemental perteneciente a dicha distribución, localizada en el punto $r_0 = (x_0, y_0, z_0)$. Los fotones son emitidos en forma isotrópica con una tasa de ω fotones por unidad de tiempo. Luego, la fluencia total I en el plano XY es proporcional a la tasa ω , al tiempo de adquisición T y al ángulo sólido Ω subtendido por la abertura de MC desde r_0 , es decir: $I \propto \omega \Omega T / 4\pi$

La proyección de S_0 a través de la MC produce una imagen cuadrada sobre el plano XY . La posición (r, s) y el tamaño t del cuadrado proyectado dependen unívocamente de la posición de la fuente, según:

$$(r, s) = \left[\left(-\frac{p}{2} - x_0 \right) \left(\frac{z_0}{z_0 - z_M} \right) + x_0, \left(\frac{p}{2} - y_0 \right) \left(\frac{z_0}{z_0 - z_M} \right) + y_0 \right], \quad t = \frac{p z_0}{z_0 - z_M} \quad (6)$$

donde (r, s) representa las coordenadas del vértice del cuadrado ubicado en el segundo cuadrante, t es la longitud del lado del cuadrado y p es la dimensión lateral de la abertura de la MC (Fig. 5b).

El campo de visión (FOV) del sistema se define como la región tridimensional que posee las siguientes propiedades: la imagen cuadrada proyectada por una fuente puntual contenida en la región FOV, está totalmente incluida en el campo del detector y contiene el origen de coordenadas. La región FOV tiene forma doble piramidal (Fig. 5a).

Consideremos ahora una distribución arbitraria de actividad S en la región FOV, caracterizada por una concentración de actividad espacio-dependiente $c_A(x, y, z)$ medida en número de desintegraciones por unidad de volumen. Luego, la actividad δA en un elemento de volumen δV de la región FOV, es $\delta A = c_A \delta V$, donde δV es lo suficientemente pequeño como para considerar que la actividad es uniforme dentro del mismo. Definimos la densidad de radiación ρ de la fuente como el número de fotones emitidos por unidad de volumen y por unidad de tiempo. La densidad ρ es dependiente de la posición y es proporcional a $c_A(x, y, z)$.

La fuente S emite radiación gamma espacialmente incoherente. Luego, la distribución de actividad es detectada desde el exterior del paciente como una superposición incoherente de fuentes elementales emisoras de radiación gamma. Cada imagen cuadrada está unívocamente relacionada con una fuente elemental ubicada dentro de la región FOV. Dado un par de fuentes elementales arbitrarias en la región FOV, sus proyecciones sobre el plano XY son siempre diferentes, ya sea porque las imágenes cuadradas tienen tamaños diferentes o sus ubicaciones están desplazadas sobre el plano del detector (Fig. 5b).

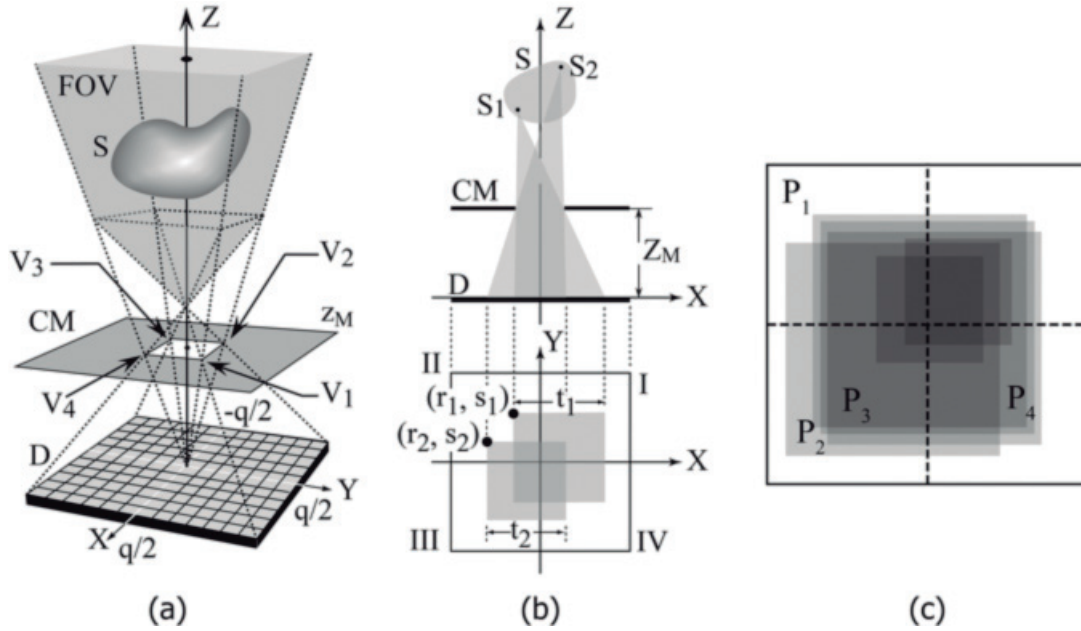


Fig. 5. Configuración geométrica utilizada para la implementación de la técnica IAT. (a) Esquema 3D que muestra la región FOV doble-piramidal. (b) Sección transversal del sistema según el plano XZ. Se grafican las proyecciones de dos fuentes elementales. (c) Superposición de proyecciones cuadradas sobre el plano XY provenientes de las múltiples fuentes elementales que constituyen la fuente extensa.

En el caso más general, tendremos una superposición compleja de proyecciones cuadradas sobre el plano XY provenientes de las múltiples fuentes elementales que constituyen la fuente extensa (Fig. 5c). Las proyecciones se suman siempre en intensidad. Por lo tanto, la información de los bordes de los cuadrados se conserva. Puede observarse que el punto (0,0) pertenece a todas las proyecciones. Este hecho produce un incremento gradual de fluencia hacia el origen de coordenadas.

Por lo tanto, puede asumirse el siguiente modelo: la fuente S consiste en un conjunto de N fuentes elementales, cada fuente elemental i -ésima ubicada en \mathbf{r}_i , comprende un elemento de volumen δV_i que posee una concentración de actividad uniforme $c_A^i(\mathbf{r}_i)$ y emite fotones en forma isotrópica. Sea $\rho_i(\mathbf{r}_i)$ el número de fotones emitidos desde δV_i , por unidad de volumen y por unidad de tiempo. Entonces, la distribución discreta de densidad de radiación ρ en la región FOV es:

$$\rho = \{ \rho_1(\mathbf{r}_1), \rho_2(\mathbf{r}_2), \dots, \rho_N(\mathbf{r}_N) \} \quad (7)$$

Luego, la fluencia total I medida en el detector, debida a la superposición de todas las fuentes elementales, durante el tiempo de adquisición T , es:

$$I_{ij} = \sum_{c=1}^N d_c K_{ij}(c) \quad (8)$$

donde K_{ij} representa un conjunto de N distribuciones de fluencia normalizadas:

$$K_{ij}(r,s,t) = \begin{cases} 1 & \text{si } r \leq i \leq r+t-1 \text{ y } s \leq j \leq s+t-1 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (9)$$

y el coeficiente d_c es el factor de peso de la proyección $K_{ij}(c)$. Es proporcional a la densidad $\rho_c(\mathbf{r}_c)$, a través de la relación:

$$d_c = \left(\frac{T}{4\pi} \cdot \Omega_c \delta V_c \right) \rho_c \quad (10)$$

donde $\Omega_i(\mathbf{r}_i)$ es el ángulo sólido subtendido por la abertura de la MC desde \mathbf{r}_i , y T es el tiempo de adquisición.

El conjunto de todas las distribuciones posibles de fluencia sobre el plano XY de detección, para cualquier distribución de actividad arbitraria, constituye un subespacio vectorial de N

dimensiones del espacio $V:Z \rightarrow Z^{n \times n}$, donde Z es el conjunto de enteros no negativos.

El conjunto $B = \{K_{ij}(c) / 1 \leq c \leq N\}$ es una base del subespacio, ya que B genera cualquier distribución de fluencia posible y los elementos K_{ij} son linealmente independientes por definición. Un vector generado por B tiene la forma: ζ

$$I_{ij} = \sum_{c=1}^N \alpha_c K_{ij}(c), \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N\} \in Z^N \quad (11)$$

que corresponde a la forma más general de distribución de fluencia I_{ij} para una distribución de actividad arbitraria en el campo FOV.

Definiendo un factor de peso efectivo p_c que no dependa de la abertura angular del sistema, como $p_c \equiv d_c / \Omega_c$ se obtiene:

$$p_c = \left(\frac{T}{4\pi} \cdot \delta V_c \right) \rho_c \quad (12)$$

Luego, se cumple la siguiente relación biunívoca:

$$\{p_1, p_2, \dots, p_N\} \leftrightarrow \{\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_N\} \quad (13)$$

Por lo tanto, la distribución p_c resuelve el problema de hallar la distribución original de densidad de radiación ρ_c . Los coeficientes p_c se encuentran mediante una modelización de la imagen original con una imagen-objetivo perfecta. El resultado final es una imagen sintetizada, réplica sin ruido de la imagen original. La optimización se realiza por minimización del error cuadrático medio entre la imagen original y una combinación lineal de las proyecciones cuadradas, es decir se hallan los valores: a_1, a_2, \dots, a_N que minimizan la función error:

$$\varepsilon(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N) = \frac{1}{n^2} \sum_{r=1}^n \sum_{s=1}^n \left[I_{rs} - \sum_{c=1}^N \alpha_c K_{rs}(c) \right]^2 \quad (14)$$

Se trata de un problema de optimización no lineal con restricciones en N variables (los coeficientes a_c deben ser positivos o nulos),

que fue resuelto numéricamente mediante métodos de descenso por gradiente. Los coeficientes p_c se obtienen como:

$$p_c = \alpha_c^{\min} / \Omega_c$$

La decodificación consiste en el cálculo del incremento diferencial en la fluencia detectada por un grupo de cuatro píxeles vecinos. En primer lugar se calcula el incremento en la dirección X (Fig. 6a), y en un paso posterior se calcula el incremento según la dirección Y (Fig. 6b). Las regiones U_{ND} y U_D contienen el incremento diferencial de la fluencia en la dirección X al pasar desde el píxel D_{i+1j} al píxel D_{ij} y al pasar del píxel D_{i+1j+1} al píxel D_{ij+1} . Estos incrementos se calculan, utilizando las intensidades medidas en los cuatro píxeles, como: $(I_{ij} - I_{i+1j})$ y $(I_{ij+1} - I_{i+1j+1})$, respectivamente. Luego, en el próximo paso (dirección Y), las regiones W_{ND} y W_D contienen el incremento diferencial en la fluencia según la dirección Y , al pasar desde el píxel D_{i+1j} al píxel D_{i+1j+1} . Este incremento se calcula como la doble diferencia: $[(I_{ij+1} - I_{i+1j+1}) - (I_{ij} - I_{i+1j})]$.

W_D es el volumen de detección que detecta el incremento de fluencia en los dos pasos sucesivos en las direcciones X e Y respectivamente. La región WD detecta la porción de fuente sombreada en la figura 6c.

La operación doble diferencia, calculada arriba, representa la discretización mediante diferencias finitas del operador derivada cruzada de segundo orden: $\partial^2 / \partial x \partial y$

La cantidad $[(I_{ij+1} - I_{i+1j+1}) - (I_{ij} - I_{i+1j})]$ representa la fluencia diferencial Φ medida sobre el píxel D_{i+1j} debida al flujo de radiación que atraviesa el volumen de detección W_D . El cálculo de la fluencia diferencial en los otros cuadrantes es similar, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 1. Los cambios de signo se deben al hecho de que la intensidad es una función monótonamente decreciente en valores absolutos de X e Y (Fig. 5c).

La aplicación del operador $\partial^2 / \partial x \partial y$ a la imagen original, produce una decodificación exacta de las cuatro imágenes según cuatro puntos de vista diferentes, correspondientes a las posiciones de los cuatro vértices: **V1, V2, V3** y **V4**. Cada punto imagen permanece en su propio campo imagen sin importar

la ubicación de la fuente puntual en la región FOV. Los campos consisten en las cuatro regiones cuadradas limitadas por los bordes del detector y los ejes de coordenadas XY . Por lo tanto, las cuatro proyecciones están localizadas en campos separados, sobre el plano detector. Esta propiedad se debe a las características geométricas de la región FOV.

Para comprobar la validez de los principios de la técnica propuesta, se hicieron simulaciones por el método de Monte Carlo mediante el código MCNP. Las fuentes fueron simuladas usando la tarjeta SDEF, mediante la cual se muestrearon regiones filiformes y esféricas. Se utilizaron las variables de fuente CEL , POS , RAD , X , Y , y Z combinadas de diversas maneras para determinar las coordenadas (x , y , z) de las posiciones de inicio de los fotones fuente. Las fuentes filiformes fueron simuladas mediante el muestreo de regiones cartesianas degeneradas. Se realizaron pruebas encaminadas a hallar la resolución espacial de la técnica IAT en diferentes condiciones y realizar comparaciones entre las técnicas CG y IAT (Fig. 7). Para ello, se modelaron sendos sistemas CG y IAT obteniéndose con ellos imágenes de fuentes gamma filiformes lineales. En todos los casos, las fuentes emiten isotrópicamente fotones de 140 KeV (^{99m}Tc).

Para cada distribución filiforme, se obtuvieron imágenes generadas por ambos métodos: CG con colimador de orificios paralelos y la técnica IAT, comparando ambas técnicas en idénticas condiciones.

Se modelaron, un detector pixelado de cristales de CsI(Tl), un colimador de CG de baja energía-alta resolución (LEHR), y la máscara codificadora (MC). El detector está formado por un mosaico de 64×64 cristales. Los cristales están separados entre sí por una distan-

cia uniforme. Este espacio fue rellenado con tungsteno como material de blindaje. Los fotones fueron detectados mediante el *tally* de altura de pulso F8. El colimador fue colocado en contacto directo con el mosaico de cristales del detector, constituyendo el sistema CG. En el caso del sistema IAT, se utilizó el mismo mosaico de cristales que el utilizado en el sistema CG. Se utilizó una ventana de energía estándar de $\pm 10\%$, es decir el intervalo de energías 126 KeV–154 KeV. El colimador LEHR está hecho de celdas hexagonales que tienen las siguientes dimensiones: 3 mm de diámetro, 65 mm de longitud y 0,25 mm de espesor septal.

Se hicieron pruebas de resolución espacial usando una distancia fuente-detector de 16,5 cm (que corresponde a una distancia de 10 cm entre el borde externo del colimador de la CG y la fuente). Cada cristal tiene dimensiones laterales de $2,25 \text{ mm} \times 2,25 \text{ mm}$ y 5 mm de espesor. El tabique de tungsteno tiene 0,25 mm de espesor. La MC consiste en una placa de plomo de $16 \text{ cm} \times 16 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm}$ con una apertura de $4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ en el centro. Fue colocada a una distancia $z_M = 8 \text{ cm}$ desde el plano XY , delimitando una región FOV doble piramidal que posee una abertura angular de $73,7^\circ$ para $10,7 \text{ cm} \leq z \leq 16 \text{ cm}$ y una abertura de 28° para $z > 16 \text{ cm}$.

Se realizaron simulaciones sin interponer material alguno entre las fuentes y el detector. El objetivo de estas simulaciones fue comprobar la validez de los principios de la nueva técnica sin considerar efectos espurios.

Las imágenes originales de CG no fueron procesadas, en cambio, las imágenes originales codificadas IAT fueron procesadas en tres etapas: Como primer paso, se suavizó la imagen original con un filtro promedio 3×3 anisotrópi-

I	$I_{ij+1} - I_{i+1 j+1} - I_{ij} + I_{i+1 j}$	V_1	$D_{i+1 j}$
II	$-(I_{ij+1} - I_{i+1 j+1} - I_{ij} + I_{i+1 j})$	V_2	D_{ij}
III	$I_{ij+1} - I_{i+1 j+1} - I_{ij} + I_{i+1 j}$	V_3	D_{ij+1}
IV	$-(I_{i+1 i+1} - I_{i+1 i+1} - I_{ii} + I_{i+1 i})$	V_4	$D_{i+1 i+1}$

TABLA 1. Cálculo de la fluencia diferencial Φ debida al flujo de radiación que atraviesa el volumen de detección VD en cada uno de los cuatro cuadrantes

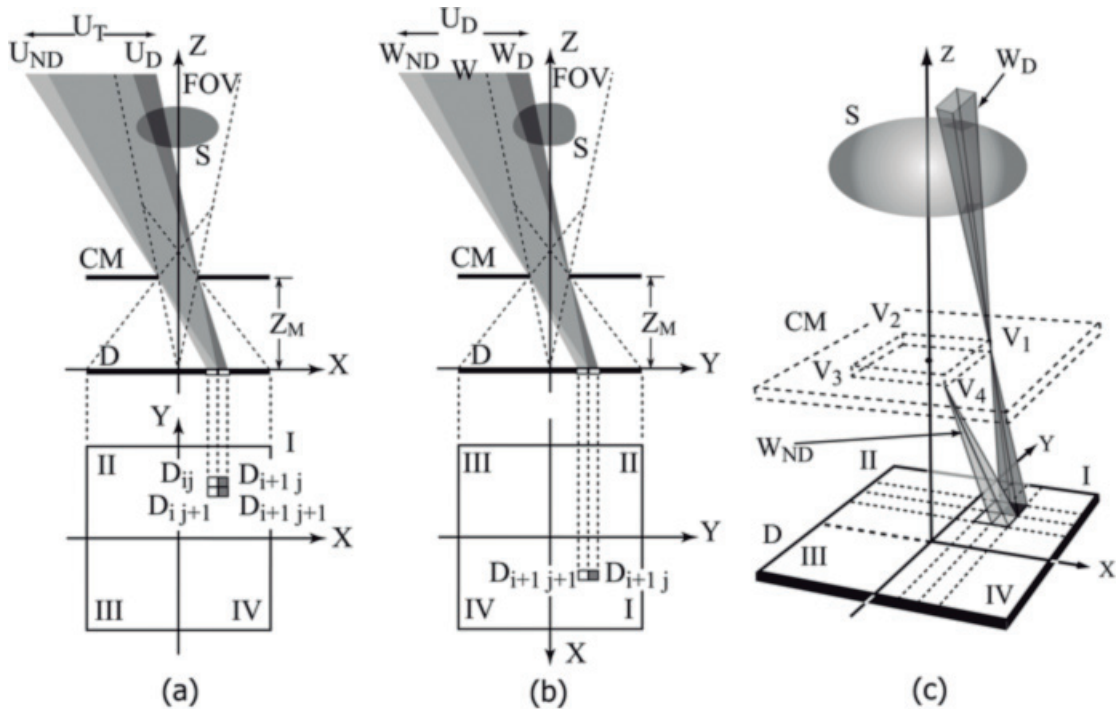


Fig. 6. Principios del método de detección diferencial en la técnica IAT. Se basa en el cálculo de las diferencias de fluencias detectadas por píxeles vecinos, de un conjunto de cuatro píxeles adyacentes. (a) Primera etapa en el cálculo del incremento diferencial en la fluencia según dirección X. (b) Subsiguiente cálculo del incremento diferencial en la fluencia según dirección Y. (c) Representación 3D del volumen de detección W_D .

co que permitió reducir parcialmente los efectos del ruido de Poisson preservando los bordes de la imagen. Como segundo paso, la imagen fue modelizada de acuerdo al método descrito arriba. Finalmente, la aplicación del operador derivada cruzada permitió obtener la reconstrucción de las cuatro proyecciones.

Resultados

Para estudiar las capacidades de resolución espacial de ambas técnicas, se simularon dos fuentes lineales. Éstas fueron colocadas paralelas entre sí y paralelas al plano XY, centradas según el eje Z. Las fuentes, de 4 cm de longitud, fueron colocadas a una distancia de 16,5 cm desde el detector. En el caso de la técnica IAT, los sistemas fueron configurados con aumento lateral unitario, de manera que las imágenes obtenidas con ambas técnicas sean comparables entre sí.

En la serie de figuras 7d–7k se muestran las imágenes obtenidas con ambos sistemas para diferentes valores de separación entre las fuentes en condiciones ideales, sin medio atenuante

entre las fuentes y el detector. En las figuras 7a–7c se ilustra el proceso de transformación desde la imagen original hasta la imagen final en el procesamiento de IAT. La figura 7a muestra la imagen original codificada obtenida directamente por el detector. La figura 7b muestra la imagen modelizada a partir de la imagen original anterior y la figura 7c muestra la imagen final luego de aplicarse el operador de decodificación a la imagen modelizada previa.

Se aprecia que las imágenes CG están resueltas (FWHM) cuando hay una separación de 12 mm o más entre las fuentes, mientras que las imágenes IAT aparecen resueltas a partir de una separación de 4,5 mm entre las fuentes, revelándose claramente que la técnica IAT tiene un poder de resolución considerablemente mayor que CG. Mientras que el sistema IAT detecta un total de 309.700 cuentas (Fig. 7h), CG solo detecta 2.890 cuentas (Fig. 7d), resultando entonces que la sensibilidad del sistema IAT supera en más de 100 veces a la sensibilidad de la CG. En ambos casos las fuentes emitieron un total de 10^7 fotones.

Posteriormente, se simularon cuatro fuentes fi-

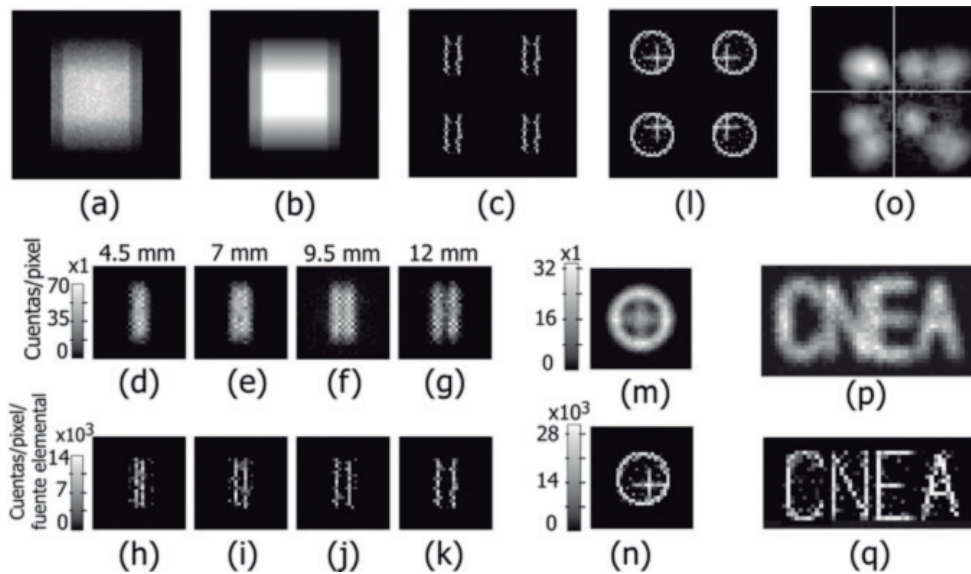


Fig.7. Pruebas comparativas de CG versus IAT, obtenidas mediante MCNP. (a) Imagen codificada original de dos fuentes lineales paralelas. (b) Imagen modelizada a partir de la imagen original. (c) Imagen final obtenida aplicando el operador de decodificación a la imagen previa. Fila central: Imágenes obtenidas mediante CG con colimador LEHR. Fila inferior: Imágenes IAT con aumento lateral unitario. En (d)-(k) se varía la separación entre las fuentes de acuerdo a los valores indicados. En (l), (m) y (n) se utilizó una distribución consistente en un anillo y una cruz filiformes ubicados en dos planos diferentes de Z constante. En (n) se muestra una única proyección desde un punto de vista, mientras que en (l) se muestran las cuatro proyecciones obtenidas simultáneamente. (o) Imagen de otra distribución de fuente 3D consistente en dos regiones esféricas que emiten fotones de manera uniforme e isotrópica en todo el volumen de las mismas. Los centros de las esferas están alineados con un punto de vista. En (p) y (q) se muestran imágenes obtenidas con una fuente filiforme compleja (logo CNEA).

lifformes, de tal manera que la distribución de actividad conforme las letras de la palabra CNEA (Comisión Nacional de Energía Atómica), extendiéndose sobre un área de 19 cm × 25 cm. Se obtuvieron las imágenes que aparecen en las figuras 7p y 7q. La diferencia entre las resoluciones espaciales de ambos sistemas se manifiesta claramente en la capacidad de separación de las letras. La separación real entre las letras del acrónimo es de 1,6 cm.

Se investigó la capacidad estereoscópica del sistema IAT simulando una fuente distribuida entre dos planos paralelos al detector. La fuente comprende un anillo circular filiforme de 10 cm de diámetro, colocado a 40 cm del detector y una cruz filiforme de brazos iguales de 10 cm × 10 cm colocada a 50 cm del detector. Ambas configuraciones tienen actividades totales iguales y se encuentran centradas según el eje Z del sistema. En la imagen de CG (Fig. 7m) se observa que la resolución de la cruz es más baja que

la correspondiente al anillo. Esto se debe a la degradación de la resolución espacial a medida que se incrementa la distancia fuente-detector. En cambio, la imagen IAT (Fig. 7n) muestra que la resolución espacial se mantiene similar sobre ambos planos. En la figura 7m, la cruz aparece registrada con una densidad menor que la correspondiente al anillo, esto es debido al diferente ángulo sólido subtendido por el colimador desde ambas fuentes. En contraste, en la figura 6.31b estas densidades aparecen correctamente ya que el algoritmo de reconstrucción de IAT tiene en cuenta los ángulos sólidos y corrige los valores de fluencia automáticamente. Además, es posible observar la diferencia en los puntos de vista y diferencias del registro de paralaje entre ambas técnicas. CG no registra cambios de paralaje entre el anillo y la cruz. Por el contrario, IAT registra cambios de paralaje entre ambas distribuciones (Fig. 7l). Las cuatro imágenes de la figura 7l fueron obtenidas en una única adquisición y muestran proyecciones de la

fuelle desde cuatro puntos de vista cercanos. Por esta razón, el anillo y la cruz tienen sus centros desplazados uno de otro de acuerdo a cuatro orientaciones diferentes que corresponden a cada uno de los posibles puntos de vista.

Finalmente, se investigó la capacidad estereoscópica del sistema IAT con una fuente 3D extensa. Ésta fue simulada mediante dos regiones esféricas que emiten fotones de manera isotrópica y uniforme en el volumen de las mismas. Las esferas están centradas en $(-1, -0,25, 27)$ cm y $(1,25, 1,25, 25)$ cm y tienen radios de 1,5 cm y 1 cm respectivamente. Las fuentes están posicionadas de manera que los centros de las esferas y uno de los puntos de vista se encuentran casi alineados sobre una misma recta. Se utilizó la configuración de larga distancia. Por lo tanto, la configuración tiene aumento $m > 1$ y $m \in [2,35, 5]$. En la figura 7o se muestran las imágenes finales decodificadas obtenidas según los puntos de vista: $(5, 5, 20)$ cm, $(-5, 5, 20)$ cm, $(5, -5, 20)$ cm, y $(-5, -5, 20)$ cm. Las proyecciones de las esferas sobre el plano XY tienen tamaños similares del orden de 9 cm de diámetro (14 píxeles). Son destacables las diferencias entre las cuatro imágenes según el punto de vista registrado.

Conclusiones

En la primera parte del trabajo, se han demostrado los principios de una nueva técnica: Imágenes con Fuente Codificadora (IFC), que se presenta como una alternativa a las imágenes radiográficas con rayos X. IFC cuenta con varias ventajas sobre las técnicas radiográficas convencionales. En primer lugar, se basa en el uso de fuentes extensas, abriendo el camino al uso de las fuentes radiactivas para sistemas radiográficos. IFC permite la adquisición simultánea de cuatro proyecciones desde cuatro puntos de vista diferentes, compitiendo de esta manera ventajosamente con la radiografía estereoscópica convencional. IFC puede utilizarse conjuntamente con tubos de rayos X de diseño novedoso, que utilicen blancos extensos con haces de electrones no focalizados y por lo tanto tendrán menores problemas de disipación térmica que los tubos convencionales con spots focales cuasi-puntuales. Además, IFC permite mayor flexibilidad en la selección

del espectro de rayos X que en la radiografía convencional.

Se mostró mediante simulaciones por Monte Carlo la validez de los principios de la nueva técnica aplicada a dos objetos esféricos atenuantes. IFC permitió separar los dos objetos que se encontraban alineados con uno de los puntos de vista. Estos casos de superposición no pueden ser resueltos con la radiografía monoscópica convencional. Además, la capacidad estereoscópica del sistema IFC permite conocer la posición exacta de los objetos atenuantes.

Por último, digamos que la utilización de un sistema IFC con una pequeña fuente radiactiva gamma de I-125 o de Am-241 de baja fluencia, en conjunción con un pequeño detector tipo fotón-único, se puede constituir en un interesante dispositivo para obtener imágenes radiográficas de sectores muy localizados, brindando información espacial 3D con mínima dosis al paciente.

En la segunda parte del trabajo, se demostraron los principios de una nueva técnica: Imágenes de Apertura Total (IAT), que permite obtener imágenes de distribuciones 3D de densidad de radiación gamma sin el uso de colimadores, presentándose como una alternativa a las técnicas convencionales de centellografía planar y SPECT que utilizan la Cámara Gamma (CG).

Las simulaciones mediante métodos de Monte Carlo permitieron comprobar la validez de los principios de la técnica propuesta. Además, permitieron comparar las técnicas de CG y IF técnicas bajo condiciones ideales e idénticas: detectores iguales con respuestas energéticas y espaciales perfectas; distancias detector-fuentes iguales e igual número de fotones emitidos por la fuente.

Las simulaciones hechas sin medio atenuante permitieron mostrar la validez de los principios de la técnica IAT propuesta. De esta manera, los resultados de la nueva técnica no son perturbados por efectos espurios como la absorción fotoeléctrica y la dispersión Compton.

Los resultados obtenidos muestran que la técnica IAT tiene mayor sensibilidad (> 100 ve-

ces) y mayor resolución espacial ($> 2,6$ veces) que CG con colimador LEHR. Se demostró, que el método que decodifica IAT permite la reconstrucción simultánea de cuatro proyecciones diferentes de campo cercano, mientras que CG permite solo una proyección por adquisición. Las cuatro imágenes producidas por IAT representan la misma distribución de actividad desde cuatro diferentes puntos de vista. Las cuatro proyecciones se encuentran localizadas en campos imagen separados sobre el plano detector. Por lo tanto, nunca hay una superposición de imágenes aún con fuentes extremadamente complejas. Sin embargo, el número total de píxeles disponibles para formar cada imagen, es un cuarto del número total de píxeles del detector.

Por otro lado, la irrelevancia de los efectos de colimación parcial sobre la MC de IAT, permitiría el uso de fuentes gamma con energías superiores a 140 KeV, como las fuentes de positrones (511 KeV) o isótopos que produzcan energías aún mayores.

En general, la información provista por los coeficientes p_i permite reconstruir la distribución espacial (3D) de la fuente en la región FOV. Esta propiedad de adquisición 3D permitiría mediciones de distancias en el espacio FOV 3D, cortes a través de planos de Z constante y cuantificación de la concentración de actividad espacial.

Además, es posible usar técnicas de renderizado volumétrico para visualizar el campo escalar 3D – en este caso, la concentración espacial de actividad– sobre un plano 2D. Se pueden aplicar técnicas similares a aquellas como las usadas en SPECT (Wallis y Miller, 1990). Además, un renderizado adecuado podría ser utilizado para alimentar sistemas de visión estereoscópicos y holográficos.

En resumen, los resultados muestran que es posible aplicar una técnica extremadamente simple de imágenes codificadas y obtener información de la distribución espacial 3D de actividad, en una única adquisición, para fuentes de geometría sencilla. Los resultados son suficientemente promisorios para continuar las investigaciones con fuentes más complejas y pruebas con fantomas, encaminadas a la aplicación de la nueva técnica IAT a la Medicina Nuclear.

GLOSARIO:

Ci: El curie (abreviatura: Ci) es una unidad de radioactividad, es decir, de la tasa de desintegración de núcleos radiactivos. Un curie se define como la actividad de un gramo de Ra-226 (radio 226).

VOXELIZACIÓN: Discretización del espacio 3D (en nuestro caso, el campo de visión FOV) en elementos de volumen finitos, consecuencia del muestreo espacial discreto en el detector. Cada vóxel tiene asociado una ubicación espacial y porta información (la densidad de radiación emitida en ese punto). La información es uniforme en todo el volumen del vóxel. Representa el menor elemento de volumen que el sistema permite resolver en un entorno alrededor de cada punto del espacio FOV.

ESPESOR SEPTAL: (equivale a espesor del tabique, del latín septum, tabique, pared). Alude en este caso a los tabiques de plomo que dividen la estructura interna del colimador en celdillas cilíndricas, prismáticas hexagonales, o de otras formas geométricas, según el tipo de colimador. El espesor septal se refiere al espesor de estos tabiques de plomo.

FANTOMA: En el presente trabajo, el fantoma alude a un dispositivo (generalmente hecho de acrílico u otros materiales plásticos) que alberga diferentes configuraciones geométricas de fuentes radiactivas (generalmente se usan fuentes líquidas). Permite obtener configuraciones de una o varias fuentes lineales, cilíndricas, esféricas, y patrones planos o tridimensionales varios, con el fin de evaluar magnitudes como resolución espacial, uniformidad, linealidad y contraste en sistemas de Cámara Gamma para técnicas de centellografía planar y tomografía SPECT. En algunos casos, el fantoma también emula formas geométricas de órganos del cuerpo humano.

Referencias

- ACCORSI, R. y METZLER, S.D. (2004), IEEE Trans. Med. Imaging 23, 750.
- ANDERSON, C.A.; KELLY, K.C. y GOORLEY, J.T. (2012), Simulia Customer Conference, Providence RI, May 15-17, LA-UR-12-00139.
- BALLABRIGA, R. y colaboradores (2011), Nucl. Instr. and Meth. in Physics Re-search A, 633, 1, S15.
- MOORE, S. C.; KOURIS, K. y CULLUM, I. (1992), Eur. J. Nucl. Med. 19, 138.
- STROCOVSKY, S.G. y OTERO, D. (2006), Conference on Quality Assurance and New Techniques in Radiation Medicine (QANTRM), Austria Centre Vienna. IAEA-CN-146/ 127P. http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:38002607
- STROCOVSKY, S.G. y OTERO, D. (2007), "Diseño de fuente de rayos X para imágenes médicas por simulación de Monte Carlo", en "Modelización aplicada a la ingeniería", primera edición., vol 2, W. Legnani, P. Jakovkis, R. Armentano, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.
- STROCOVSKY, S.G. y OTERO, D. (2010), Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. 2010, 3630.
- STROCOVSKY, S.G. y OTERO, D. (2011), AIP Advances 1, 022121.
- STROCOVSKY, S.G. y OTERO, D. (2012), "Sistemas de imágenes médicas 3D con fuentes extensas de rayos X y gamma", Tesis de doctorado en Ingeniería, mención en procesamiento de señales e imágenes, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.
- WALLIS, J. W. y MILLER, T. R. (1990), J. Nucl. Med. Assoc. 31, 1421.
- WEI, J. y colaboradores (2012), Proc. of SPIE, 8315, 8315D-1.
- ZENIYA, T. y colaboradores (2004), Eur. J. Nucl. Med. Mod. Imag. 31, 1166.

Modelización del mercado energético argentino mediante *cluster analysis*

César Bucci¹, Walter Legnani¹

1 Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires,
Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación productiva,
Medrano 951 (C1179AAQ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

ingbucci@yahoo.com.ar

Recibido el 13 de Abril de 2012, aprobado el 18 de Agosto de 2012

Resumen

El presente trabajo reseña un estudio pormenorizado y minucioso sobre la matriz energética argentina que tiene en cuenta todas las fuentes de energía (primarias y secundarias) siguiendo la metodología y la agrupación de valores según la serie histórica de datos del balance energético nacional entre los años 1970 y 2005 que han sido elaborados por la Secretaría de Energía de la Nación. Luego de ello, se realizó un completo análisis de los modelos energéticos y económicos del país, haciendo especial hincapié en las fuentes de energía que gravitan con mayor peso dentro de la matriz energética. Para tal fin, se implementó una herramienta computacional y estadística conocida como *cluster analysis*, utilizada frecuentemente para la identificación de patrones de comportamiento de un determinado sistema. Ello permitió caracterizar a las fuentes de energía y al hábito de consumo, lo que permitió arribar a las conclusiones que contribuirán a un mejor y más eficiente uso técnico- económico de los recursos energéticos.

PALABRAS CLAVE: MATRIZ ENERGÉTICA PRIMARIA Y SECUNDARIA - BALANCE ENERGÉTICO NACIONAL - KMEANS CLUSTER ANALYSIS

Abstract

The developed work provides a detailed and careful study about Argentina's energy matrix that takes into account all energy sources (primary and secondary) by means of the methodology and the grouping of values according to the time data series of the national energy balance between 1970 and 2005. These have been developed by the Energy Secretary. After that, we proceeded with a complete analysis of energy and economic country models, with a particular emphasis on energy sources that weigh more heavily in the energy matrix, and thus being the most widely used for developing economic and social activity. To reach this aim it was implemented a computational and statistical tool known as cluster analysis that is frequently used to identify patterns of behaviour of a given system. It allowed us to characterize energy sources and the habit of consumption and subsequently to arrive at conclusions that will contribute to a better and more efficient use of technical - economical energy resources.

KEYWORDS: PRIMARY AND SECONDARY ENERGY MATRIX - NATIONAL ENERGY BALANCE - KMEANS CLUSTER ANALYSIS

* El presente artículo forma parte del trabajo de tesis "Modelización del mercado energético argentino mediante cluster analysis" para optar al grado de Magister en Administración de Negocios, bajo la dirección del Dr. Walter Legnani.

Introducción

Generalidades del mercado energético

Desde hace prácticamente un siglo, el desarrollo de la actividad económica e industrial en el país estuvo fuertemente asociado al consumo energético de fuentes de energía no renovables¹ (Serie histórica de datos de Balance Energético Nacional (BEN), Secretaría de Energía de la Nación, 2006).

Si se toma por ejemplo el período que va desde los años '70 hasta el presente, se observa que las fuentes de energía de origen fósil han tenido una participación cercana al 90% de la matriz energética (MEN) primaria. En aquel momento la utilización de las mismas representaba 71% para el petróleo y 18% para el gas natural. En la actualidad la tendencia del 90% para combustibles fósiles se mantiene constante, mientras que la participación de ambas fuentes se invirtió, quedando 50% para el gas natural y 39% para el petróleo² (BEN, Secretaría de Energía de la Nación, 2006).

Por su parte, la MEN secundaria³, también ha experimentado grandes cambios en cuanto a las proporciones y a la utilización de los recursos. En los años '70 el fuel oil representaba el 30% de la matriz energética y el gas oil el 18%, mientras que en el presente, luego de un notorio cambio en el hábito de consumo, ha quedado el gas distribuido por redes con un 48% y el gas oil con un 15% (BEN, Secretaría de Energía de la Nación, 2006).

Lo expuesto hasta el momento hace suponer que la matriz energética argentina ha evolucionado hacia la "gasificación" del mercado energético.

Generalidades de los métodos de agrupación de conglomerados

Los modelos del presente trabajo se implementaron mediante la técnica de estadística matemática conocida como *kmeans cluster analysis* (kca) (Timm; 2002). Para realizar este procesamiento se ha seleccionado el *software ClustanGraphics* dado que proporciona un ac-

ceso rápido y eficiente a las herramientas más importantes para realizar los estudios necesarios y por otra parte, el equipo de investigación que desarrolló el presente trabajo cuenta con una licencia académica para su utilización.

Visto que una de las características del análisis de conglomerados, es la determinación de las distancias entre agrupamientos o *clusters*, en el caso presente se adoptó la medida euclídea (Timm; 2002). Por igual motivo, mediante la metodología conocida como kca (Jain and Dubes; 1988 y Pelleg and Moore; 2000) se trabajó en la obtención de un modelo que fuera representativo de la estructura del mercado energético actual y que pudiera emplearse para el diseño de estrategias económicas, comerciales y geopolíticas a nivel nacional.

Los algoritmos diseñados para realizar los conglomerados de datos se suelen dividir en dos grandes categorías denominadas jerárquicas y no jerárquicas, en este trabajo se empleó el método no jerárquico *k-means* y también las técnicas tradicionales utilizadas para determinar el número de *clusters* que se describirán más adelante (Timm; 2002). La justificación del número de *clusters* fue validada mediante la técnica conocida como *bootstrapping*. A continuación se realizaron gráficos con la evolución de los distintos tipos de energía incluyendo los *clusters* obtenidos. Se verificaron las relaciones entre los tipos de energía y dichos *clusters*, y se buscaron patrones que permitieron determinar las cercanías entre *clusters* y los tipos de energía para establecer una relación entre los más cercanos o similares entre sí.

Una vez validada la cantidad y tipo de *clusters*, se establecieron concordancias entre *clusters* y tipos de energía para las relaciones o similitudes halladas entre ambos, las cuales contribuyeron a la comprensión del comportamiento del mercado energético argentino.

A su vez, los resultados también fueron validados mediante la comparación con otros modelos y estudios realizados tanto por consultores privados como del gobierno nacional.

1 Balance Energético Nacional: es una metodología de cálculo que permite realizar comparaciones con modelos energéticos de otros países o de instituciones relacionadas.

2 Se refiere a las fuentes de energía en el estado que se extrae o captura de la naturaleza.

3 Se refiere a los productos energéticos producidos a partir de energías primarias o secundarias en los centros de transformación, con la finalidad de hacerlas más aptas a los requerimientos del consumo.

Alcances y limitaciones

El presente análisis, abarcó tanto el mercado energético local como el internacional e incluyó todos los tipos de energía definidas y especificadas en el BEN en el período comprendido entre 1970 y 2005, además de otros datos provenientes de organismos estatales y privados, nacionales e internacionales, correspondientes al sector energético hasta el año 2008. Posteriormente en base a los datos suministrados, se realizó una comparación con algunas fuentes de energía del mercado energético mundial proporcionados por la Energy Information Administration (EIA-Official Energy Statistics from the US Government) a efectos de:

- Modelar y caracterizar el mercado energético argentino
- Identificar y comprender el comportamiento de los mercados energéticos
- Obtener información y resultados que permitan resolver la problemática actual
- Obtener información y resultados que permitan establecer una política energética sustentable a largo plazo
- Reducir y/o sustituir la utilización de hidrocarburos en la producción de energía
- Desarrollar fuentes alternativas de energía, especialmente las de origen renovable
- Fomentar el uso eficiente de la energía.

Cabe destacar que la fuente oficial de la cual se han tomado gran parte de los datos y las estadísticas fue la Secretaría de Energía de la Nación, cuya característica es que la realización de los informes oficiales requiere 2 años de elaboración hasta su emisión preliminar, mientras que los informes oficiales definitivos toman 3 años hasta su emisión. Por lo tanto, para la presentación de los resultados en el resumen final detallado por tipo de energía, se han utilizado los datos oficiales definitivos del BEN (1970-2005) desarrollados mediante la técnica conocida como *Cluster Analysis*. Además de datos del BEN, se contemplaron también otros datos puntuales de reconocidos organismos, que llegan hasta 2008.

El período en el cual se realizó el presente trabajo se extendió desde mediados de 2007 hasta mediados de 2009, ello implica que parte del análisis tiene en cuenta la escasez de energía sufrida en el período, debido a la gran actividad económica experimentada hasta mediados de 2008, momento en el cual comienza a declinar la actividad industrial y por ende, se normaliza el suministro energético a valores más estables.

Ello implica que cierta parte de las tendencias previstas en su momento puedan verse afectadas por el cambio abrupto e inesperado en la economía mundial y por ende en los precios de

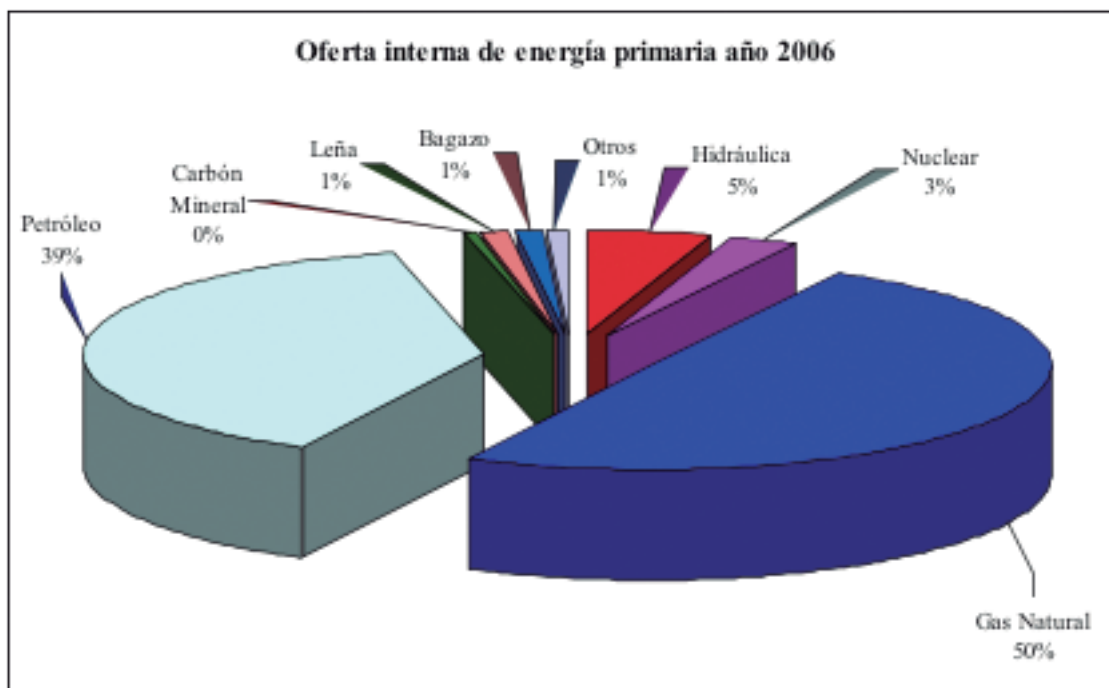


Fig. 1. Matriz energética primaria año 2006 (Fuente: Secretaría de Energía de la Nación)

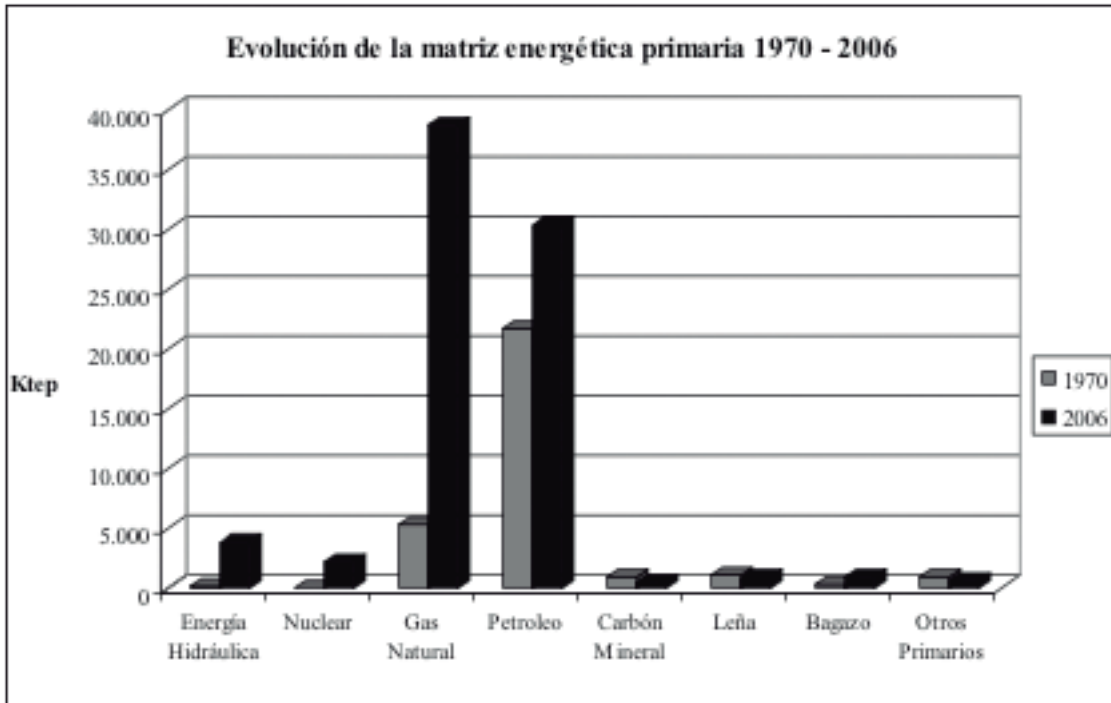


Fig. 2. Evolución de la matriz energética primaria 1970-2006, en Ktep⁴ (Fuente: Secretaría de Energía de la Nación)

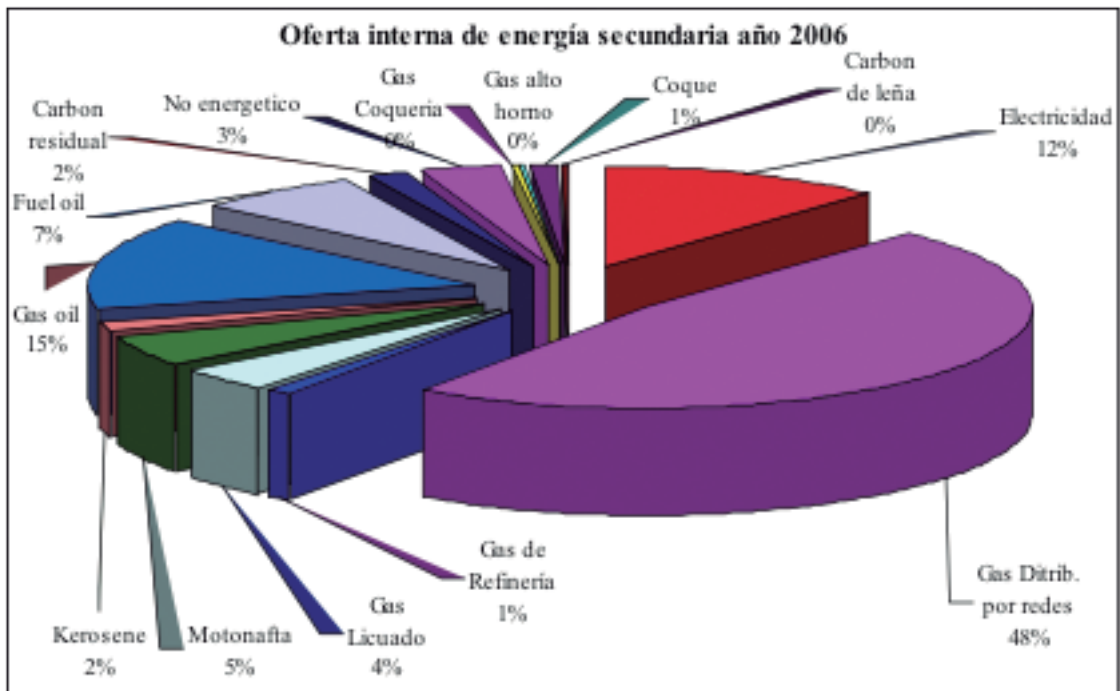


Fig. 3. Matriz energética secundaria año 2006 (Fuente: Secretaría de Energía de la Nación)

⁴ Kilo Toneladas Equivalentes de Petróleo

la energía en todas sus formas. Es de esperar que la desaceleración de la economía también haya traído aparejada una disminución del consumo energético, lo cual tiene repercusiones en los modelos matemáticos utilizados y en las ecuaciones económicas que definen las inversiones en materia energética hacia distintos tipos de fuentes de energía.

El mercado energético argentino

Descripción de la matriz energética

El concepto de matriz energética está asociado fundamentalmente a la agrupación por tipo de energía, las cuales a su vez son segregadas dependiendo que se trate de un recurso primario o secundario y comprende a las distintas fuentes y recursos renovables y no renovables que se utilizan para generar la energía necesaria para movilizar la industria, el transporte, la economía en general y dar bienestar a la sociedad. Estos grandes grupos llamados fuentes de energía primaria y secundaria a su vez están divididos en subgrupos por tipo o fuente de energía. La función de los mismos es discriminar el origen y el uso de cada fuente de energía a efectos de clasificarlas y posteriormente analizarlas con claridad (según la clasificación de la Secretaría de Energía de la Nación).

Fuentes de energía primaria

El grupo de la llamada Energía Primaria está subdividido en ocho tipos de energía y representa la energía extraída de la naturaleza en estado bruto, sin ningún tratamiento ni proceso que le genere valor agregado.

En la figura 1 se observa la matriz energética primaria argentina que corresponde al año 2006. Si bien los porcentajes pueden variar año a año, es importante resaltar que los tipos de energía se mantienen iguales en todo el período analizado.

En la figura 1 se denota claramente que existen dos actores preponderantes en la escena de la matriz energética primaria, ellos son el petróleo con un aporte del 39% y el gas natural con el 50%. Es decir que entre ambos dominan la escena energética argentina con casi el 90% del total, en cuanto a recursos primarios. Luego aparece un segundo grupo, conformado por seis tipos de energía con una participación cercana al 10%. Lo que implic-

que hay una tendencia que acentúa más el uso de energías de origen fósil.

En la figura 2 se puede apreciar un crecimiento abrupto en la utilización de gas natural como combustible (período 1970-2006), registrándose también un crecimiento en la utilización de petróleo, aunque en menor medida.

Existen cuatro tipos de energía que no han sufrido prácticamente variación: el carbón mineral, la leña, el bagazo y otros primarios.

Por último, el tipo de energía preponderante es el gas natural que ha aumentado su utilización en un 620% en los últimos 35 años. El mayor incremento se dio por la ampliación de los gasoductos y la utilización masiva de este tipo de energía para uso doméstico, industrial y, fundamentalmente, el vuelco del parque automotor y las centrales termoeléctricas al gas natural.

Fuentes de energía secundaria

El grupo de la llamada Energía Secundaria está subdividido en catorce tipos y representa la energía que ha sido extraída de la naturaleza en estado bruto y que ha sido transformada de energía primaria a energía secundaria mediante el empleo de procesos o tratamiento que la convierten en un bien utilizable por el consumidor.

En la figura 3 se observa la matriz energética secundaria de la República Argentina que corresponde al año 2006. Como se mencionó anteriormente, si bien los porcentajes pueden variar año a año, es importante resaltar que los tipos de energía continúan siendo los mismos durante el período analizado.

En la misma figura se ve claramente que existe un actor preponderante en la escena de la matriz energética secundaria, el gas distribuido por redes con un 48% de participación. Es decir que, este último sumado al gas oil y a la electricidad son claros dominadores de la escena energética argentina con el 75% en cuanto a recursos secundarios se refiere. Luego aparece un segundo grupo, conformado por once tipos de energía con una participación del 25%. Lo que implica que hay una tendencia más que acentuada al uso de energías de origen fósil y, especialmente, orientado al uso del gas distribuido por redes.

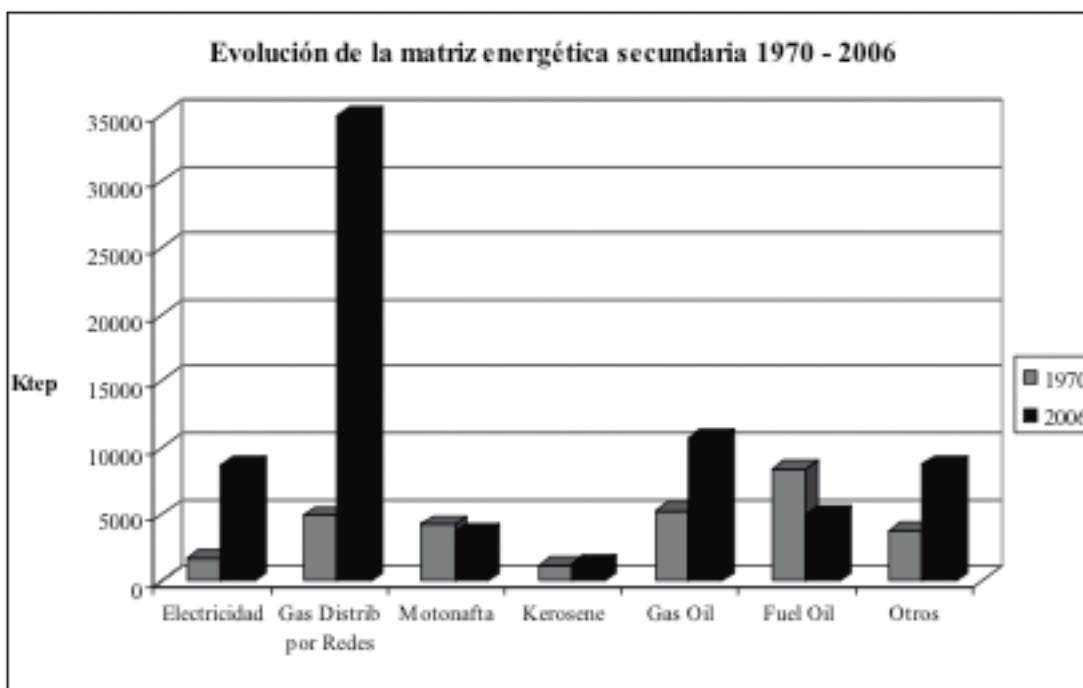


Fig. 4. Evolución de la matriz energética secundaria 1970-2006
(Fuente: Secretaría de Energía de la Nación)

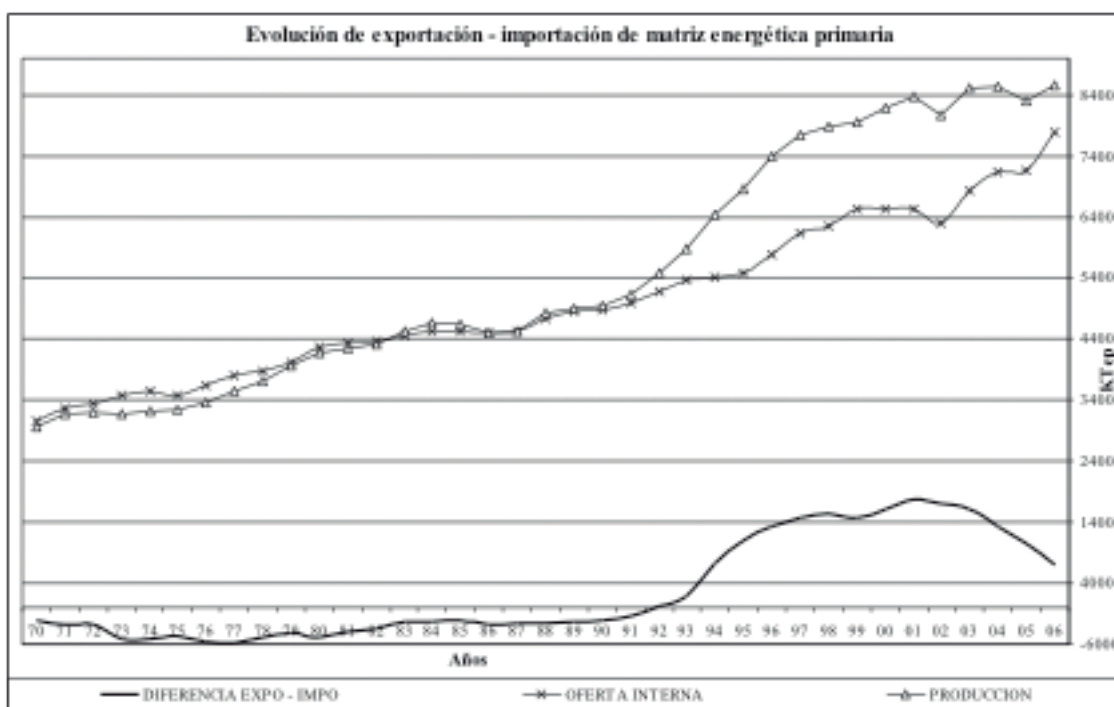


Fig. 5. Evolución de la exportación - importación de energía primaria
(Fuente: Secretaría de Energía de la Nación)

En la figura 4 de la página siguiente se observa un crecimiento abrupto en el uso de gas distribuido por redes como combustible, y por otra parte, la menor utilización de combustibles líquidos. Lo que implica tanto en la matriz energética primaria como en la secundaria, una "gasificación" del mercado energético.

De aquí se desprende que existe un grupo compuesto por el gas distribuido por redes y la electricidad que denota el mayor crecimiento, y un segundo grupo con una variación más moderada, compuesto por el resto de los tipos de energía.

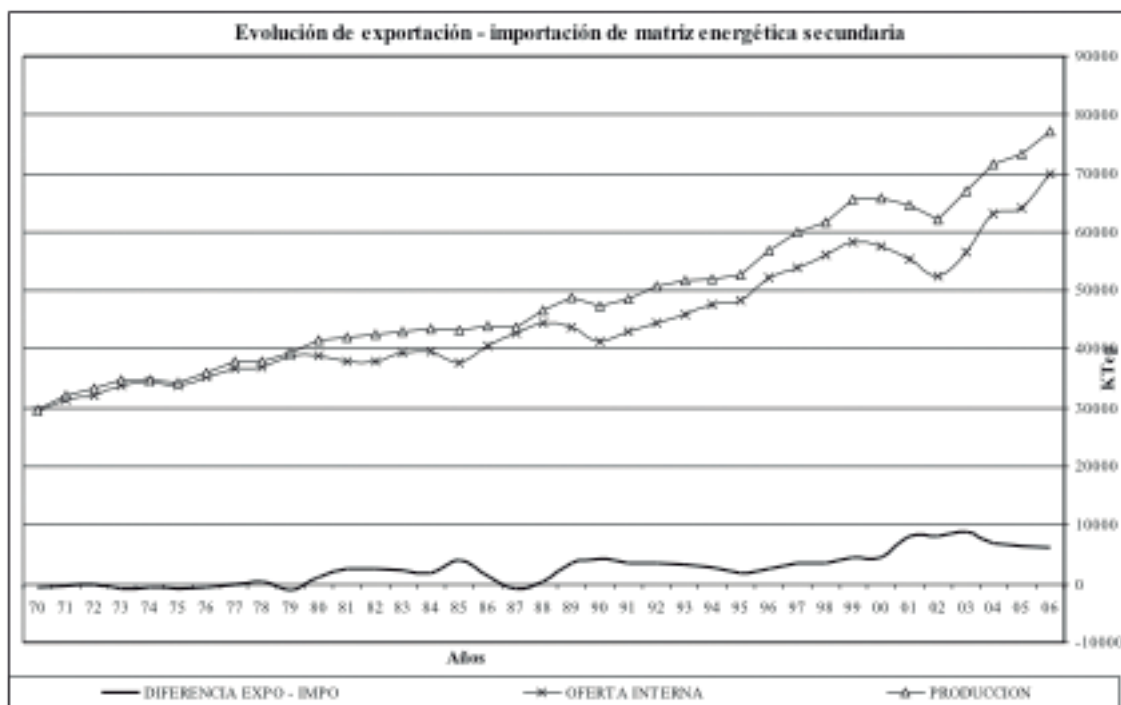


Fig. 6. Evolución de la exportación – importación de energía secundaria (Fuente: Secretaría de Energía de la Nación)

Mercado energético de energía primaria

De acuerdo con lo planteado los principales actores del mercado energético argentino son el petróleo y el gas en el primer grupo, y el gas oil y el gas distribuido por redes, en el segundo. Este mercado está integrado por los productores de energía que se encuentran en el lugar de producción o extracción del elemento energético.

Como se observa en la figura 5, en Argentina se ha crecido sostenidamente en los últimos treinta y siete años a un ritmo cercano al 3% y al 2% anual promedio en cuanto a producción y oferta interna de energía primaria respectivamente. Existe una estrecha relación entre la evolución de la energía primaria y el PBI, por eso, mientras que el país experimenta un crecimiento en materia de desarrollo económico e industrial, las fuentes de energía primaria acompañan ese crecimiento.

Por otra parte, se observa que nuestro país ha sido un importador de energía primaria hasta el año 1991. A partir del año 1992 se ha revertido esa tendencia pasando a ser un exportador hasta el año 2001, con una tasa de crecimiento promedio anual en dicho período de 60%. A partir del año 2002 y hasta el 2006, debido prin-

cipalmente a la declinación de las reservas petrolíferas, el decrecimiento en las exportaciones ha registrado una caída promedio anual de 17%. Según datos oficiales preliminares del 2007, las exportaciones han continuado con la tendencia decreciente llegando a valores de exportación de tan solo 400 Ktep⁵, lo cual representa una caída cercana al 90% respecto al año anterior.

Todo país que tenga en sus planes el desarrollo de su economía, deberá contemplar indefectiblemente un plan energético que guarde relación con la planificación de las expectativas de crecimiento a futuro.

Mercado energético de energía secundaria

Este mercado está integrado por las empresas encargadas de transformar la energía primaria en secundaria, para luego ser fraccionada y comercializada al mercado consumidor. Donde la más importante es el gas distribuido por redes y seguida por el gas oil y luego por la electricidad.

En la figura 6 se observa que el consumo de energía secundaria también presenta una tendencia prácticamente constante de crecimiento cercana al 5% anual en promedio, haciendo la salvedad del período entre los años 2001 a



Fig. 7. Esquema de dendograma y agrupación jerárquica

2003 en el que por efectos de la disminución de la actividad económica, es evidente una caída en el consumo de energía secundaria del orden del 15%, lo cual trajo aparejado indudablemente que los volúmenes sobrantes de combustibles fundamentalmente líquidos se hayan destinado hacia la exportación.

En consecuencia si se compara este gráfico con el de exportación de gas oil, se puede inferir que la componente de la matriz energética constituida por la energía secundaria guarda mayor relación con los combustibles líquidos, hecho que es de suponer, debido al peso relativo que tienen los mismos sobre el total de los valores de las fuentes que participan en dicha componente.

Como contrapartida de lo expresado en el balance de la electricidad, se puede observar en la figura 6 que el país, salvo hechos puntuales, ha sido constantemente un exportador de energía secundaria, manteniendo desde hace seis años niveles prácticamente constantes de exportación.

Elaboración de los modelos en base a *cluster analysis* y al balance energético nacional

Métodos de agrupación de conglomerados o *cluster analysis*

El modelado se implementó mediante la técnica de estadística matemática conocida como

kmeans cluster analysis (kca) que en español recibe el nombre de agrupación de conglomerados y que también se emplea en ciencias de la computación en lo que se denomina *data mining* (Timm; 2002).

El *cluster analysis* está relacionado con la identificación de grupos en conjuntos de datos. El principal objetivo de estas técnicas es la división o partición de un grupo de observaciones en un número de subgrupos o agrupamientos que en inglés se denomina *cluster* de tal manera que todas las observaciones dentro de un subgrupo sean similares entre sí y se diferencien en la mayor medida posible de las observaciones pertenecientes a otros *clusters*, mientras que las observaciones de diferentes agrupamientos no tienen que ser similares entre sí (Timm; 2002).

De alguna manera el objetivo de esta metodología es detectar estructuras en los conjuntos de datos que se hallan ocultas.

Los métodos de aglomeración jerárquica emplean elementos de una matriz de proximidad para generar un diagrama de árbol o dendograma como se muestra en la figura 7.

El proceso comienza con 5 *clusters* los cuales se dividen en tres ramas. Combinando el ítem del nivel 1 con el nivel 2 se reduce el número de *clusters* en uno, es decir se pasa de 5 a 4. Uniendo luego los ítems entre los *clusters* 3 y 4 se reduce aún más llegando a 3. El siguiente

paso es unir el ítem 5 con el *cluster* (3,4), resultando de esta manera 2 *clusters*. Finalmente, todos los ítems son combinados para formar un *cluster* único, que se constituirá en la raíz del árbol o tronco principal del mismo.

Como los diferentes ítems se han movido de izquierda a derecha los grupos de ítems se combinaron de tal manera que nunca más serán separados. La figura 7 representa el proceso de agrupación mediante un proceso de tipo aglomerativo.

El título en la parte superior del diagrama representa el número de *clusters* en cada paso del proceso. El mismo diagrama de la figura 7 puede interpretarse como un método de agrupación de conglomerados o *clusters* jerárquicos de tipo divisivo, si uno se mueve de derecha a izquierda para crear cada una de las ramas del árbol.

De una forma más general, dada una matriz de proximidad $D = [d_{rs}]$, los pasos para crear un algoritmo de aglomeración jerárquico se pueden esquematizar como sigue:

1. Comenzar con n *clusters*, cada uno conteniendo un objeto simple.
2. Buscar en la matriz de disimilaridad el par de objetos más similares. Este par estará asociado con el elemento d_{rs} de tal manera que el objeto r y el objeto s son seleccionados.
3. Combinar los objetos r y s dentro de un nuevo *cluster* (rs) empleando algún criterio que permita reducir el número de *clusters* en 1 eliminando la fila y la columna de los objetos r y s . Calcular las disimilaridades entre el *cluster* (rs) y todos los restantes *clusters* utilizando para ello el criterio de distancia seleccionado y agregar una fila y una nueva columna a la nueva matriz de disimilaridad.
4. Repetir los pasos 2 y 3, $(n-1)$ veces hasta que todos los objetos formen un *cluster* simple. En cada paso se deben identificar los *clusters* que van apareciendo y los valores asociados en la matriz de disimilaridad actualizada.

Si se cambia el criterio de distancia en el paso 3, se obtienen diversos métodos de aglomeración jerárquica, entre los que se pueden mencionar: vinculación simple o del vecino más cercano, vínculo completo o *fasthest neighbor*, método del vínculo promedio, método del centroide, método de Ward (o suma incremental de cua-

drados) para más detalles ver (Timm; 2002).

Si se está interesado en métodos de *clusterización* no jerárquicos, el número de *clusters* o conglomerados es desconocido, el proceso comienza con una matriz de proximidad o disimilaridad y a un objeto se lo asigna a un *cluster* y no se lo vuelve a relocalizar. Cuando se emplean métodos de vinculación se pueden *clusterizar* ítems o variables, en cambio cuando se emplean métodos de agrupación de conglomerados no jerárquicos solo se pueden agrupar ítems (Timm; 2002). El proceso comienza utilizando la matriz de datos originales Y , en lugar de hacerlo con una matriz de disimilaridad D . En esta forma de agrupamiento se debe conocer de antemano el número de *clusters* k en los cuales se ubicarán las semillas o centroides de los *clusters*, y las observaciones se reagrupan reasignándolas a alguno de los *clusters* en base a algún criterio de reubicación, continuando con este proceso hasta que se llega a algún fin dado en base a determinada regla predefinida.

Los procedimientos de *clusterización* no jerárquica siguen usualmente los siguientes pasos (Everitt, 1993 y Decker y Lenz; 2007).

1. Seleccionar los k (n -dimensionales) centroides de los *clusters* o semillas.
2. Asignar cada observación al centroide más cercano usando alguna norma y alguna medida de distancia, usualmente la distancia euclídea.
3. Reasignar cada observación a uno de los k *clusters* basándose en algún criterio.
4. Finalizar el proceso si no se puede realizar ninguna relocalización de las observaciones en ningún *cluster* o si la reasignación satisface algún criterio de convergencia, en otro caso retornar al paso 2.

La implementación de agrupamientos no jerárquicos puede realizarse mediante una variada cantidad de métodos, que surgen de diferentes formas de seleccionar la determinación de los k *clusters*, la elección de diferentes normas de medida, y los diversos criterios que se pueden adoptar para la reubicación de las observaciones (Witten and Frank; 2005 y Gan et al.; 2007).

Tal como se describió previamente el método de agrupamiento no jerárquico comienza seleccionando k centroides o semillas. Estas k semillas pueden ser las primeras k observaciones, que pueden estar tomadas con cierto nivel de

separación, o en forma aleatoria, los algoritmos comienzan con semillas aleatorias y luego mediante algún algoritmo muy bien definido, las reubican. Una vez que las semillas son seleccionadas, cada una de las observaciones es evaluada para asignarla a uno de los *clusters* definidos por las mismas.

Los pasos se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Seleccionar k semillas.
2. Asignar cada una de las $(n \times k)$ observaciones a la semilla más próxima y con esta incorporación recalcular el centroide del *cluster*.
3. Repetir el paso 2 hasta que todas las observaciones son asignadas a un *cluster* o los cambios en los centroides son pequeños (o dicho de otra forma no se produce una reasignación de *cluster* a las observaciones).

En el paso 2 la semilla puede o no ser actualizada. De esta forma se pueden emplear dos pruebas para determinar si se debe realizar el reemplazo. Una observación puede reemplazar a una o un par de semillas si la distancia entre las semillas es menor que la distancia entre una observación y la siguiente semilla más próxima. La semilla desplazada se transforma en una observación para el recálculo de los centroides. Si una observación falla esta prueba se puede plantear una segunda instancia de evaluación (Timm; 2002).

La observación reemplaza la semilla más próxima si la distancia euclídea de la misma a todas las semillas próximas es mayor que la menor distancia de la semilla más cercana al resto de las semillas.

En una primera instancia todas las observaciones son asociadas con k *clusters*. Luego este proceso se repite hasta que los cambios en las semillas de los *clusters* son pequeños basados en algún criterio de convergencia.

Como primer paso se puede emplear un esquema de tipo jerárquico para identificar tanto las semillas iniciales como el número de *clusters*, estas luego se pueden emplear como dato de entrada dentro de algún procedimiento de aglomeración no jerárquico para refinar la solución. Esta es justamente la metodología empleada en el presente trabajo (para más detalles se puede consultar a Jain and Dubes; 1988 y el trabajo de Pelleg and Moore; 2000).

La confirmación del número de los *clusters* que se tomaron como modelos representativos del mercado energético fue validada estadísticamente mediante la técnica conocida como *bootstrapping* (Efron; 1979, 1982, Efron y Tibshirani 1998). El *bootstrap* es un procedimiento estadístico que muestrea modelos de una población mediante el proceso de remuestreo de la muestra, y fue introducido formalmente por Efron en 1982.

Si una determinada cantidad estadística se expresa como función de una distribución desconocida, entonces el estimador *bootstrap* tiene la misma funcionalidad que la función de distribución empírica (Timm; 2002 y Efron; 1982).

Este método está basado en el procedimiento estadístico de muestreo sobre el conjunto de muestras, ya sea medidas en el laboratorio o resultado de un experimento, que bien puede ser con o sin reemplazo. En el caso del presente trabajo cuando se toma una muestra del conjunto de datos para formar un grupo se realiza sin reemplazo. Es decir, la misma muestra, una vez seleccionada, no puede ser seleccionada otra vez. Es como elegir equipos de fútbol: no se puede elegir la misma persona dos veces (Witten and Frank; 2005).

Como es claro en los datos del presente trabajo, no se empleó la reposición de las muestras. La mayoría de los métodos de aprendizaje, entre los que se halla el *bootstrapping*, pueden utilizar la misma muestra dos veces, pero esta produce una diferencia en el resultado final (Witten and Frank; 2005).

La idea de *bootstrap* es muestrear el conjunto de datos para formar un conjunto de entrenamiento. Para ello, un grupo de datos de n casos es muestreado n veces, sin sustitución.

Cada elemento de la muestra tiene una probabilidad de $1/n$ de ser elegido para el grupo de entrenamiento y , por tanto, una probabilidad de $(1 - 1/n)$ de no ser elegido. Multiplicar estas probabilidades conjuntas según el número de oportunidades, que es n , da como resultado la selección:

$$\left(1 - \frac{1}{n}\right)^n \approx e^{-1} = 0.368$$

donde e es la base de los logaritmos naturales y n la tasa de error.

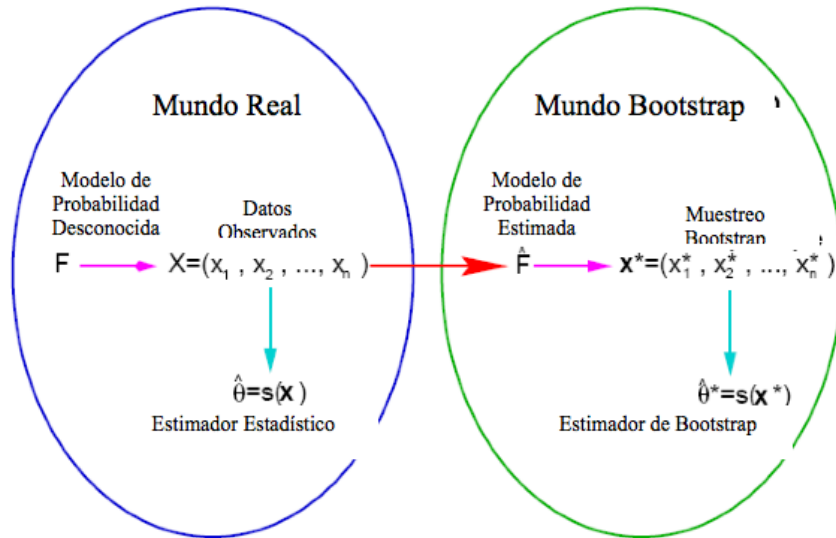


Fig. 8. Procedimiento de *bootstrap*

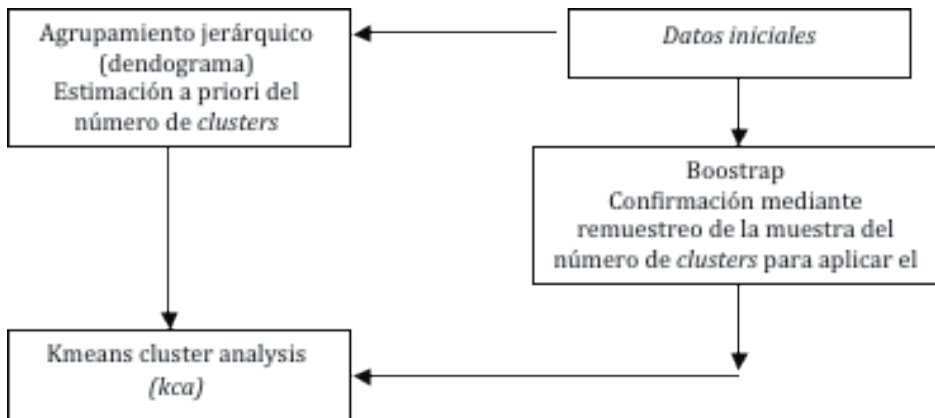


Fig. 8a. Diagrama lógico de *bootstrap*

De este modo, para una base de datos de tamaño razonable, la prueba contendrá aproximadamente el 36,8% de los casos y el conjunto de entrenamiento contendrá aproximadamente el 63,2% de ellos (este es el motivo por el cual se denomina *bootstrap* 0.632) (Witten and Frank; 2005).

En el gráfico de la figura 8 se puede apreciar el concepto que subyace en la técnica del *bootstrap*.

La cifra obtenida mediante la formación de un sistema de aprendizaje sobre un grupo de entrenamiento y calculando este error fuera del grupo de prueba será una estimación pesimista de la verdadera estimación de la tasa de error, ya que el conjunto de formación, tiene tamaño n , sin embargo, sólo contiene el 63% de los casos, que no es mucho en comparación

con otras técnicas (Witten and Frank; 2005).

Para un análisis pormenorizado de las tasas de error en los procedimientos de *bootstrap* se puede ver: Davison and Hinkley; 2006, Witten and Frank; 2005 y Last et al.; 2004.

Resumiendo, la técnica de estadística de *bootstrap* que se presentó sucintamente en el párrafo anterior, se ha usado en el presente trabajo para validar la cantidad de conglomerados o *clusters* que se emplearon en la etapa de agrupación *kca*. A su vez como resultado de la primera instancia de *clusterización* este dato también se comparó a partir del diagrama de dendograma, como el que se mostró previamente.

El diagrama lógico se muestra en las figuras 8a y 8b.

Año 2004 en miles de TEP PROVISORIO ARGENTINA Formas de Energía	OFERTA						TRANSFORMACION							CONSUMO FINAL ENERGETICOS				
	PR O D U C I O N	IM P O R T A C I O N	VA R I S C O N D E	V A R I S C O N D E	EX P O R T A C I O N	E X P O R T A C I O N	CENTRALES ELECTRICAS	T R A N S F O R M A C I O N	C O N S U M O	C O N S U M O	C O N S U M O	C O N S U M O	C O N S U M O	C O N S U M O	C O N S U M O	C O N S U M O		
	P R O D U C I O N	IM P O R T A C I O N	V A R I S C O N D E	V A R I S C O N D E	EX P O R T A C I O N	E X P O R T A C I O N	OF E R T A	PA R T I C I P A C I O N	PA R T I C I P A C I O N	PA R T I C I P A C I O N	PA R T I C I P A C I O N	PA R T I C I P A C I O N	PA R T I C I P A C I O N	PA R T I C I P A C I O N	PA R T I C I P A C I O N			
Energía Hidráulica	3.279	0	3.279	0	0	0	3.279	-3.270	-8	0	0	0	0	0	0	0		
Nuclear	2.379	0	2.379	0	0	0	2.379	-2.379	0	0	0	0	0	0	0	0		
Gas Natural	41.978	668	0	42.544	-8.101	-758	35.885	0	-35.885	0	0	0	0	0	0	0		
Petróleo	35.551	520	133	36.204	-8.013	0	27.191	0	0	-27.183	0	-6	0	0	0	0		
Carbón Mineral	30	639	0	669	0	0	85	753	-211	-12	0	-523	0	0	0	0		
Leña	800	0	0	800	0	0	800	0	-197	0	0	-345	0	0	0	0		
Bagazo	850	0	0	850	0	0	850	0	-85	0	0	0	0	0	0	0		
Otros Primarios	679	0	0	679	0	0	679	-6	-157	0	0	0	0	0	0	0		
TOTAL I	85.245	1.824	433	87.202	-15.113	-758	85	71.415	-430	-35.885	-27.183	-623	-345	0	-15	1.368		
Electricidad	8.623	655	0	9.278	-356	0	7.993	7.959	794	0	0	0	0	0	-264	1.780		
Gas Distribuido por Redes	31.443	0	0	31.443	0	0	30.832	-9.058	-1.918	31.443	0	0	0	0	-4.237	15.518		
Gas de Refineta	750	0	0	750	0	-15	49	686	-74	0	750	0	0	0	0	0		
Gas Licuado	3.625	0	13	3.638	-1.648	0	2.287	0	2.631	1.194	0	0	0	0	0	0		
Miconafta Total	6.608	51	-18	6.641	-2.933	0	3.738	0	551	6.057	0	0	0	0	-2	3.736		
Kerosene y Aerokerosene	1.275	0	-16	1.259	-752	0	506	0	0	1.275	0	0	0	0	0	0		
Diesel Oil + Gas Oil	11.021	364	2	12.207	-1.120	0	11.086	-131	-16	11.021	0	0	0	-25	10.915	0		
Fuel Oil	2.321	622	-9	2.934	-857	0	1.977	-808	-150	2.321	0	0	0	-272	797	0		
Carbón Residual	1.175	100	14	1.289	-242	0	1.047	0	0	1.175	-543	0	0	-73	432	0		
Gas de Coque	2.688	52	-69	2.571	-287	0	2.304	0	1.060	1.236	29	0	263	-90	2.214	1.897		
Gas de Alto Horno	194	0	0	194	0	-5	189	0	-117	0	194	0	0	0	72	0		
Coque de Carbon	293	0	0	293	0	0	293	0	-128	0	0	0	0	0	165	0		
Carbon de Leña	782	0	16	798	-112	0	687	0	0	0	782	0	-604	0	83	0		
TOTAL II	71.916	1.863	-67	73.712	-8.398	-35	-1.803	-87	63.444	-2.405	0	-843	0	-604	-8.525	44.377		
BALANCE DE TRANSFORMACION																		
ENERGIA PRIMARIA + SECUNDARIA																		
INSUMOS																		
ENERGIA PRIMARIA																		
ENERGIA SECUNDARIA																		
TOTAL																		
PRODUCCION																		
PERDIDAS																		
POBLACION																		
PBI																		

FBI a precios de Mercado, base 191
En millones de Pesos

Tabla 1. BEN expresado en forma matricial ejemplo año 2004.
(Fuente: Secretaría de Energía de la Nación)

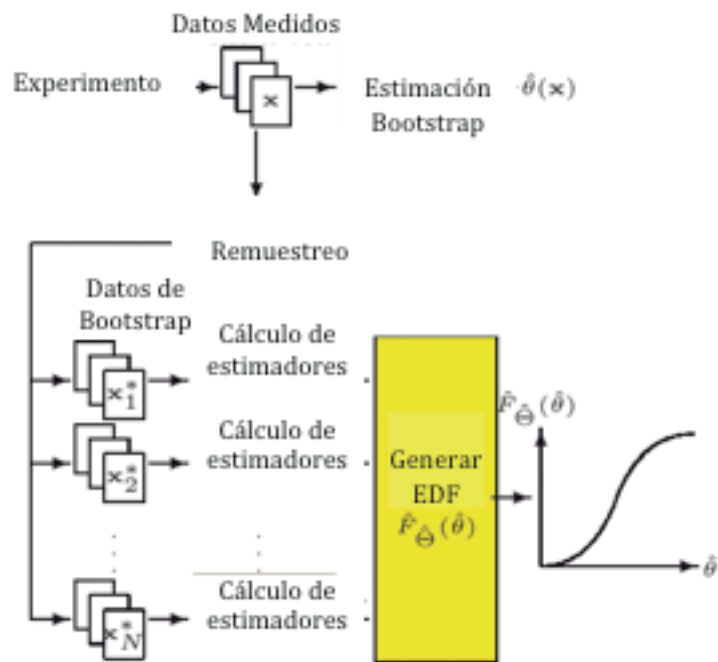


Fig. 8b. Diagrama lógico de *bootstrap*

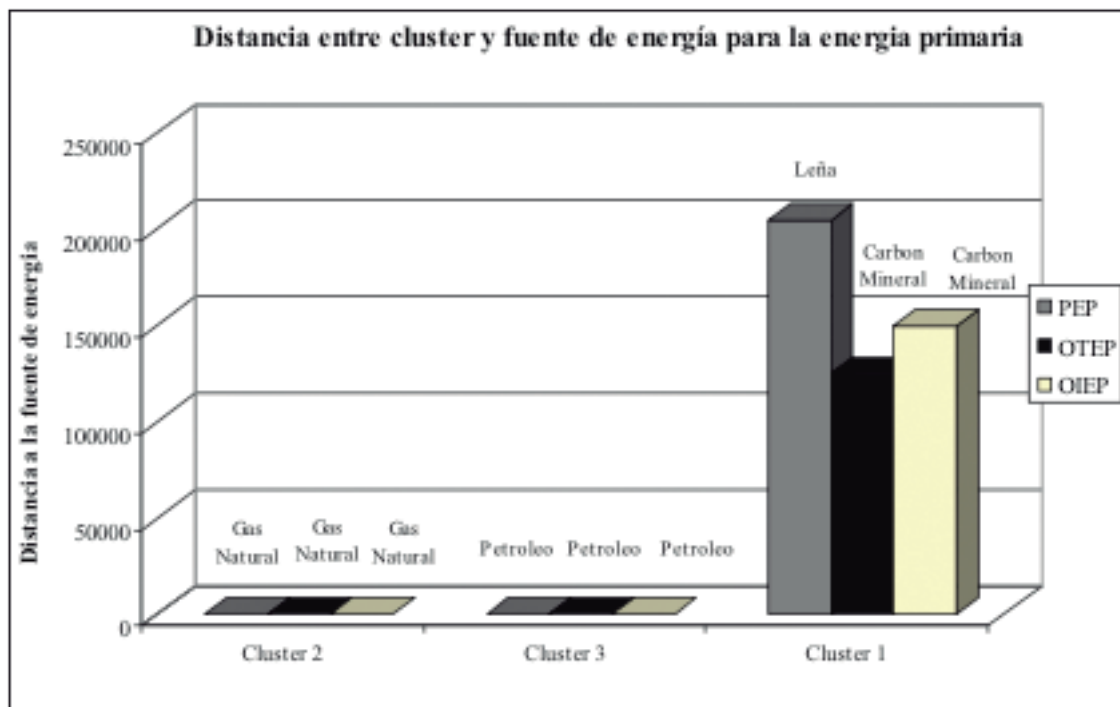


Fig. 9. Distancia de aproximación para la energía primaria

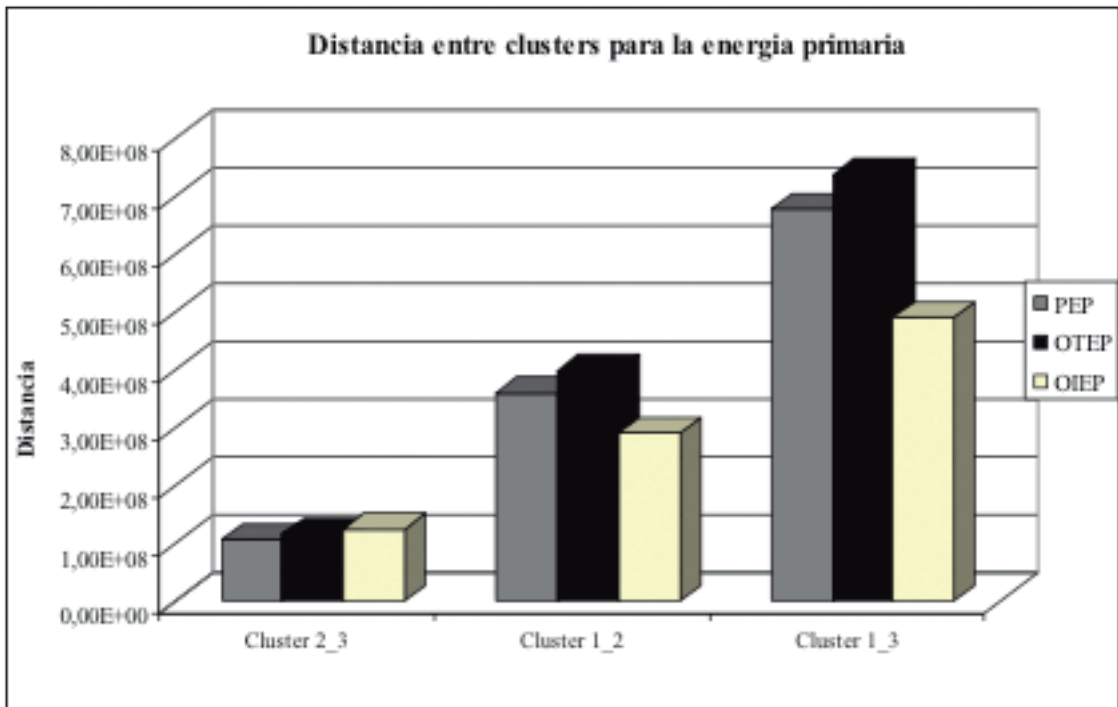


Fig. 10. Distancia entre *clusters* para la energía primaria

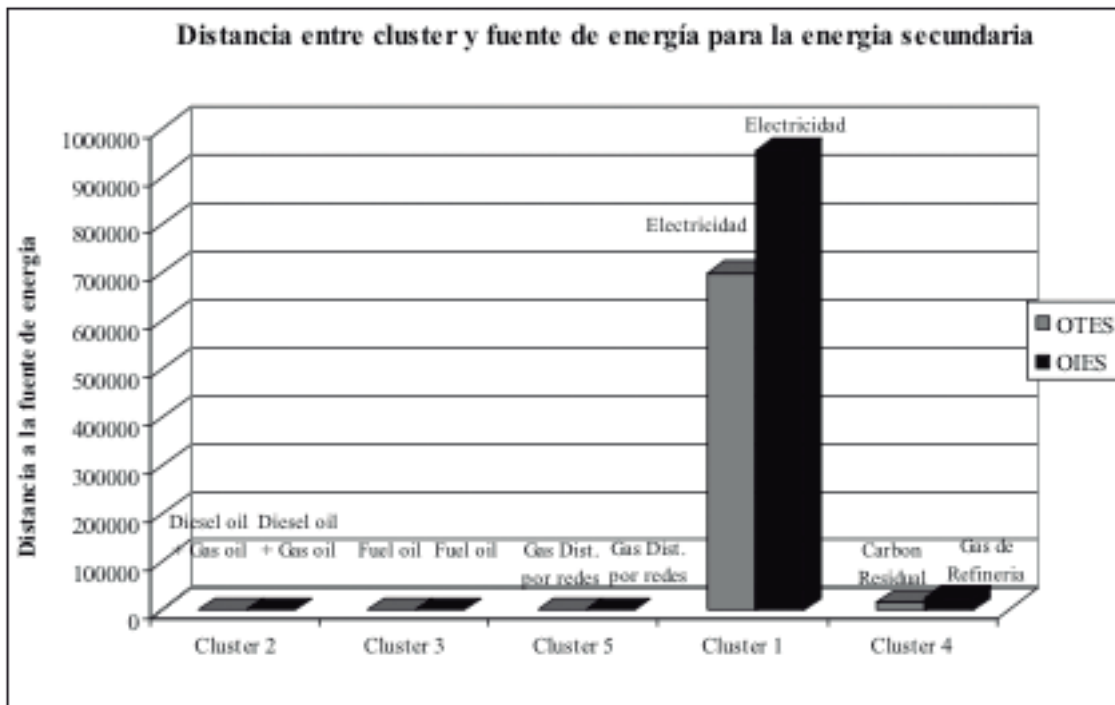


Fig. 11. Distancia de aproximación para la energía secundaria

Descripción de los datos utilizados

De acuerdo con lo expresado en el apartado anterior los datos utilizados para el presente análisis fueron tomados de los documentos elaborados por la Secretaría de Energía de la Nación en base a la información que diversos actores del sector aportan al mencionado organismo.

Para un mejor entendimiento y análisis estos datos han sido ordenados en forma matricial dentro de una planilla que resume la actividad energética y los valores que la caracterizan en forma de una tabla de doble entrada, según Tabla 1.

La energía primaria y la energía secundaria están representadas en forma de fila, y cada una de ellas a su vez está compuesta por subgrupos de energía según lo expresado anteriormente. En el caso de la energía primaria los subgrupos serán: la energía hidráulica, la nuclear, el gas natural, entre otras, y en el caso de la energía secundaria los subgrupos serán: la electricidad, el gas distribuido por redes, el gas de refinería, entre otras.

Por su parte en forma de columna están expresadas las formas en las cuales se encuentra la energía desde el inicio de la cadena de producción hasta su comercialización.

Sumario Final

El objetivo del presente apartado es hacer hincapié en la situación actual del modelo energético del país, sin perder de vista el comportamiento y la evolución del mercado energético de la región y del mundo. En particular, exponer la detección y modelado de patrones de comportamiento de la MEN mediante la implementación de técnicas matemáticas y computacionales de origen estadístico cuya característica fundamental es la determinación de esquemas cuantitativos de comportamiento, para estudio y análisis de la MEN.

Los resultados obtenidos como resumen general de la MEN primaria se muestran en la figura 9.

Luego de analizados tres casos de la MEN

primaria en base los datos provistos por el BEN, es decir la Producción de Energía Primaria (PEP), la Oferta Total de Energía Primaria (OTEP) y la Oferta Interna de Energía Primaria (OIEP), se han obtenido dos clusters que se ajustan a dos fuentes de energía primaria, que en este caso resultan ser el *cluster 2* en representación del gas natural y por su parte el *cluster 3* al petróleo (puesto que como se ha visto, la distancia de aproximación entre *cluster* y fuente de energía es cero). Por lo tanto, una conclusión importante a tener en cuenta es que gracias a este método de análisis el gas natural y el petróleo son elementos característicos e imprescindibles a tener en cuenta cuando se requiera estudiar el comportamiento de la MEN primaria.

Un elemento interesante que también valida los resultados de la figura anterior respecto de los *clusters* obtenidos se muestra en la figura 10 en donde la distancia entre los *clusters 2* y *3* (en el gráfico rotulado como "*Cluster 2_3*") guardan estrecha relación para los modelos de la PEP, la OTEP y la OIEP, ya que los tres se encuentran en valores cercanos a $1,17 \cdot 10^8$ con un margen de $\pm 10\%$.

Otro elemento que refuerza el resultado de los *clusters* obtenidos puede observarse en la figura 1 en donde se había determinado que el gas natural representaba un 50% de la MEN primaria y el petróleo por su parte un 39%, siendo ellos los de mayor participación en la misma. Esta conclusión denota la fuerte polarización hacia la utilización de los combustibles fósiles en el orden del 90% del total de la MEN primaria desde por lo menos los años '70 aunque con proporciones distintas y con una participación en total del 95%.

El gas natural fue el de mayor crecimiento en los últimos 35 años según la figura 2 con un valor superior al 600%. Pero paradójicamente es la fuente de energía que más ha declinado sus reservas llegando a 9,36 años de horizonte en el caso más favorable, esto indica que se ha consolidado una tendencia negativa. En ese sentido, el gran aumento en su utilización pudo haberse sustentado por un lado por el buen precio interno que favoreció el reemplazo de otros fluidos por el gas natural y, por otra parte, a los buenos precios de venta para

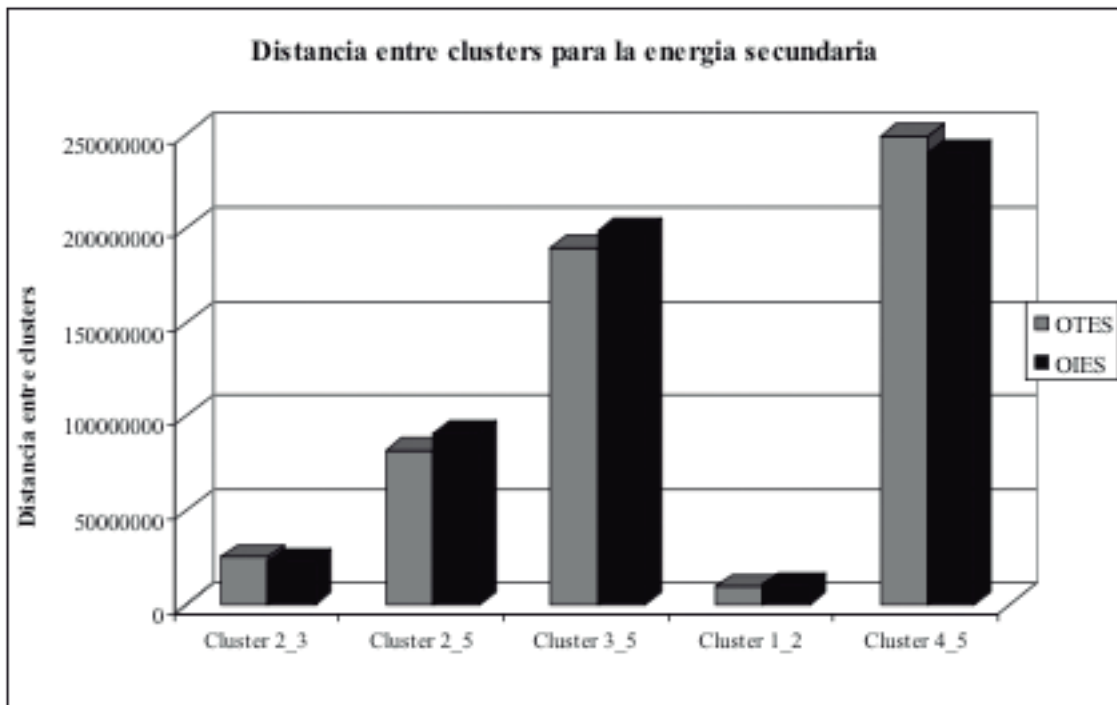


Fig. 12. Distancia entre *clusters* para la energía secundaria

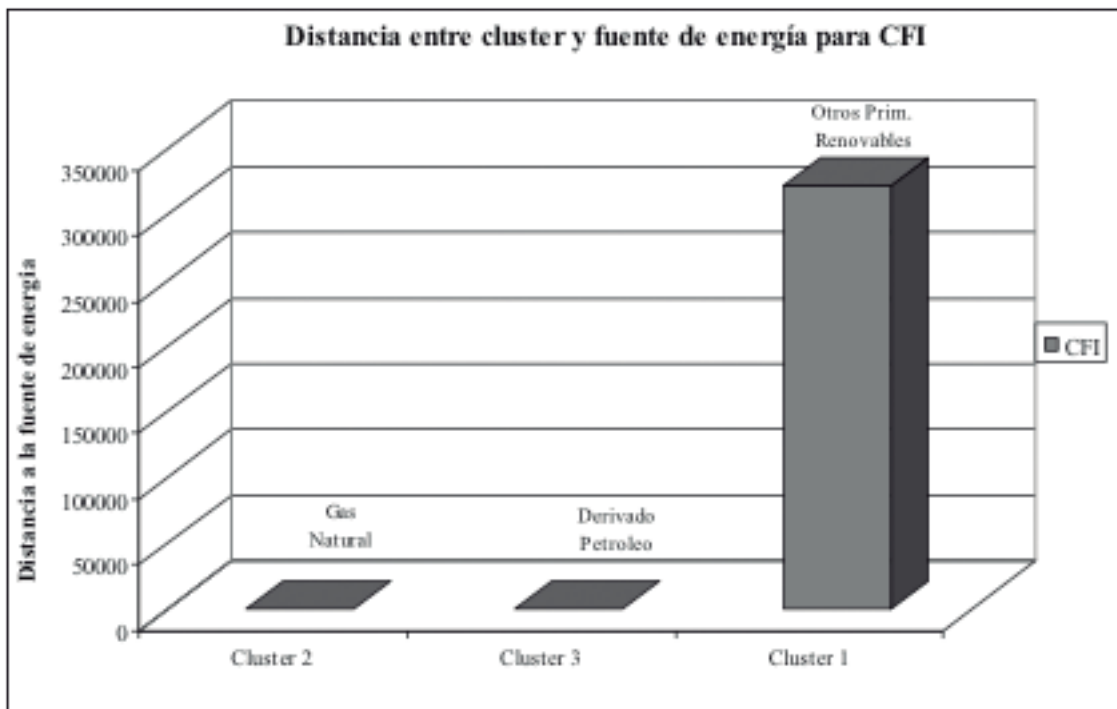


Fig. 13. Distancia de aproximación para el CFI

el mercado externo que derivaron en su exportación.

Este razonamiento, en coincidencia con la opinión de varios analistas del mercado energético lleva a la inevitable conclusión que la

Argentina se halla en vías de convertirse en un claro importador de energía primaria de mantenerse la tendencia graficada en la figura 5, hecho que no ocurría desde hace aproximadamente 20 años.

El resultado del análisis realizado para hallar

Cluster / Fuente	Energía Primaria		Energía Secundaria			Consumo a usuario final	
	Gas Natural	Petroleo	Diesel Oil + Gas Oil	Fuel Oil	Gas Dist. por Redes	Gas Natural	Derivado Petroleo
Cluster 2	3		2			1	
Cluster 3		3		2			1
Cluster 5					2		

Tabla 2. Resumen de *clusters* hallados en la MEN

los *clusters* de la MEN secundaria se muestra en la figura 11.

En el caso de la MEN secundaria se han analizado dos agrupamientos energéticos, es decir la OTES y la OIES. Los tres *clusters* hallados son iguales para los dos casos, puesto que el diesel oil con gas oil están representados por el *cluster 2*, el fuel oil por el *cluster 3* y por su parte el gas distribuido por redes por el *cluster 5*. En el caso del *cluster 1* y *4* al ser su distancia de aproximación a la fuente de energía distinta de cero, no se consideran como *clusters* válidos.

Lo obtenido en la figura anterior para los tres *clusters* puede contrastarse con los resultados de la figura 12 de la página siguiente en donde se observa que la distancia entre *clusters* para el caso de la OTES y la OIES tiene diferencia entre el *cluster 2* y *3* menor al 10% al igual que entre el *cluster 2* y *5*, mientras que para el *cluster 3* y *5* es menor a 5%. Esto refleja la paridad que existe entre los *clusters* en cuestión.

En consecuencia, se observa que el gas distribuido por redes representa el 48% y el diesel oil con el gas oil el 15% siendo estas las dos fuentes de energía más importantes, seguidas por último por el fuel oil 7% en cuarto lugar. En la misma figura es sencillo entonces determinar que la suma de las fuentes de energía de origen fósil representan un valor cercano al 88% a diferencia de lo que ocurría en los años '70 cuando los mismos eran del 93%.

Desde ese momento hasta la fecha, los combustibles líquidos de origen fósil han disminuido su participación en la MEN, pasando el conjunto diesel oil - gas oil desde el 18% hasta una participación del 15% en la actualidad, y en el caso del fuel oil la reducción ha sido aún más drástica pasando de 30% al actual 7%.

Un combustible de gran expansión en la MEN secundaria ha sido sin dudas, el gas distribuido por redes, que ha crecido su participación alrededor de 170 % en el mismo período. En particular, este último combustible ha cambiado su patrón de consumo ya que evidencia una nueva distribución de utilización por sector en los últimos 15 años; los casos más relevantes son el consumo industrial que ha mermado 4 %, y las centrales eléctricas donde ha avanzado 6 %. En ese sentido, las centrales eléctricas se han convertido en importantes demandantes de gas natural debido a que se logra una mejor combustión, un menor costo de mantenimiento y en consecuencia mayor rendimiento en el ciclo completo, que se suma a un menor costo de combustible y mayor flexibilidad para el transporte almacenamiento y acondicionamiento.

Por lo visto hasta el momento en el desarrollo del presente capítulo, se han identificado una determinada cantidad de *clusters*, los que ya sean para energía primaria o secundaria, siempre se encuentran representando a combustibles fósiles que pueden estar en estado líquido o gaseoso, y siguiendo con ese lineamiento, no resultaría nada llamativo que el consumo del producto proveniente de la oferta interna continuará en ese sentido.

La figura 13 valida entonces la suposición, puesto que aquí se ha hallado que el *cluster 2* se ha ajustado al consumo de gas natural y el *cluster 3* al derivado de petróleo.

Todo lo expresado hasta el momento confluye hacia una conclusión clara y contundente: todos los *clusters* hallados para cualquier tipo de agrupamiento ya sea energía primaria o secundaria provienen de fuentes de energía de origen fósil. Para sustentar esta afirmación se ha realizado un cuadro de análisis que resume la

totalidad de los *clusters* hallados en la Tabla 2.

En donde se observa que:

La MEN primaria compuesta por tres agrupamientos (PEP, OTEP y OIEP) ha quedado modelada por un total de seis *clusters* según se muestra en la columna denominada Energía Primaria, y tendrá como componente característica la serie de datos correspondiente al gas natural y al petróleo dependiendo de cada agrupamiento.

La segunda columna correspondiente a la MEN secundaria compuesta por dos agrupamientos Oferta Total de Energía Secundaria (OTES) y Oferta Interna de Energía Secundaria (OIES) ha sido modelada por seis *clusters* según se muestra en la columna denominada Energía Secundaria, y cuyo factor común será la serie de datos del diesel oil con gas oil, el fuel oil y el gas distribuido por redes discriminado por su agrupamiento.

Es decir que los *clusters* hallados no hacen otra cosa más que sacar a la luz que la matriz energética del país esta estrechamente relacionada con la producción, la transformación y el consumo de productos energéticos de origen fósil. Esto queda evidenciado puesto que no han aparecido *clusters* representativos de fuentes de energía renovables como por ejemplo la energía hidráulica, la leña y el bagazo entre otros.

Una característica que es común a todos los *clusters* hallados y que no debe pasarse por alto es que siempre está presente el gas natural y el petróleo en cualquiera de sus formas ya sea crudo o refinado.

Desde una óptica pesimista se puede inferir entonces que, ante una mínima variación en las reservas o en el precio de los combustibles fósiles, esto traerá aparejado indefectiblemente un impacto en la economía local debido a la alta dependencia que existe en este tipo de combustibles, ya que, como se mencionó, cerca del 90% de la matriz energética depende de recursos no renovables, siendo el gas natural prácticamente el 50% de la misma.

El estado actual de las reservas petroleras y gasíferas plantean una delicada situación que abre una serie de interrogantes sobre la seguridad y factibilidad del abastecimiento ener-

gético a mediano plazo en una economía con un crecimiento moderado cercano al 2%. En el caso de una expectativa de crecimiento económico del orden del 6% la situación se ubica en un escenario más complejo, en donde deberían aparecer problemas coyunturales de abastecimiento lo que luego desembocaría en la necesidad de buscar el preciado fluido en el mercado internacional a un precio que seguramente dependerá del humor de la economía mundial.

Ante la falta de incentivos que precipiten una fuerte y decidida inversión del sector privado en la exploración y producción de hidrocarburos, se plantea la alternativa de recurrir entonces a las fuentes de energía alternativas o más bien llamadas fuentes de energía renovables, que como efecto rebote traerá mejoras sustanciales en la matriz energética y a la economía en general.

En ese sentido, los organismos oficiales en los últimos años han encarado una serie de medidas que tienen como finalidad favorecer la inversión directa sobre proyectos que generen energía a través de fuentes renovables como por ejemplo, la energía eólica, la energía solar, la energía hidráulica, la utilización de biocombustibles y programas destinados al ahorro energético entre otros.

Como consecuencia de ello se espera lograr una diversificación en la matriz energética con los siguientes beneficios:

- Obtener mayores volúmenes de inversión en proyectos energéticos lo cual motoriza la economía nacional y la creación de fuentes de empleo.
- Incorporar n fuentes de energía en lugares en donde actualmente no llegan las redes con lo cual se contribuye y motoriza el crecimiento de la economía de la región.
- Obtener mayor confiabilidad de abastecimiento energético lo cual atrae la inversión extranjera que se traduce en la instalación de nuevas plantas industriales de todo tipo.
- Mejorar la imagen y la proyección del país hacia el mundo, puesto que las principales economías han abierto grandes líneas de crédito para ser destinadas a proyectos de energía limpia "Green Projects".
- Obtener una disminución en la emisión de contaminantes hacia la atmósfera.
- Lograr una cierta inmunización ante abruptas

crecidas de precios de una fuente de energía puntual y por ende los efectos sobre la economía son menores.

- Resultar una vía alternativa ante la escasez de fuentes de energía tradicionales.
- Elegir entre varias fuentes de energía dependiendo de la oportunidad y del precio.

En otros países de la región como es el caso de Brasil, Venezuela, Paraguay, Colombia, Chile y Perú la participación de la energía hidroeléctrica en la generación de electricidad alcanza valores cercanos al 60%, mientras que en Argentina es de sólo un 30%, siendo el resto de la energía generada a partir de combustibles fósiles de un 65% y el 5% restante por energía nuclear. A efectos de tener menor dependencia de la energía hidroeléctrica (y por ende de las lluvias) Brasil ha decidido modificar su matriz energética incorporando a su parque de generación una cantidad importante de centrales termoeléctricas.

El resultado de lo obtenido en el presente trabajo deja planteado para el futuro la necesidad de encontrar una herramienta que pueda predecir cómo debería orientarse una matriz energética en función a sus recursos energéticos y a los precios, a partir de los *clusters* que caracterizan a un modelo energético actual.

Conclusiones

Con la elaboración del presente estudio se ha puesto en evidencia que la metodología de análisis de conglomerados por *kca* es una propuesta viable que se aplica en un campo de estudio de forma novedosa y ha resultado ser muy consistente con referencia a los resultados obtenidos. Además, mostró ser robusta dado que la determinación del número de *clusters* o agrupamientos a emplear se llevó a cabo mediante dos procesos independientes que arrojaron en todos los casos resultados absolutamente similares. Destacándose como cualidad, el haber presentado una metodología de determinación objetiva de los restantes agrupamientos que constituyen los diferentes modelos.

Tradicionalmente el *data mining* que se emplea en las ciencias de la computación o las técnicas de análisis estadístico o de series de tiempo, no se cruza con el estudio de mercados como los que se han mostrado en el

presente trabajo, es más, en la literatura son escasas las aplicaciones halladas a casos por lejos similares.

La caracterización de la MEN mediante la técnica de agrupación de conglomerados ha mostrado ser eficiente para ahondar en el estudio de las relaciones estructurales de los componentes de la misma.

Los resultados a los cuales se ha arribado luego de la caracterización, han permitido identificar el comportamiento de la MEN. Este interesante hallazgo es de vital importancia puesto que se convierte en el punto de partida para tomar decisiones estratégicas en materia energética.

El hecho de conocer la caracterización de la MEN también permite anticiparse a eventuales inconvenientes de desabastecimiento y de precios. Como consecuencia de ello se podrán implementar a tiempo todas las medidas que se consideren necesarias para corregirlo, avanzando al mismo tiempo con políticas energéticas de mediano y largo plazo en una dirección clara y definida.

En virtud de lo expresado, resultaría lógico suponer que se contaría con mayor previsibilidad para la planificación de un horizonte energético, que sin dudas, se traducirá en una mayor seguridad y factibilidad en el abastecimiento energético, convirtiéndose en un factor limitante e ineludible del crecimiento económico.

Referencias

- ANDERBERG, M.R. (1973) "Cluster analysis for applications", New York: Academic Press.
- Boyle, G., (1996). Editor, "Renewable Energy, Oxford, England: Oxford University Press, 1996.
- DAVISON, A. C.; HINKLEY, D. (2006)"Bootstrap Methods and their Application" (8th ed.). Cambridge: Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics.
- DUKE, R. D., AND KAMMEN, D. M. (1999) "The economics of energy market transformation initiatives". The Energy Journal, 20 (4), 15 – 64.
- DECKER, R., AND LENZ, H. (2007) "Advances in Data Analysis", Springer Verlag, Hidelberg, Berlin.
- EFRON, B. (1982) "The Jackknife, the Bootstrap and Other Resampling Plans", SIAM, Bristol.
- EFRON, B. (1979) "Computers and the Theory of Statistics", SIAM Rev. 21, 460.
- EFRON, B. and Tibshirani, R. J. (1998) "An Introduction to Bootstrap", Chapman & Hall.
- EVERITT, B.S. (1993) "Cluster analysis", Third Edition. London: Edward
- GAN, G., MA, CH. AND WU, J., (2007) Data Clustering Theory, Algorithms, and Applications. SIAM.
- HALL, R. E. December (2001)"The Stock Market and Capital Accumulation" American Economic Review, 91(5), pp. 1185–202..
- HARTIGAN, J.A. (1975) "Clustering algorithms". New York: John Wiley.
- JAIN, A. K. AND DUBES, R. C.(1988) "Algorithms for Clustering Data" Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- KAMMEN, D. M., SHLYAKHTER, A. I., BROIDO, C. AND WILSON, R. (1994) "Quantifying credibility of energy projections from trends in past data: the U. S. energy sector". Energy Policy, 22, 119 – 131.
- LAST, M., KANDEL, A. AND BURKE, H. (2004) Data Mining in Time Series Databases. World Scientific.
- PELLEG, D. AND MOORE, A.(2000) x-means: Extending k-means with efficient estimation of the number of clusters. In Proceedings of the Seventeenth International Conference on Machine Learning, Palo Alto, CA.
- SHAW, S.H. (2000)"Modeling Energy Markets with the Intermediate Future Forecasting System" Forthcoming in a Handbook of Engineering-Economic Modeling. EPA, USA.
- TIMM, NEIL H. (2002) "Applied Multivariate Analysis", Springer Berlag.
- WITTEN I. H.& FRANK E. (2005) "Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques", Morgan Kaufman – 2nd Edition. USA.

Informes y Reportes Técnicos

1. International Energy Outlook 2009 (IEO2009), Energy Information Administration (EIA - Official Energy Statistics from the US Government)
2. Informe Anual 2007, Consejo Federal de Energía Eléctrica (CFEE).
3. Energías Renovables 2008 -Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos, Subsecretaría de Energía Eléctrica
4. BEN, Secretaría de Energía de la Nación, 2006
5. Una estrategia energética sustentable para el siglo XXI, Fundación Creer y Crecer, 2005
6. Régimen Nacional de Energía Eólica y Solar, Ley 25.019, Honorable Congreso de la Nación, 2008
7. Plan energético nacional, Ministerio de Planificación Federal, Inversión pública y Servicios, 2008
8. Transporte y distribución de gas natural en Argentina, TGN, TGS, 2003
9. Información del sector, website de Natural Energy, www.naturalenergy.com.ar
10. Informe Anual 2005, Secretaría de Energía de la Nación
11. Anexo III - Licenciatarias del servicio de gas, Informe ENARGAS, 2007
12. Repote técnico de Hidrocarburos, Secretaría de Energía de la Nación
13. Mapa geográfico de empresas transportistas en alta tensión, ATEERA, 2009
14. Tablas dinámicas de *downstream* - Precio de venta por localidad, Secretaría de Energía de la Nación
15. Ministerio de justicia de la Nación, web site Infoleg

La buena enseñanza en la universidad, la enseñanza como práctica reflexiva

Claudio Dominighini¹, Zulma Cataldi¹

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

cdominighini@frba.utn.edu.ar

Recibido el 15 de Febrero de 2012, aprobado el 20 de Abril de 2012

Resumen

Los cambios sociopolíticos y económicos de las últimas décadas impactaron en la Universidad generando transformaciones en su forma de organización y funcionamiento y produciendo un replanteo de las tareas del docente universitario. El avance y transformación del conocimiento y su rápida obsolescencia, la heterogeneidad del alumnado en la educación superior y la incorporación de las nuevas tecnologías, definen el escenario universitario y orientan a una reflexión sobre los enfoques en la enseñanza universitaria. En este marco surge la necesidad de propiciar prácticas de enseñanza orientadas a la crítica, la reflexión y la creatividad con capacidad de autoaprendizaje.

PALABRAS CLAVE: PROFESIONAL REFLEXIVO - BUENA ENSEÑANZA

Abstract

The sociopolitical and economic changes of the last decades had an impact in university, generating transformations in its organizational and operational structure and producing a reframing of the professor's tasks.

The advance and constant change of knowledge and its fast obsolescence, the heterogeneity of college and university students and the incorporation of the new technologies define the university scenario and lead to a reflection as far as educational approaches are concerned. Within this framework, the need to encourage educational practices oriented to criticism, reflection and creativity together with self-learning capacity arises.

KEYWORDS: THOUGHTFUL PROFESSIONAL - GOOD TEACHING METHODS

Introducción

El modelo dominante de enseñanza en ingeniería se centra en: a) el docente como concesionario autorizado de la verdad, b) la tensión entre la teoría-práctica y c) la concepción finalista de evaluación, entre otras cuestiones. El docente aparece como el administrador de la verdad, y es quien selecciona qué, cómo y cuándo se debe aprender y concibe la evaluación como la última etapa en el proceso educativo. Schön (1992) señala que este docente aporta la teoría desde la clase magistral y la práctica se basa en la resolución de problemas. A partir de este enfoque se pueden describir las prácticas educativas como un conjunto de clases teóricas magistrales y de trabajos prácticos, que no siempre guardan relación lineal y temporal entre sí, lo que genera un salto conceptual desde las definiciones teóricas hasta la aplicación específica del conocimiento.

“Los intereses tradicionales de los educadores giran en torno al currículum formal y, consiguientemente, los problemas que plantean suelen ser familiares: ¿qué temas van a ser tratados en clase?, ¿qué formas de exposición se van a utilizar?, ¿qué tipos de objetivos se piensan alcanzar? y finalmente, ¿cómo podremos desarrollar las formas de evaluación para que sean coherentes con los objetivos planteados? Por importantes que sean estas cuestiones, todas ellas se mueven en la superficie de la realidad” (Giroux, 1990). Por ello, es importante generar teoría pedagógica sobre las didácticas especiales, para poder otorgarles así una base de conocimiento científico. No se puede reducir la enseñanza a la aplicación mecánica de determinados métodos, es necesario además el control de los profesores sobre el desarrollo de los materiales del currículum. Esto requiere que los docentes sean críticos de sus propias prácticas pedagógicas.

La reflexión sobre la práctica

Los profesores deben reflexionar sobre su propia práctica para hacer explícito su marco teórico y actuar como verdaderos intelectuales y no solamente como reproductores o divulgadores de conocimientos legitimados por la comunidad universitaria. “El proceso reflexivo es aquel que posibilita darnos cuenta y dar cuenta de nuestras propias acciones y de la diversidad de condicionantes que las determinan. La

reflexión permite tomar en cuenta la relación entre teoría y práctica, entre pensamiento y acción. Es la capacidad de volver la atención sobre los propios actos” (Lion, 2002). Como esta reflexión solamente se produce en algunos casos, nos propusimos desarrollar una investigación que permitiera conocer cuáles son las estrategias empleadas por los docentes de ingeniería e indagar qué marco teórico sustenta dicho desarrollo curricular para analizarlo, explicitarlo y actuar en consecuencia.

A comienzos del siglo pasado Dewey (1989) estableció la distinción entre la acción humana reflexiva y la rutinaria, y definió a la primera como la acción que supone una consideración activa, persistente y cuidadosa acerca de las creencias, de las prácticas, de sus fundamentos y de sus consecuencias.

Integrar estas posiciones requiere de puentes que acerquen la teoría a la práctica y le den la continuidad requerida, para esto es necesario el planteo de situaciones problemáticas reales como un modo de construir el conocimiento a partir de su aplicación a la realidad. Porque es en la realidad donde los problemas no tienen enunciados claros y delimitados como los propuestos en las clases o los que se encuentran en los libros.

Para desarrollar el currículum desde esta mirada los docentes universitarios necesitan de una formación pedagógica que les brinde el conjunto de estrategias que contribuyan al mejoramiento de sus prácticas. Casas Armengol (1998) al referirse a los docentes de las universidades dice: “...para este “profesional-profesor”, las teorías y principios de la enseñanza, del aprendizaje y de la evaluación, resultaban irrelevantes y generalmente le eran poco conocidas”.

Carina Lion (2002), desde su estudio sobre las prácticas de la enseñanza de los docentes universitarios, analiza la formación propia de los ingenieros para ver la convergencia de distintas visiones sobre esta formación. Destaca su formación tecnológica y profesional, analiza la importancia de las tecnologías y su uso en la enseñanza y en el aprendizaje, al tiempo que efectúa críticas al uso de las TIC en distintas clases universitarias. Describe y analiza el uso de simuladores como herramienta de modelización y resalta la “fascinación” que producen estas y otras herramientas basadas en las TIC,

aunque alerta acerca de que la educación es una opción ética que se sustenta en la intencionalidad de la enseñanza y que las herramientas son sólo eso, herramientas.

Por su parte, Jackson (2002), aporta cinco cuestiones que hay que saber para enseñar: a) ser justo en el trato, b) dominar profundamente el contenido, c) ser equilibrado entre las críticas y los elogios, d) reconocer errores y e) corregir deberes y devolverlos. Éstas permitirán en alguna medida, reducir las incertidumbres que se enfrentan en el aula y encaminarse hacia una buena enseñanza.

La buena enseñanza requiere de docentes que crezcan en su desempeño profesional y personal. Esto implica admitir que todas las personas llegan con creencias propias, desarrolladas durante su proceso formativo. Estas creencias son importantes e impactan en su tarea docente y son difícilmente modificables por los procesos formativos. Las mismas deben ser removidas mediante el análisis y la reflexión a fin de ponerlas en evidencia y posibilitar su superación.

La enseñanza y las prácticas de enseñanza

“Cuando hablamos del profesor nos estamos refiriendo a alguien que se sumerge en el complejo mundo del aula para comprenderla de forma crítica y vital, implicándose afectiva y cognitivamente en los intercambios inciertos, analizando los mensajes y redes de interacción, cuestionando sus propias creencias y planteamientos, proponiendo y experimentando alternativas y participando en la reconstrucción permanente de la realidad escolar”, desde un proceso de investigación-acción. Schön (1992)

La enseñanza es un proceso complejo, en el sentido que contiene y reúne varios elementos distintos y heterogéneos. Esta complejidad también deviene del entramado de acciones, interacciones y retroacciones, determinaciones y azares, la enseñanza no está libre de previsión e incertidumbre (Morin, 1998).

Como tal, se espera que los docentes preparen los programas, seleccionen contenidos actualizados, propongan actividades de aprendizajes adecuadas e innovadoras, planteen preguntas críticas e interesantes, propongan una variedad de recursos didácticos, evalúen eficazmente el aprendizaje y consideren a cada estudiante y

al grupo en su conjunto, entre múltiples cuestiones.

Nos interesan las prácticas de enseñanza en el nivel universitario y su análisis, a través de lo que Edith Litwin (2008) define como las configuraciones didácticas: “la manera particular que despliega el docente para favorecer los procesos de construcción del conocimiento”. Ahora bien, entendemos a la didáctica como: “la teoría acerca de las prácticas de enseñanza” Barco (1989) y “no como el lugar de las absolutas certezas, sino como la intersección de las propuestas teóricas con las prácticas educativas” Camilloni (1994).

Edith Litwin (1997) dice acerca de la didáctica que es “una ciencia social, estructurada en torno a algunos supuestos básicos, hipótesis y conceptos comunes a más de una teoría científica y centrada en una peculiar definición de su objeto de conocimiento y de acción: la enseñanza (...) como actividad que tiene como propósito principal la construcción de conocimientos con significado”. Y la concibe como una tecnología orientada a fines prescriptivos: recobrando las “buenas prácticas de enseñanza”, habla de su mejoramiento en términos del “libre arbitrio de sujetos deseantes”, en referencia a un hacer que se explica por la voluntad e inteligencia de los docentes. Por eso agrega que: “La enseñanza como actividad práctica se realiza siempre a la luz de alguna concepción sobre lo deseable y lo posible. Nos interesa, en nuestra investigación, reconocer esas concepciones y tratar de reconceptualizarlas teóricamente, para avanzar en la construcción de una didáctica desde la práctica, pero reconstruida en la investigación científica, (...) Recuperamos las buenas prácticas con el objeto de reconstruirlas (...) avanzando en el conocimiento de la buena enseñanza.” Por otra parte, en su libro *El oficio de enseñar*, Litwin (2008) afirma que: “El estudio de las prácticas de la enseñanza nos remite a un viejo oficio y a novedosos estudios empíricos (...) Consideramos que en el esfuerzo por comprender el desafío de enseñar también podríamos incluir relatos de mujeres y hombres que con sabiduría, trascendieron los años o los siglos por sus buenas enseñanzas y los recuerdos que dejaron en quienes fueron sus discípulos.”

El docente para 2020

Las tecnologías están transformando la eco-

gía del aula y las funciones docentes, y estos cambios están transformando las teorías y las prácticas didácticas. Los profesores deben ser capaces de adaptarse no solo a los cambios en el contenido de su enseñanza sino también en la forma de enseñar. La investigación sobre la enseñanza y el aprendizaje muestra la necesidad de gestionar clases cada vez más complejas y diversas en términos étnicos, lingüísticos y culturales. Desde esta perspectiva se requiere del manejo del pensamiento complejo, un pensamiento no lineal, cuyas articulaciones abarcan múltiples sentidos y direcciones en un ámbito de incertidumbre como lo es la clase y que lleva a un análisis crítico y reflexivo de su accionar. Los nuevos desafíos y demandas requieren de nuevas capacidades y conocimientos por parte de los profesores, siendo esta situación dinámica y variada.

En este contexto surgen varios interrogantes:

- ¿Qué competencias habrá de requerir el profesor para dar respuesta a la sociedad del siglo XXI?;
- ¿Están los profesionales de la educación preparados para asumir el reto tecnológico?;
- ¿La integración curricular de las TIC contribuirá a la mejora de los procesos de la enseñanza y de aprendizaje?

El desarrollo tecnológico actual lleva a cambios en la enseñanza que dan lugar a nuevas metodologías y nuevos roles docentes. La capacidad del profesor es un factor determinante en el éxito de los estudiantes, ello justifica centrar la atención en la identificación y definición de las estrategias de "buena enseñanza" que emplea.

El rol docente ha cambiado e incorporado nuevas funciones que se integran a las formas tradicionales, como las relativas a las tutorías, a la gestión didáctica usando diferentes medios e innovaciones curriculares. Este rol se define por: a) los aspectos éticos y socializadores de la profesión, basados en los valores, actitudes y otras pautas de conducta que son un marco de referencia normativo para las personas en formación; b) un aspecto tecnológico por el cual el profesor es un administrador de la instrucción; y c) la satisfacción de las necesidades de autorrealización de los estudiantes.

El docente pasa de ser un expositor a constituirse en una guía para el acceso al conoci-

miento y funciona como administrador de recursos hipermediales, los que constituyen un aporte muy significativo al cambio o innovación, y generan nuevas posibilidades de expresión y participación. Marqués (2002) sintetiza las principales funciones que los profesores deben realizar hoy en día:

- Planificar cursos conociendo las características individuales y grupales de sus alumnos.
- Diagnosticar sus necesidades de formación y diseñar el currículum.
- Efectuar tutorías presenciales y telemáticas.
- Realizar trabajos con los alumnos de tipo colaborativos.
- Evaluar (evaluación formativa y sumativa) y fomentar la autoevaluación de los estudiantes y de las intervenciones docentes.
- Fomentar actitudes necesarias para la sociedad de la información: actitud positiva y crítica hacia las TIC, valoración del pensamiento divergente, creativo y crítico, así como del trabajo autónomo, ordenado, responsable y cooperativo.
- Adaptarse al cambio: "saber desaprender".
- Realizar tareas de gestión utilizando las ayudas tecnológicas.
- Llevar a cabo una formación continua, en cuanto a actualización en conocimientos y habilidades didácticas y fomento de la cooperación e intercambios.
- Establecer contacto con el entorno y conocer la realidad del mundo laboral al que accederán los alumnos.

Por otra parte, en el informe del Consejo Escolar de Castilla-La Mancha, España, sobre "*El educador en la sociedad del siglo XXI*" se citan algunos de los rasgos que definen el modelo de profesor que se está demandando desde la sociedad como un:

- Educador que forme a la persona para vivir en sociedad, desarrollando una educación integral que incluye la formación de conocimientos, procedimientos y actitudes.
- Educador que oriente a los alumnos simultáneamente a la realización de sus tareas de aprendizaje.
- Educador democrático, abierto a la participación, justo en sus actuaciones, tolerante.
- Motivador capaz de despertar en los alumnos el interés por el saber y por desarrollarse como personas.
- Capacitado para aprender de la reflexión sobre su propia experiencia.

– Implicado con su profesión y que busca contribuir a la mejora de la situación social a través de su ejercicio profesional”.

Para hacer más exitoso el proceso de aprendizaje de los alumnos se requiere de un profesional que pueda ayudar a sus alumnos a “*aprender a aprender*” en una sociedad cambiante y en constante evolución, que los oriente hacia las formas de “*aprendizaje para toda la vida*”.

Ahora bien, aún hoy se tiene el modelo del profesor centrado en la transmisión de conocimiento, sobre la base del poder, las relaciones de asimetría y la conciencia social y política. Hoy en día surge la figura del profesor como facilitador del proceso de aprendizaje y como el tutor capaz de preparar oportunidades de aprendizaje para sus alumnos. Es decir, un docente como gestor de los aprendizajes de sus alumnos y quien pone a su alcance las herramientas necesarias para que puedan construir su conocimiento, participando de forma activa de su propio proceso de aprendizaje. En este marco el nuevo rol implica:

– Diseñar estrategias de enseñanza y aprendizaje (preparar estrategias didácticas que incluyan actividades motivadoras, significativas, colaborativas, globalizadoras con la inclusión de las TIC).

– Buscar y preparar recursos y materiales didácticos (diseñar situaciones de aprendizaje y gestionar los recursos).

– Proporcionar información y gestionar y ordenar el desarrollo de las clases (informar a los alumnos de las fuentes de información, los objetivos, contenidos, metodología y evaluación de la asignatura).

– Desarrollar estrategias de motivación para favorecer el aprendizaje de los alumnos.

– Hacer partícipes a los estudiantes (incentivar la presentación pública de algunos de los trabajos que realicen).

– Facilitar la comprensión de los contenidos básicos.

Todos los cambios a nivel económico, social y tecnológico que venimos mencionando, impulsan la reorientación de las prácticas, la manera de trabajar, tanto individual como grupalmente. Según Salinas (1996), el profesor deberá responder a los objetivos de la educación de las generaciones del siglo XXI:

a) Prepararse para un trabajo cada vez más versátil, capaz de responder a las necesidades cambiantes, mediante las destrezas básicas necesarias (educación para el empleo).

b) Entender la realidad que le toca vivir y revisar el aprendizaje en torno de cómo vivir en una sociedad tecnificada (educación para la vida).

c) Comprender el impacto de la ciencia y la tecnología en todos los aspectos de la sociedad, que requiere, además de las disciplinas tradicionales, un punto de vista más global: educación para la responsabilidad ambiental y para el desarrollo armonioso de las relaciones intra e inter sociedades (educación para el mundo).

d) Desarrollar el análisis crítico de tal manera de ser capaz de entender conceptos y desarrollarlos por sí mismo: favorecer la creatividad, las destrezas físicas y sociales, y en particular las comunicativas y organizativas (educación para el auto-desarrollo).

e) Educar para un uso constructivo del tiempo de ocio y al mismo tiempo que la educación se vaya convirtiendo en una actividad placentera (educación para el ocio).

“La experiencia parece indicar que el entorno para acciones de formación relacionadas con estos nuevos objetivos y para desarrollar competencias (uso de las fuentes de información, o la organización de la información...), definitivamente no es el salón de clase. Aparecen nuevos ambientes de aprendizaje que no parece que vayan a sustituir a las aulas tradicionales, pero que vienen a complementarlas y a diversificar la oferta educativa”. (Salinas, 1996)

Estos objetivos relacionados con la presencia de los nuevos medios de información y comunicación y de la creatividad aplicada en su uso requieren de ciertas destrezas y capacidades. Por ese motivo, se busca visualizar algunas competencias tecnológicas básicas en la profesión docente del siglo XXI, a saber:

- Actitud crítica, constructiva y positiva hacia las TIC, ya que forman parte de la sociedad.
- Conocimiento de las posibilidades de las TIC para la práctica docente.
- La aplicación de las TIC en el ámbito educativo tanto en tareas de gestión de las instituciones educativas y de organización de los procesos de la enseñanza y de los aprendizajes.
- La selección, utilización, diseño y producción de materiales didácticos con las TIC que con-

viertan el aula en un laboratorio (simuladores).

- La utilización con destreza de las TIC, tanto en actividades profesionales como personales.
- La capacidad para integrar las TIC en la planificación y el desarrollo del currículum como recurso didáctico, fomentando hábitos de indagación, observación, reflexión y autoevaluación que permitan profundizar en el conocimiento y aprender a aprender.
- La promoción en los alumnos el uso de TIC como fuente de información y vehículo de expresión de sus producciones.
- El desarrollo de proyectos de trabajo colaborativo basados en una actitud solidaria, activa y participativa.

La valoración de las TIC se relaciona con la importancia de la formación continua y permanente del profesional docente comprometido.

Jackson y lo que la enseñanza hace a los docentes

Jackson (1999) en su obra *Enseñanzas implícitas*, reflexiona sobre los efectos que tiene la enseñanza sobre el propio profesor y describe cómo el paso por la docencia lo va formando como maestro y cómo la experimentación de la enseñanza lo va modificando y se pregunta: "¿Cómo me ha afectado personalmente la actividad pedagógica?" Y responde: "... descubrir de qué modo una vida dedicada a la enseñanza puede haberme convertido en una persona distinta de la que sería si me hubiera entregado a otra actividad (...). Poseo muchos recuerdos que seguramente no tendría si no fuera por el hecho de que he sido docente. Puedo evocar escenas, anécdotas y episodios de mi experiencia docente..." aunque "...los recuerdos de la experiencia pasada, por encantador que sea saborearlos de vez en cuando, no eran con exactitud lo que yo tenía en mente cuando comencé a pensar en mi deuda personal con la enseñanza".

Jackson reconoce cómo cambió su forma de enseñar y relata: "...sermoneo menos ahora que hace algunos años, y en cambio, paso más tiempo conduciendo discusiones. Además, he modificado el contenido de lo que enseñé (...) Ahora prefiero concentrarme en una pequeña cantidad de textos que leer y analizar cada uno con cuidado, en lugar de intentar abarcar la mayor cantidad posible de material, que es lo que solía hacer cuando dictaba mis clases, en

un estilo más parecido a la disertación".

¿A qué se debe este cambio desde un modelo de enseñanza centrado en el docente a otro en el que es guía y orientador?

Dice: "...ya no siento la misma compulsión que alguna vez experimenté por aprender lo más que pudiera sobre todo lo que ocurría en mi campo de trabajo. Creo que esto se debe en parte a que, para mí, la enseñanza ya no está representada por la imagen de una persona extremadamente erudita e informada que transmite sus conocimientos minuciosamente empaquetados a otras personas (...) dentro del orden de mi propio sistema de creencias, ya no goza de la posición dominante que alguna vez tuvo."

Y continúa reflexionando "...la enseñanza enriqueció mi vida en aspectos por los que siempre estaré agradecido. Me enseñó a preocuparme por el bienestar de los demás de un modo muy parecido al que lo haría un padre o un buen amigo, aunque por supuesto comprometiéndome mucho menos en el plano emocional. La enseñanza literalmente me obligó a procurar siempre el conocimiento de una manera formal y académica mucho después que pasara la época en que la mayoría de la gente deja la universidad y se aleja de los libros de texto. Gracias a ella pude darme el lujo de la reflexión y la contemplación en una medida mucho mayor de la que pueden permitirse quienes se dedican a otras tareas. Despertó mi intelecto a una cantidad de asuntos que de otro modo probablemente hubiese ignorado o dejado de lado. (...) Tengo la corazonada de que no sólo soy una persona diferente de la que habría sido si nunca hubiese enseñado, también soy una persona mejor. En suma, creo que la enseñanza me mejoró. Y lo hizo, si mi corazonada es correcta, exigiéndome desempeñar un rol que por costumbre implica una cantidad de obligaciones morales."

Siguiendo a Litwin (1998) la buena enseñanza es aquella que pone el énfasis en la comprensión, en los aspectos pedagógicos, éticos y sociales de la enseñanza.

Un caso: Observación y análisis de una clase de comercialización

Una clase puede ser considerada como un caso

a analizar, para esto debemos tener en cuenta entre otros factores, que el observador la analiza desde un determinado marco teórico por lo que es necesario que el mismo sea lo más explícito posible.

Presentación del caso: al presenciar una clase nos encontramos con el siguiente contexto:

a) Breve descripción del espacio físico: El aula, de distribución rectangular, tiene disponibilidad para cuarenta alumnos, y están cubiertos treinta y cuatro lugares. Cuenta con luminosidad natural y artificial, presenta cuatro ventanales y seis artefactos de iluminación formados por dos tubos cada uno.

b) El tema de la clase es "*Ambiente de la comercialización*". Para desarrollarlo el profesor Ing. utiliza una *notebook* con cañón (descripción de los recursos didácticos). Pasa un *PowerPoint* sobre un lateral del pizarrón blanco mientras explica y realiza esquemas en el pizarrón como complemento.

c) En el desarrollo de la clase se evidencia la actuación del docente como guía y conductor del aprendizaje (Rogers, 1996), ayudando al alumno a arribar a la elaboración de conceptos por sí mismo, reconociendo al estudiante como persona que aprende, Un ejemplo de ello es:

...", me gustaría que los que han leído el caso me digan en qué industria se encuentra.

A: consumo masivo.

P: eso no es una industria.

A: Cuidado personal.

P: Cuidado personal.

A: Cosmética.

A: Pero también está la energía y eso.

P: Manufactura podría ser todo.

A: Plástico.

P: Me gusta más, de las que dijeron me gusta más la de cuidado personal. Es la que tal vez más se puede llegar a acercar."

El docente parte de conocimientos previos de los alumnos ya que estos son necesarios para el abordaje de nuevos aprendizajes y facilitan el *aprendizaje significativo* (Ausubel, 1983).

d) Estimula fuertemente la participación de los alumnos, partiendo de sus necesidades, motivaciones e intereses (Perkins, 1995) y logra el objetivo de aumentar su interés por los temas

tratados. Mantiene su atención permanente y tiene en cuenta que hay alumnos que son pasantes en distintas empresas.

P: "...¿Cuál es el estudio del futuro hoy?

A: La política de crecimiento, los medios (...)

P: No, Ingeniería industrial, porque es la ingeniería que tiene incumbencia en todas las otras tecnologías y es la que comunica o habla con todas las tecnologías, pero tiene un control también del mercado ó sea tiene un pie en la industria y tiene el otro pie en el mercado.

A: Entonces cuando nos recibamos ya vamos a tener trabajo."

e) Fomenta la autoestima de los estudiantes. Les da una proyección a futuro de la carrera definiendo cuales son los pilares de la carrera.

"P: Bien! Dale seguí no te frenes. Hacé como el coche ¿Saben cómo se maneja un coche cuando el terreno está pantanoso, tienen que tratar de mantener la velocidad pareja y no cambiar porque si no se quedan. Vamos! Dale."

f) Promueve la realimentación informativa, dando consejos claros y precisos para que el alumno mejore el rendimiento y pueda proceder de manera más eficaz apoyándose en las bases de da Perkins (1995) en su Teoría Uno. Da explicaciones con ejemplos fáciles de comprender.

P: "...siempre les digo señores capacítense, estudien, interiorícense de los temas en los cuales se están metiendo sepan que los temas que se están metiendo ustedes hoy en día son los que van a reeditar en el futuro, ¿por qué? porque ya no va a ser necesario tener el súper balancín para poder manejarlo ya se maneja solo lo que se necesita es gente que sepa resolver problemas, que tenga capacidad como para resolver problemas, ¿usando qué? usando las herramientas que nos brinda la tecnología ..."

g) Muestra dominio y actualización de los temas tratados en la clase. Por otra parte, caracteriza al ingeniero como el resolutor de problemas, apoyando en las herramientas tecnológicas y pone el acento en la capacitación.

P: "los proyectos de alguna manera dan una apoyatura, dan un soporte, que les permite avanzar y hacer algunas pruebas, verificaciones, si el proyecto de Uds. tiene algún tipo de

necesidades en cuanto a si tienen que probar algún material, o tienen que hacer algún tipo de ensayo de dureza, o bueno el INTI les da la posibilidad de hacer estas verificaciones y después ...”

h) Motiva a tener una actitud de investigación hacia su materia. Instala la idea de los proyectos y de analizar las características de los materiales para diferentes necesidades a través de estudios y pruebas de los mismos.

P: “Podría ser cosmética,... pero, hagamos una cosa, dejemos esto para que lo piensen, ... porque en tercer año de Ingeniería industrial tenemos que entender, tener claro qué es una industria y creo que el mejor momento y la mejor forma de aprenderlo es salir a investigar.”

i) Posee capacidad de expresión y comunicación fluida y clara, así como también le da importancia a los recursos informáticos, tanto en el aula como para investigación y estudio de los alumnos. Los alumnos siguen la clase con el *PowerPoint* impreso, efectuando notas sobre el mismo.

P: “¿Cuántos pudieron entrar a la página de la materia? ¿Todos? ¿Vieron lo que estaba, lo que subí respecto de industria II?” ...“entonces siguiendo el viejo truco de leer lo que dice la pantalla. ¿Qué es la demografía?”

“Acuérdense que les recomiendo como libro de texto central el de (nombra al autor), los de Porter, son clásicos, esos, si alguno le gusta la materia, no pueden dejar de tenerlos, (nombra otro libro)...es un libro muy lindo para leer. Es muy didáctico, muy rápido. Estos dos son libros de 500 hojas, y un resumen está ahora en la página, “Nuevas reglas” está también en la página, “La economía del hidrógeno” está en la página y “Choque de civilizaciones” también está en la página. Así que tienen para leer, van a leer. Bien. También está “La tercera hora” de (Alvin Toffler nombra autor) y creo que también está “El planeta feliz”, es muy bueno, el que quiera leerlo.”

“...alguno de ustedes ya pudo leer el librito de Kevin Kelly Las nuevas reglas para la nueva

economía léanlo no saben lo que se pierden; es un abre mente, es espectacular lo que les dice Kevin Kelly es señores: la tecnología en poco tiempo más y esto lo escribió en el año 1996.”

j) Recomienda bibliografía aclarando a que se refiere cada autor. Este es un aspecto muy importante ya que los llevará al hábito de estar bien informados. Presenta una actitud abierta hacia el diálogo con los alumnos y se preocupa por mantener en el aula un clima de cordialidad y respeto.

P: “¿Qué hace este hombre? que nunca me acuerdo, el que hace el desfile de modas en Pinamar.

A: Varios, Giordano. Risas.

P: ¿Qué es? Es un líder de opinión. Está tratando de mostrar algo, en realidad, no sé si se habrán dado cuenta, me imagino que sí, en realidad lo que muestra, hay un show que está poniendo como para atraer gente y lo del peinado muchas veces es lo de menos.

A: Risas.

P: No se rían por favor.

P: Ahora, por qué lo puede hacer, porque culturalmente nosotros... vamos a una de todos los días. ¿Por qué Gran Hermano tiene el peso que tiene hoy en día?

A: Comienzan a hablar.

P: No, no me contesten...”

k) Provoca el desequilibrio o conflicto cognitivo del alumno desde la concepción gestáltica¹ a partir de un ejemplo de la vida diaria (Piaget, 1978).

“P: Eso que están manifestando son en realidad, lo que se llaman los patrones de gasto. La gente tiene determinadas costumbres para gastar plata, está la persona que dice todo producto nuevo yo lo adquiero ¿Por qué? y por qué es nuevo, porque me gusta ver, experimentar cosas nuevas.

A: ¿Cómo qué? ¿Por qué es nuevo es mejor?”

l) Procura que el alumno desarrolle habilidades en cuanto que adquiera la capacidad de identificar información relevante (Bruner, 1991).

¹ Concepción opuesta al asociacionismo denominada Gestalt, iniciada en 1912 por Wertheimer en Alemania, y seguida por Kohler, Koffka y Lewin. Las ideas de la Gestalt rechazan la concepción atomista del conocimiento en el que este es una suma de partes preexistentes; asume como unidad mínima de análisis la estructura o la globalidad con significado propio (Gestalt).

Dado los volúmenes de información que se manejen hoy día a través de diferentes códigos simbólicos, es importante poder rescatar lo importante de los mensajes.

El docente en todo momento se mostró dispuesto a colaborar con nuestro trabajo. Nos facilitó la dirección de la *web* que utilizan los alumnos, nos aportó datos y explicaciones acerca de la asignatura y la carrera. Superó con facilidad los obstáculos que se presentaron como el reemplazar la ausencia de borrador con papel *tissue* o el ruido producido por una reactancia en mal funcionamiento de uno de los tubos de iluminación.

Con respecto al grupo de alumnos, hubo participación tanto espontánea como guiada, aunque se observó una diferencia entre el primero y el segundo grupo, ya que el grado de participación no fue el mismo, tal vez debido a que los alumnos de las 21 horas llegaban más cansados y con sueño de su jornada, y se mostraban un poco más pasivos.

Finalmente se puede agregar que así como inicia la clase disponiendo de un tiempo para la presentación de los temas, adelantando la estructura de la misma y sus organizadores temáticos, también da un cierre a la misma con proyección a la próxima clase.

Souto (1998) propone que los docentes deben tomar la clase desde la complejidad, para plantear propuestas de acción variadas y alternativas debiendo trabajar sobre incertidumbres y no sobre certidumbres, analizando tanto lo singular como lo general. Además debe pensarse al docente como un coordinador, experto en la disciplina que enseña, en las formas de enseñanza de ese conocimiento y en las estrategias que favorezcan los aprendizajes.

Reflexiones

Para una buena enseñanza es importante contar con líneas generales de actuación que permitan afrontar situaciones concretas y características de la propia institución y de los alumnos en cuestión, es decir, integrando lo que la enseñanza tiene de conocimiento, de habilidades, de disposiciones personales y de cierto arte a veces marcado por la vocación.

Hay profesionales que no poseen aún forma-

ción en Docencia Universitaria, pero que son buenos profesores debido a su vocación y voluntad superadora. Pero debemos tener presente que los actuales profesores universitarios deben desarrollar un curriculum con un alto nivel de competencia para lo cual se necesita que completen su formación profesional con una fuerte formación en Didáctica.

Los docentes, en general se apoyan en el método expositivo y lo complementan con diversas técnicas como: a) el análisis de casos, b) el trabajo en grupos de investigación, c) presentación de problemas de diferente complejidad y d) materiales didácticos de apoyo (PowerPoint, pizarrón, correo electrónico para consultas, sitios para descargas de material, recomendación bibliografía y páginas de Internet, etc.).

Miguel Fernández Pérez (1994), respecto del docente universitario, afirma que: "El sistema de selección y promoción vigente hasta ahora para los profesores de universidad no valora prácticamente la dimensión pedagógica de su puesto de trabajo, por más que la denominación del mismo sea en cualquiera de las facultades/escuelas y especialidades, la de "profesor de..." de manera que los profesores entienden su desempeño laboral ceñido más bien al contenido de sus mensajes didácticos (perfectamente rutinizable en la mayoría de las ramas del saber, aparte de copiable), ignorando olímpica e incomprensiblemente los aspectos del "cómo", de ese mensaje: atención hipertrófica (en el sentido de exclusiva, no en sí misma, por supuesto) al contenido de la transmisión, por un lado, y descuido e ignorancia supina, por otro, de la transmisión que del contenido hay, que hacer"... "los Profesores se autoestiman por la temática científica a la que se dedican, no por la profesión que ejercen. Agotan toda su inteligencia (sin duda superior) y toda su moral profesional (que debe concederse, al menos, como normal) en el cuidado de "su" temática, degenerando, a la hora de su intervención profesional como docentes, en anacronismos insostenibles que rayan el ridículo tecnológico-social, tal y como denuncian los millares de estudiantes encuestados en nuestra investigación."

"En la situación de enseñanza intervienen múltiples elementos, complejas relaciones entre los sujetos en contextos sociales específicos y diferenciados. No existen recetas fijas que

nos indiquen la mejor manera de enseñar. La mirada reflexiva y crítica sobre nuestras prácticas docentes permite objetivar la práctica en la que desarrollamos nuestra tarea y permite encontrar distintas formas de resolver nuestras preocupaciones sobre la enseñanza” (Lion, 2002).

En este sentido, buscamos a partir desde nuestra intervención, promover la buena enseñanza desde la reflexión sobre la práctica docente de los nuevos profesionales que ingresan a la enseñanza. Proponemos partir del análisis y la lectura comprensiva de las bases teóricas que aportan herramientas a la formación docente. Debemos reconocer la enseñanza desde los aportes teóricos de varias vertientes como la caja de herramientas al saber de Camilloni et al. (2007) cuando expresa: “Tanto para los didactas como para los docentes -ambos enfrentados a la resolución de problemas prácticos- la variedad de teorías que caracteriza a la didáctica en la actualidad puede constituir una potente «caja de herramientas» para comprender e intervenir en esos complejos sistemas que hemos inventado para enseñar «todo a todos». No se busca alentar la proliferación teórica ni la mezcla metodológica, sino, dadas las circunstancias, el desafío de usar, con sabiduría práctica, el instrumental a disposición para la mejora efectiva de las prácticas de enseñanza en nuestras escuelas. Aunque siempre sea una apuesta”.

Conclusiones

Cuando preguntamos: ¿A qué llamamos buena enseñanza? En varias de las respuestas obtenidas de los alumnos y ex alumnos señalaron: “a la práctica de aquellos docentes que nos transmitieron con entusiasmo, los contenidos en la universidad, dado que era el entusiasmo lo que movilizaba y se evidenciaba la pasión por lo que enseñaban.”; “El entusiasmo trasciende

la simple transmisión de conceptos, hace que uno preste atención hasta último momento.”

Es decir, más allá de la ruptura de modelos estructurados de enseñanza, desde la relación con la profesión y con la investigación, se transparenta el entusiasmo con que se generan las ideas y se crean inquietudes.

Pérez Gómez (1990) escribe al respecto que “el profesor debe entenderse como un intelectual que actúa a la manera de un artista o un clínico en el aula, que utiliza el conocimiento científico para comprender los términos de la situación en el aula ...” y se podría agregar trascender la disciplina, enseñar mejor y extender la creación individual a la creación colectiva. Así es de interés, reconocer y analizar las buenas prácticas que estimulen la participación de los alumnos, atento a sus necesidades, motivaciones e intereses con el objetivo de mantener su atención permanente.

Una práctica reflexiva permitirá complementar la formación profesional, incrementar los saberes a través de experiencias y asumir mayor responsabilidad en el oficio de enseñar, en otras razones, lo que ayudará a aumentar la capacidad de innovación (Perrenoud, 2004).

La buena enseñanza es aquella que promueve el desarrollo personal, profesional y social de las personas, así como la autonomía de pensamiento y acción. Toda enseñanza debe estimular el compromiso y la responsabilidad ética hacia la tarea y la capacidad de aprendizaje permanente. Se puede hablar de una “educación sustentable” a partir del concepto de sustentabilidad formulado por la UNESCO como: “el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

Referencias

- AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D.; HANESIAN, H. (1983) *Psicología Educativa: Un punto de vista cognitivo*, España, Editorial Trillas.
- BARCO, S. (1989). *Racionalidad, cotidianeidad y didáctica*. Disertación en las primeras Jornadas Regionales de Didáctica. San Juan.
- BRUNER, J. (1991): *Actos de significado. Más allá de la revolución cognitiva*. Alianza Editorial. Falta país
- CAMILLONI, A. (1994). *Epistemología de la Didáctica de las Ciencias Sociales*. En Aisenberg B. y S. Alderoqui (comps.) *Didáctica de las Ciencias Sociales*. Buenos Aires, Paidós.
- CAMILLONI, A. y otros (2007). *El saber didáctico*, Buenos Aires, Paidós.
- CASAS ARMENGOL, M. (1998). "Docencia y nuevas formas de aprendizaje en universidades a distancia en Iberoamérica". *Revista Iberoamericana de educación superior a distancia (RIED)*. 1, 2, 11-24.
- CATALDI, Z., LAGE, F., DOMINIGHINI, C., GOTTARDO, M. Y GACHE, F. 2009 *La buena enseñanza y el profesor investigador reflexivo en ingeniería*. "Tercer Congreso Internacional de Educación: Construcciones y perspectivas. Miradas desde y hacia América Latina". 5, 6 y 7 de agosto de 2009. UNL.
- DEWEY, J. (1989) *Cómo pensamos. Cognición y desarrollo humano*, Barcelona, Paidós.
- FERNÁNDEZ PÉREZ, M. (1994) *Las tareas de la profesión de enseñar, Siglo XXI*.
- FERRY, G. (1990) *El trayecto de la formación. Los enseñantes entre la teoría y la práctica*. Falta país Paidós.
- GIROUX, H. (1990) *Los profesores como intelectuales*. Madrid. Paidós.
- JACKSON, P. (1999) *Enseñanzas implícitas*, Buenos Aires, Amorrortu.
- JACKSON, P. (2002) *Práctica de la Enseñanza*, Buenos Aires, Amorrortu.
- LION, C. (2002) *Los relatos de la clase. Las prácticas de la enseñanza de los docentes universitarios analizadas desde la perspectiva del impacto de las tecnologías en el conocimiento*. Tesis de doctorado. FFyL. UBA.
- LITWIN, E. (1997) *Las Configuraciones Didácticas*. Buenos Aires, Paidós.
- LITWIN, E. (2008) *El oficio de enseñar: condiciones y contextos*. Buenos Aires, Paidós.
- MARQUÉS, P. (2002) *La revolución educativa en la era Internet*. Barcelona, CissPraxis.
- MORIN, E. (1998) *Introducción al pensamiento complejo*, España, Gedisa.
- PERKINS, D. (1995) *La escuela inteligente*, España, Gedisa.
- PERRENOUD, P. (2004) *Desarrollar la práctica reflexiva en el oficio de enseñar*. Graó.
- PIAGET, J. (1978) *Las estructuras cognitivas*. Madrid: Editorial Siglo XXI.
- ROGERS, C. (1996) *Libertad y creatividad en la educación*. Paidós Ibérica,
- SALINAS, J. (1996) *Nuevos ambientes de aprendizaje para una sociedad de la información*. Disponible en <http://www.uib.es/depart/gte/ambientes.html> 18/03/12
- SCHÖN, D. A., (1992) *La formación de los profesionales reflexivos*. Editorial Paidós.
- SOUTO, M. (1998) *La clase escolar. Tipologías de clases en la enseñanza media*, Revista IICE, año 7, Nº 13, pág 25-2, Buenos Aires, Miño y Dávila Editores, Facultad de Filosofía y Letras, UBA.

Flujos magnetohidrodinámicos axisimétricos con conductividad finita

Parte II. Geometría cilíndrica anular*

Néstor O. Rotstein¹, Constantino Ferro Fontán

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

nrotstein@cedi.frba.utn.edu.ar

Recibido el 27 de Diciembre de 2011, aprobado el 15 de Mayo de 2012

Resumen

En este artículo analizamos flujos magnetohidrodinámicos rotantes, estacionarios, simétricos respecto del eje propio de estructuras cilíndricas generales, suponiendo finita la conductividad del plasma encerrado, plasma que, por lo demás, se encuentra congelado a un campo magnético de líneas parcialmente abiertas. En este marco, en el que la densidad de corriente juega ahora un rol preponderante, se hallan todas las soluciones que autoconsistentemente soportan el flujo. Se estudia el problema axisimétrico completo y se aplica en particular a plasmas confinados en cilindros cerrados circularmente. Se aborda en particular el problema magnetohidrostático y se resuelve en algunos casos sencillos, aunque absolutamente generales, el problema magnetohidrodinámico. Se muestra que sólo en el caso de conductividad infinita (resistividad nula) las isosuperficies de flujo másico coinciden con las isosuperficies de flujo magnético. Este trabajo forma parte del proyecto UTN-FRBA 1234 "Detección remota y análisis de cambios de patrones de radiación medioambientales".

PALABRAS CLAVE: MHD – PLASMAS – RESISTIVIDAD – FLUJO MÁSCO CILÍNDRICO

Abstract

In this paper we analyze magnetohydrodynamic, rotating, stationary outflows, symmetric with respect to the principal axis of a cylindrical structure, assuming finite conductivity of the enclosed plasmas, for all purposes embedded and freeze in partially open magnetic fields. In this framework, in which the current density plays now a central role, we find all solutions that auto-consistently confine the outflow. We study the axisymmetric problem paying particular attention on flow confined in circularly closed cylinders. We also focus attention on the magnetohydrostatic problem and we solve the magnetohydrodynamic problem in some simple but at the same time general cases. We find that only in the infinite conductivity models (say, null resistivity), magnetic flux isosurfaces are not aligned with mass flux function isosurfaces. This work belongs to UTN-FRBA 1234 project "Remote detection and change analysis of environmental radiation patterns".

KEYWORDS: MHD – PLASMAS – RESISTIVITY – CYLINDRICAL MASS FLUX

* La "Parte I. Geometría esférica" de este trabajo fue publicada en ROTSTEIN, N. (2011, Revista Proyecciones FRBA 9, 27)

Introducción

Es sabido que todo sistema que evoluciona bajo un particular grupo de simetrías lo hace acompañado de un particular grupo de teoremas de conservación. La formulación matemática que representa el fenómeno se verá a la par simplificada porque cada simetría supone una coordenada ignorable.

En la primera parte de este trabajo (Rotstein: 2011) hemos estudiado flujos magnetizados con simetría de rotación alrededor de un eje (de ahí el nombre de *simetría axial*) es decir, *flujos magnetohidrodinámicos axisimétricos*, en los que la coordenada ignorable es el ángulo azimutal φ (y, en consecuencia, las ecuaciones de movimiento no pueden depender de esa coordenada y el momento angular alrededor del eje polar es una constante de movimiento). En esta segunda parte, explotaremos la misma simetría, pero ahora aplicada a sistemas con simetría cilíndrico anular.

Sin ir más lejos, digamos que las máquinas de fusión (*tokamaks* y *spheromaks*), así como los arcos coronales, los filamentos o los *jets* de diferentes objetos astrofísicos, son sistemas en los que el flujo posee básicamente este tipo de simetría, es decir, una suerte de cilindro cerrado en forma de circunferencia.

En estas configuraciones (salvo en los *tokamaks*, que están gobernados por campos magnéticos externos) las dos componentes del campo magnético, la poloidal y la toroidal, son generadas por las mismas corrientes de plasma vía efecto dínamo. La dinámica propia de los estados de equilibrio, que se alcanzan a partir del alineamiento particular de las corrientes internas y los campos magnéticos del plasma, es mediada (y de hecho gobernada) por la helicidad y la turbulencia magnética en los tubos de flujo.

Los estudios de flujos axisimétricos con resistividad nula poseen una larga tradición. A los trabajos pioneros de Tsinganos (1982) o la brillante formulación de Heyvaerts y Norman (1989, 2003) y su extensión relativista (Chiueh, Li y Begelman: 1991) podemos agregar los de Bogovalov (1995), Rotstein y Ferro Fontán (1995), Stone y Hardee (2000), Preuss et al. (2004) referidos a diferentes configuraciones correspondientes a diferentes estructuras a escala astrofísica.

En el caso de la corona solar, por ejemplo, las observaciones obtenidas con satélites como el Hinode o el STEREO, han revelado que los arcos coronales son mucho más frecuentes que lo que se creía (Kamio, Hara, Watanabe y Curdt: 2009; Pariat, Antiochos y DeVore: 2010). Se ha sugerido que los *jets* astrofísicos MHD son el resultado de la dinámica propia de los plasmas en campos magnéticos helicoidales en los que la compresión del campo helicoidal resulta en una componente toroidal de la fuerza de Lorentz que acelera el plasma del *jet* en la dirección toroidal, transformando de esta manera momento angular magnético en momento angular de rotación (Tordella et al, 2010; Fendt, 2011). Se han estudiado con algún detalle los *jets* en objetos astrofísicos compactos (Mirabel: 2003; Murphy et al.: 2008; Beskin: 2010; Sauty et al.: 2011), *jets* relativistas (Fendt y Memola: 2001; Contopoulos: 2007) y se ha prestado especial a la estabilidad de las configuraciones (Appl y Camenzind: 1992; Hardee, Clarke y Rosen: 1997; Keppens y Tóth: 1999 y Baty: 2005) y a las simulaciones numéricas (Blandford y Rees: 1974; Norman et al.: 1981; Sakurai: 1990; Vilkoviskij y Tambovtsena: 1992; Okamoto: 1995, 2003 y Lin Jiang et a.: 2011).

En este artículo habremos de concentrarnos en los flujos axisimétricos con conductividad finita, con simetría cilíndrica. Para ello, en primer lugar presentamos la formulación del problema en términos absolutamente generales en lo que concierne a la simetría de rotación cilíndrica, a continuación abordamos el tratamiento tradicional (conductividad infinita) para tener un sistema de comparación de resultados, mientras que luego trataremos formalmente el caso de flujos de plasmas con resistividad no nula aplicado a estructuras particulares cilíndrico anulares. Finalmente, en el apartado Análisis y conclusiones analizaremos las implicaciones de esta formulación y discutiremos sus resultados.

Tratamiento general

Las ecuaciones magnetohidrodinámicas que gobiernan la evolución estacionaria de fluidos de conductividad σ (o, equivalentemente, resistividad η), compresibles, magnetizados, sin viscosidad, en presencia de un campo gravitatorio, independientemente de la geometría propia del fenómeno, se escriben como:

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \rho \mathbf{v} = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) = \eta \mathbf{j} \quad (3)$$

$$\rho (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\nabla P + \frac{1}{\mu_0} (\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B} - \rho \nabla G \quad (4)$$

donde, como es habitual, ρ representa la densidad volumétrica de masa, \mathbf{v} el campo de velocidades, \mathbf{B} el campo de inducción magnética, G el potencial gravitatorio generado por una fuente externa, P representa la presión del fluido y $\eta=1/\sigma$ la resistividad intrínseca del plasma. Eventualmente, las ecuaciones (1)-(4) se cierran con una ecuación de balance termodinámico, que no hemos incluido porque la distribución de fuentes de calor, que de manera consistente cierra el sistema de ecuaciones MHD, no forma parte de este estudio.

Debido a la simetría, la topología de las configuraciones magnéticas no habrá de depender de las condiciones de equilibrio, sino más bien que habrá de quedar completamente determinada por la propiedad solenoidal del campo magnético (ecuación (1)). De esta forma, es posible introducir una función de flujo magnético $A(r,z)$ (la simetría de rotación, esto es, en la coordenada ϕ , lleva a que la función A solo dependa de las coordenadas r y z .) que gobierna la existencia de superficies de flujo magnético.

Es fácil ver que en coordenadas cilíndricas, con simetría axial, el flujo magnético y el flujo másico, representados por las expresiones (1) y (2), pueden escribirse en las formas:

$$\mathbf{B} = \frac{1}{r \sin\theta} \nabla A(r, \theta) \times \mathbf{e}_\phi + B_\phi \mathbf{e}_\phi \quad (5)$$

$$\rho \mathbf{v} = \frac{1}{r} \nabla \psi(r, z) \times \mathbf{e}_\phi + \rho v_\phi \mathbf{e}_\phi \quad (6)$$

donde hemos introducido también la función de flujo másico $\psi(r,z)$ con un significado funcional similar al flujo magnético. Obsérvese que la función de flujo magnético $A(r, z)$ es constante sobre cada superficie de flujo (o sea, define las isosuperficies de flujo magnético) y describe el flujo poloidal entre las diferentes superficies.

El producto vectorial de las expresiones (6) y (5) conduce de manera inmediata a una relación entre las componentes azimutales de los campos magnético \mathbf{B} y de velocidades \mathbf{v}

$$\mathbf{v} \times \mathbf{B} = \frac{1}{\rho r^2} (\nabla \psi \times \nabla A - r B_\phi \nabla \psi + \rho r v_\phi \nabla A) \quad (7)$$

Calculemos ahora la densidad de corriente \mathbf{j} . Para ello escribamos la ley de Maxwell-Ampere, en situación estacionaria ($\partial \mathbf{D} / \partial t = 0$), que a partir de la expresión (5) resulta en la forma:

$$\mathbf{j} = \frac{\nabla \times \mathbf{B}}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0} \nabla \times \left(\frac{1}{r} \nabla A(r, z) \times \mathbf{e}_\phi + B_\phi \mathbf{e}_\phi \right) \quad (8)$$

El desarrollo de la expresión (8) es tan sencillo como tedioso. Para tratar de arrojar un poco de luz sobre el procedimiento, introduzcamos la función ϕ , de manera tal que sea:

$$\nabla \cdot \phi = \left(\partial_r, \frac{1}{r} \partial_\phi, \partial_z \right) \phi = \frac{1}{r} e_\phi \quad (9)$$

En concordancia con la identidad (9) introduciremos también la función $F(r,z)$ según:

$$F = r B_\phi \quad (10)$$

que podemos pensar como una medida de la cantidad de movimiento por unidad de carga que el campo magnético intercambia en la dirección azimutal. En términos de esta nueva función podemos reescribir coherentemente la expresión (8) en la forma:

$$\mathbf{j} = \frac{\nabla \times \mathbf{B}}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0} \nabla \times (\nabla A(r, z) \times \nabla \phi + F \nabla \phi) \quad (11)$$

Obsérvese que las unidades del miembro derecho corresponden efectivamente a las de una densidad de corriente. Podemos desarrollar ahora la expresión (8) en la forma:

$$\begin{aligned} \mathbf{j} &= \frac{1}{\mu_0} (\nabla \times (\nabla A \times \nabla \phi) + \nabla F \times \nabla \phi) = \\ &= \frac{1}{\mu_0} [(\nabla \phi \cdot \nabla) \nabla A - (\nabla A \cdot \nabla) \nabla \phi + \\ &\quad \nabla^2 \phi \nabla A - \nabla^2 A \nabla \phi + \nabla F \times \nabla \phi] \end{aligned} \quad (12)$$

La expresión (12), contrariamente a lo que podría parecer, es muy sencilla: Obsérvese que el laplaciano de la función ϕ (véase su definición en la expresión (9)) es nulo. Por lo demás,

$$\begin{aligned} (\nabla \phi \cdot \nabla) \nabla A &= \left(\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \phi} \right) \left(\frac{\partial A}{\partial r} \mathbf{e}_r + \frac{\partial A}{\partial z} \mathbf{e}_z \right) \\ &= \frac{1}{r^2} \frac{\partial A}{\partial r} \frac{\partial \mathbf{e}_r}{\partial \phi} = \frac{1}{r} \frac{\partial A}{\partial r} \nabla \phi \end{aligned} \quad (13)$$

Obsérvese que en la forma anterior hemos tenido en cuenta la identidad entre las componentes de la base polar,

$$\frac{\partial \mathbf{e}_r}{\partial \phi} = \mathbf{e}_\phi \quad (14)$$

Por otro lado, es fácil ver que el segundo término de la expresión (12) se reduce a la forma:

$$\left(\frac{\partial A}{\partial r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial A}{\partial z} \frac{\partial}{\partial z} \right) \frac{1}{r} \mathbf{e}_\phi = -\frac{1}{r} \frac{\partial A}{\partial r} \nabla \phi \quad (15)$$

Así, en términos de las expresiones (13)-(15) la ecuación (12) puede escribirse en la forma:

$$\begin{aligned} \mathbf{j} &= -\frac{1}{\mu_0} \left[\left(\nabla^2 A - \frac{2}{r} \frac{\partial A}{\partial r} \right) \nabla \phi - \nabla F \times \nabla \phi \right] \\ &= -\frac{1}{\mu_0} \mathcal{D}^2 A \nabla \phi + \frac{1}{\mu_0} \nabla F \times \nabla \phi \end{aligned} \quad (16)$$

en la que hemos introducido el operador vectorial $\mathcal{D}^2 = \nabla^2 - (2/r)\partial/\partial r$.

Parece evidente, y de hecho lo es a partir de su definición en la ecuación (11), que la densidad de corriente \mathbf{j} es un vector solenoidal, cuya estructura es similar a la de los vectores definidos en las expresiones (5) y (6). En estas condiciones, la fuerza de Lorentz se escribe como:

$$\mathbf{j} \times \mathbf{B} = \frac{1}{\mu_0} \frac{1}{r^2} (\nabla F \times \nabla A - \mathcal{D}^2 A \nabla A - F \nabla F) \quad (17)$$

Pasemos ahora a calcular la vorticidad

$$\boldsymbol{\omega} = \nabla \times \mathbf{v} \quad (18)$$

Obsérvese que matemáticamente la vorticidad es al campo de velocidades lo que la corriente al campo de inducción magnética, de ahí que la estructura funcional de la vorticidad debe ser similar a la de la corriente \mathbf{j} definida en la expresión (11) (o su equivalente (12)) que deriva en la forma final que le dimos en la expresión (16). Para hacer más evidente la analogía y ganar en simplicidad definamos la función $\Lambda(r, z)$

$$\Lambda = \rho r v_\phi \quad (19)$$

que podemos pensar como una medida de la cantidad de movimiento por unidad de volumen que el plasma transporta en la dirección azimutal. En términos de esta nueva función, la identidad (6) se escribe como:

$$\mathbf{v} = \frac{1}{\rho} (\nabla \psi \times \nabla \phi + \Lambda \nabla \phi) \quad (20)$$

y luego, en términos de las expresiones (6), (9), (19) y (20) escribimos la vorticidad $\boldsymbol{\omega}$ como:

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{\omega} &= \nabla \times \mathbf{v} = -\frac{1}{\rho} \mathcal{D}^2 \psi \nabla \phi + \\
&\frac{1}{\rho} \nabla \Lambda \times \nabla \phi + \nabla \left(\frac{1}{\rho} \right) \times (\nabla \psi \times \nabla \phi + \Lambda \nabla \phi) \\
&= -\frac{1}{\rho} \mathcal{D}^2 \psi \nabla \phi + \frac{1}{\rho} \nabla \Lambda \times \nabla \phi \\
&+ \frac{1}{\rho} \nabla \Lambda \times \nabla \phi
\end{aligned} \tag{21}$$

donde el último término aparece porque, a diferencia de la permeabilidad magnética μ_0 de la expresión (11), la densidad de masa no es constante (de hecho estamos trabajando en la hipótesis de un fluido compresible).

La forma análoga a la expresión (17), en virtud de las expresiones (6), (20) y (21), se escribe como:

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{\omega} \times \rho \mathbf{v} &= \frac{1}{\rho r^2} (\nabla \Lambda \times \nabla \psi - \mathcal{D}^2 \psi \nabla \psi \\
&- \Lambda \nabla \Lambda) + v^2 \nabla \rho - \mathbf{v} (\mathbf{v} \cdot \nabla \rho)
\end{aligned} \tag{22}$$

Formulación para $\eta = 0$

La manera más sencilla de satisfacer la ley de inducción de Faraday (ecuación (3)), en virtud de la ecuación (7) cuando tratamos con un plasma de resistividad nula o, equivalentemente, de conductividad infinita, es proponer que la función de flujo másico sea función de la función de flujo magnético, esto es,

$$\psi = \psi(A) \tag{23}$$

en cuyo caso el primer término del miembro derecho de la expresión (7) se anula idénticamente ($\nabla \psi \times \nabla A = (\partial \psi / \partial A) \nabla A \times \nabla A = 0$) y luego, o bien proponer una relación definida entre las componentes toroidales de los campos \mathbf{v} y \mathbf{B} en la forma:

$$v_\phi = \frac{B_\phi}{\rho} \frac{d\psi}{dA} \tag{24}$$

o bien introducir una función potencial $\Omega(A)$ de manera tal que sea:

$$\frac{1}{\rho r^2} (\rho r v_\phi - r B_\phi \frac{\partial \psi}{\partial A}) = \Omega(A) \tag{25}$$

Obsérvese por el momento que las dimensiones de la función $\Omega(A)$ corresponden a una velocidad angular. Es fácil ver que en estas condiciones la ecuación (3) resulta:

$$\nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) = \nabla \times (\Omega \nabla A) = \frac{\partial \Omega}{\partial A} \nabla A \times \nabla A +$$

$$\Omega (\nabla \times \nabla A) = 0 \tag{26}$$

A partir de las funciones que hemos definido, y usando las ecuaciones (5), (6) y (25), es muy sencillo demostrar ahora que la función de velocidad puede escribirse en términos del campo magnético como:

$$\mathbf{v} = \frac{\mathbf{B}}{\rho} \frac{\partial \psi}{\partial A} + r \Omega(A) \mathbf{e}_\phi \tag{27}$$

La expresión (27) indica que para todo estado de equilibrio las superficies de flujo másico coinciden con las superficies de flujo magnético, a excepción de la rotación rígida de cada una de las superficies de flujo másico (representada por el segundo término del miembro derecho, precisamente en función de la velocidad angular Ω).

En la hipótesis (23) de que el flujo másico es función del flujo magnético, y en virtud de la expresión (17) para la fuerza de Lorentz, la componente toroidal (esto es, la componente e_ϕ) de la ecuación de movimiento (4) puede escribirse como:

$$\frac{\partial \psi}{\partial A} \nabla \left(\frac{\Lambda}{\rho} \right) \times \nabla A = \frac{1}{\mu_0} \nabla F \times \nabla A \tag{28}$$

Una forma alternativa de la expresión anterior es:

$$\nabla \left(\frac{\Lambda}{\rho} - \frac{1}{\mu_0} \frac{F}{\partial \psi / \partial A} \right) \times \nabla A = 0 \tag{29}$$

que puede ser integrada rápidamente suponiendo que el paréntesis es una función del

flujo magnético, digamos $L(A)$. Si usamos la expresión (25) en la forma:

$$\left(\Lambda - \frac{1}{\mu_0} F \frac{\partial \psi}{\partial A}\right) = \rho r^2 \Omega(A) \quad (30)$$

y por simplicidad en la notación llamamos ψ'_A a la derivada $\partial \psi / \partial A$, podemos escribir de manera casi inmediata:

$$\frac{\Lambda}{\rho} = r^2 \Omega(A) + \frac{1}{\mu_0} \frac{F \psi'_A}{\rho} \quad (31)$$

de donde resulta inmediatamente:

$$\frac{\Lambda}{\rho} - \frac{1}{\mu_0} \frac{F}{\psi'_A} = L(A) \implies L(A) = r^2 \Omega(A) + \frac{F}{\mu_0 \psi'_A} \left(\mu_0 \frac{(\psi'_A)^2}{\rho} - 1 \right) \quad (32)$$

En la última expresión puede verse de manera casi evidente que la cantidad $L(A)$, de acuerdo a sus unidades, representa un momento angular por unidad de masa. Observemos de paso que el primer término del paréntesis del miembro derecho define el cuadrado del número de Mach-Alfvén poloidal

$$M^2 = \mu_0 \frac{\rho v_p^2}{B_p^2} = \mu_0 \frac{(\psi'_A)^2}{\rho} \quad (33)$$

pues de acuerdo a la ecuación (27) la velocidad poloidal (componentes e_r y e_z) se escribe como $v_p = B_p \psi'_A / \rho$.

En términos del número de Mach-Alfvén podemos escribir ahora las expresiones de las componentes toroidales de los campos (algunos autores, vg, Tsinganos, 1982; Heyvaerts y Norman, 1989, han desarrollado la formulación general de este problema y vale la pena remitirse a esos trabajos para una descripción matemática completa del mismo)

$$v_\phi = \frac{\rho \Omega r^2 - \mu_0 L(A) (\psi'_A)^2}{\rho r (1 - M^2)} \quad (34)$$

$$B_\phi = \mu_0 \psi'_A \frac{\Omega r^2 - L(A)}{r(1 - M^2)} \quad (35)$$

Obsérvese que si el flujo es subalfvénico en la base y a cierta distancia es $M^2 > 1$ (como es característico en los vientos estelares, típicamente el viento solar) debe existir una distancia, digamos $r_{A'}$, en la que es $M^2 = 1$, y en ese punto los numeradores de las ecuaciones (34) y (35) deben anularse consistentemente de manera tal de mantener finitos los valores de v y B .

Parece evidente, a partir de las expresiones (32), (34) y (35), que la función $L(A)$ debe ser entonces:

$$L(A) = \Omega(A) r_A^2 \quad (36)$$

Escribamos ahora la componente poloidal (es decir, en planos meridionales que contienen al eje de rotación) de la ecuación de movimiento (4).

$$-\frac{1}{\rho r^2} \left(\frac{\nabla \Lambda^2}{2} + \mathcal{D}^2 \psi \nabla \psi \right) + (v^2 - v_p v_p) \cdot \nabla \rho + \rho \frac{\nabla v^2}{2} + \nabla \mathcal{P} + \frac{1}{\mu_0 r^2} \left(\frac{\nabla F^2}{2} + \mathcal{D}^2 A \nabla A \right) + \rho \nabla G = 0 \quad (37)$$

Teniendo en cuenta la expresión (19), que relaciona a la función $\Lambda(A)$ con la velocidad azimutal, podemos escribir la identidad (37) en la forma:

$$v_p^2 \nabla_\perp \rho + \rho \frac{\nabla v_p^2}{2} + \nabla \mathcal{P} + \rho \left(\nabla G - \frac{v_t^2}{r} e_r \right) + \frac{1}{2\mu_0 r^2} \nabla F^2 + \frac{1}{\mu_0 r^2}$$

$$\left[(1 - M^2) \mathcal{D}^2 A - \frac{\mu_0}{2\rho} \nabla \psi_A'^2 \cdot \nabla A \right] \nabla A = 0 \quad (38)$$

donde el símbolo ∇_{\perp} denota el gradiente perpendicular a la dirección del movimiento poloidal y, junto al gradiente de potencial gravitatorio, aparece ahora la aceleración centrífuga. Para propósitos posteriores habremos de escribir de una manera ligeramente diferente la última ecuación teniendo en cuenta que, tratándose de funciones axisimétricas, en el caso que estamos tratando podemos desarrollar el gradiente perpendicular como:

$$\nabla_{\perp} = \frac{\nabla A}{r B_p} \cdot \nabla \quad (39)$$

En concordancia con la expresión (39) reescribimos la ecuación (38) en la forma:

$$\begin{aligned} & \rho \frac{\nabla v_p^2}{2} + \nabla \mathcal{P} + \rho \left(\nabla G - \frac{v_t^2}{r} e_r \right) + \\ & + \frac{1}{2\mu_0 r^2} \nabla F^2 + \frac{1}{\mu_0 r^2} \left[(1 - M^2) \mathcal{D}^2 A - \right. \\ & \left. \frac{\rho}{2} \nabla \frac{M^2}{\rho} \cdot \nabla A \right] \nabla A = 0 \end{aligned} \quad (40)$$

Hay en este punto una interesante observación: si la velocidad fuera nula en todas partes y no hubiera gravedad, la ecuación (37), en caso de que las funciones F y P fueran funciones del flujo magnético A , se reduciría a la forma magnetohidrostática. Obsérvese que en esta situación resulta nulo el miembro derecho de la expresión (28), y se desprende de forma casi inmediata que el paréntesis del miembro izquierdo debe ser también una función pura del flujo magnético, esto es:

$$\frac{\Lambda}{\rho} = \Gamma(A) \quad (41)$$

Debemos notar que se trata de un caso libre de fuerzas en la dirección toroidal, pero que sin embargo muestra rotación con velocidad tangencial:

$$v_t = \frac{\Gamma(A)}{r} \quad (42)$$

Si la función Γ es constante, el movimiento

toroidal es irrotacional y la única componente de la vorticidad es perpendicular a los planos meridianos. En la ecuación (40) podemos separar inmediatamente la componente paralela al movimiento como:

$$\nabla_{\parallel} \frac{v_p^2}{2} + \frac{1}{\rho} \nabla_{\parallel} p + \nabla_{\parallel} G - \frac{v_t}{r} \nabla_{\parallel} r = 0 \quad (43)$$

pero como la velocidad tangencial expresada por la ecuación (42) es el producto de una función del flujo magnético A (y en consecuencia constante de movimiento) por una potencia integrable de r , se llega inmediatamente al teorema de Bernoulli. Si llamamos h a la entalpía por unidad de masa, y s a la entropía por unidad de masa, podemos escribir la ecuación (44) en la forma:

$$\nabla_{\parallel} \frac{v_p^2}{2} + \nabla_{\parallel} h - T \nabla_{\parallel} s + \nabla_{\parallel} \left(G + \frac{\Gamma^2}{2r^2} \right) = 0 \quad (44)$$

donde hemos usado la identidad (42) para escribir la componente tangencial de la energía por unidad de masa y hemos usado la identidad:

$$d(U + pV) = dH = Tds + Vdp \quad (45)$$

El balance transversal de fuerzas se escribe como:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\rho r^2} \left[(1 - M^2) \mathcal{D}^2 A - \frac{\rho}{2} \nabla \left(\frac{M^2}{\rho} \right) \cdot \nabla A + \right. \\ & \left. \mu_0^{-1} F F'_A \right] = T s'_A - h'_A + \frac{\Gamma \Gamma'_A}{r^2} \end{aligned} \quad (46)$$

donde s'_A denota la derivada de la entropía específica $s(A)$, que se supone conocida en la base del viento. Observemos ahora que a partir de la expresión (31), teniendo en cuenta la definición (41), podemos escribir la densidad de masa como:

$$\rho = \frac{\mu_0^{-1} F \psi'_A}{\Gamma - r^2 \Omega} \quad (47)$$

donde parece evidente que las funciones Γ y

Ω deberían tener signos opuestos para evitar la posibilidad de una singularidad del denominador como función de r que provocaría, a su vez, densidades negativas. Obsérvese de paso que en esta situación el número de Mach-Alfvén definido en la ecuación (33) puede escribirse como:

$$M^2 = \mu_0 \frac{\rho v_p^2}{B_p^2} = \mu_0 \frac{(\psi'_A)^2}{\rho} = \psi'_A \frac{\Gamma - r^2 \Omega}{\mu_0^{-1} F} \quad (48)$$

Es interesante notar que si reescribimos la vorticidad (definida en la expresión (21)) usando la ecuación (48), obtenemos:

$$\boldsymbol{\omega} = - \frac{M^2}{\psi'_A} \left[\mathcal{D}^2 A + \frac{1}{2} \nabla \ln \left(\frac{M^2}{\rho} \right) \cdot \nabla A \right] \nabla \phi + \Gamma'_A \nabla A \times \nabla \phi \quad (49)$$

y, en consecuencia, la ecuación (46) puede expresarse como:

$$\frac{1}{r^2} [\mathcal{D}^2 A + \mu_0^{-1} F F'_A] = \rho \left(T s'_A - h'_A + \frac{\Gamma \Gamma'_A}{r^2} \right) - \psi'_A \boldsymbol{\omega} \cdot \nabla \phi \quad (50)$$

Vale aquí una pequeña digresión. Para ello regresemos a la expresión de la fuerza de Lorentz, ecuación (17), que aquí repetimos por comodidad:

$$\mathbf{j} \times \mathbf{B} = \frac{1}{\mu_0} \frac{1}{r^2} (\nabla F \times \nabla A - \mathcal{D}^2 A \nabla A - F \nabla F)$$

Obsérvese que el vector $\mathbf{j} \times \mathbf{B}$ no es necesariamente irrotacional. Pero si la función F definida en la ecuación (10) es función del flujo magnético A , es decir, si $F = F(A)$ es fácil ver que el primer término del paréntesis del miembro derecho se anula, quedando:

$$\nabla F \times \nabla A = \frac{\partial F}{\partial A} \nabla A \times \nabla A = 0 \quad (51)$$

y que en tal caso, y al cabo de un mínimo análisis dimensional, podemos definir una función presión, función del flujo magnético, $p = p(A)$, tal que cumpla:

$$\frac{1}{\mu_0 r^2} \left(\mathcal{D}^2 A + F \frac{\partial F}{\partial A} \right) = - \frac{dp}{dA} \quad (52)$$

A partir de la expresión anterior, dado que la presión (y su derivada) no habrán de depender del ángulo toroidal, parece evidente que en el caso $F = F(A)$ la fuerza de Lorentz no tiene componente en la dirección toroidal (un estudio detallado de este tipo de soluciones puede encontrarse en Weinbaum y O'Brien, 1967).

Las ecuaciones (47)-(50), precisamente, junto con la ecuación de estado $T = T(\rho, S)$, constituyen la generalización de la ecuación magnetohidrostática (52) para el caso que nos ocupa. Además está decirlo, la integración de la ecuación (50) requiere de técnicas numéricas especiales, salvo que alguna hipótesis adicional pudiera hacerse y mantener el problema dentro de un marco matemáticamente más ameno. Una primera idea sería considerar el flujo irrotacional y homentrópico, en cuyo caso el miembro derecho de la ecuación (50) se reduciría a $\rho h'_A$, pero obsérvese que en este caso no sería posible satisfacer la irrotacionalidad del flujo poloidal debido a la presencia de la fuerza de Lorentz (el miembro izquierdo de la ecuación (50)). Es decir, no se cumpliría el teorema de Crocco (recordemos brevemente que el teorema de Crocco demuestra que en un flujo homentrópico y homentrópico la vorticidad es nula y el flujo es irrotacional). En particular, si el flujo es uniforme a grandes distancias de la fuente (típico de los vientos estelares) también resulta $h'_A = 0$ y la ecuación (50) muestra la proporcionalidad directa entre la fuerza de Lorentz y la vorticidad.

Habiendo analizado con algún detalle el caso magnetohidrostático representado en las ecuaciones (41) a (52), estamos en condiciones de escribir la formulación completa en el caso general. A partir de las ecuaciones (27) a (32) se obtiene formalmente la identidad:

$$\mu_0^{-1} \frac{F}{\psi'_A} = \frac{r v_t - \Omega r^2}{M^2} = r v_t - L = \frac{r B_t}{\psi'_A} \quad (53)$$

Entonces, la componente paralela al movimiento poloidal de la ecuación (40) se escribe como:

$$\nabla_{\parallel} \left(\frac{v_p^2}{2} + \frac{v_t^2}{2} \right) + \frac{1}{\rho} \nabla_{\parallel} p + \nabla_{\parallel} G - \nabla_{\parallel} (\Omega r v_t) = 0 \quad (54)$$

Obsérvese que de esta última expresión se obtiene el teorema de Bernoulli para el caso isentrópico, es decir,

$$\frac{v_p^2}{2} + \frac{v_t^2}{2} + h + G - \frac{\mu_0^{-1} \Omega F}{\psi'_A} = H(A) \quad (55)$$

La expresión de la vorticidad es análoga a la obtenida en la expresión (49), salvo por el hecho de que el término poloidal debe ser reemplazado por $\nabla(r v_t) \times \nabla \phi$.

$$\boldsymbol{\omega} = - \frac{M^2}{\psi'_A} \left[\mathcal{D}^2 A + \frac{1}{2} \nabla \ln \left(\frac{M^2}{\rho} \right) \cdot \nabla A \right] \nabla \phi + \nabla(r v_t) \times \nabla \phi \quad (56)$$

Por su lado, la expresión (50) debe sustituirse por:

$$\frac{1}{r^2} [\mathcal{D}^2 A + \mu_0^{-1} F F'_A] = \rho \left(T s'_A - h'_A + \frac{\Gamma \Gamma'_A}{r^2} \right) - \psi'_A \boldsymbol{\omega} \cdot \nabla \phi \quad (57)$$

donde hemos definido la función f como:

$$f = \frac{(L - r^2 \Omega)(L'_A - r^2 \Omega'_A)}{M^2 - 1} = F \frac{\partial(L - r^2 \Omega, r)}{\partial(\psi, r)} \quad (58)$$

Obsérvese que en todas estas expresiones interviene el número de Mach-Alfvén, cuya evaluación en términos de cantidades supuestamente conocidas puede efectuarse siempre a partir de la ecuación de Bernoulli, aunque en la mayoría de los casos prácticos esta tarea es sumamente complicada. Debemos notar que el punto $M_2=1$ es un polo de dicha ecuación

y que la rama física debe pasar por los puntos críticos lento y rápido (una discusión completa al respecto puede hallarse en Heyvaerts y Norman, 1989).

Caso resistivo ($\eta \neq 0$)

La ley de Ohm microscópica y la fuerza de Lorentz pueden escribirse sucintamente como:

$$\mathbf{E} = -\mathbf{v} \times \mathbf{B} + \eta \mathbf{j} = -\nabla \phi \quad (59)$$

donde ϕ representa el potencial eléctrico. Podemos usar las expresiones (7) y (16) para escribir el miembro derecho en la forma:

$$\nabla \times \left[- \frac{1}{\rho r^2} (\nabla \psi \times \nabla A - F \nabla \psi + \Lambda \nabla A) + \frac{\eta}{\mu_0} (\mathcal{D}^2 A \nabla \phi + \nabla F \times \nabla \phi) \right] = 0 \quad (60)$$

Obsérvese que el segundo término puede reducirse a la forma:

$$\nabla \times \frac{\eta}{\mu_0} (\mathcal{D}^2 A \nabla \phi + \nabla F \times \nabla \phi) = \frac{\eta}{\mu_0} \nabla \mathcal{D}^2 A \times \nabla \phi + \frac{\eta}{\mu_0} \mathcal{D}^2 F \nabla \phi \quad (61)$$

de manera tal que la ecuación (60) puede separarse en:

$$\frac{1}{\rho r} \frac{\partial(A, \psi)}{\partial(r, z)} + \eta \mathcal{D}^2 A = 0 \quad (62)$$

$$r \left(\frac{\partial(A, \tilde{\Lambda})}{\partial(r, z)} - \frac{\partial(\psi, \tilde{F})}{\partial(r, z)} \right) + \frac{\eta}{\mu_0} \mathcal{D}^2 F = 0 \quad (63)$$

donde hemos definido:

$$\tilde{\Lambda} = \frac{\Lambda}{\rho r^2} \quad \tilde{F} = \frac{F}{\rho r^2} \quad (64)$$

$$\frac{\partial(f, g)}{\partial(u, v)} \equiv [f, g] = \frac{\partial f}{\partial u} \frac{\partial g}{\partial v} - \frac{\partial f}{\partial v} \frac{\partial g}{\partial u} \quad (65)$$

Si se quiere que los flujos poloidales estén alineados debe tomarse $\psi = \psi(A)$, porque en ese caso resulta $D^2 A=0$. En tal escenario es fácil ver que podemos reescribir la expresión (61) en la forma:

$$r \frac{\partial(A, \tilde{\Lambda} - \psi'_A \tilde{F})}{\partial(r, z)} + \frac{\eta}{\mu_0} \mathcal{D}^2 F = 0 \quad (66)$$

Ahora multipliquemos escalarmente por \mathbf{B} la expresión (59); es fácil ver que resulta:

$$\eta \mathbf{j} \cdot \mathbf{B} + \nabla \varphi \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (67)$$

que, en vista de la expresión (16) para la corriente y el operador de la ecuación (65), lo mismo que decir:

$$\frac{\eta}{\mu_0 r^2} (\nabla A \cdot \nabla F - F \mathcal{D}^2 A) + \frac{\partial(A, \varphi)}{\partial(r, z)} = 0 \quad (68)$$

Soluciones analíticas de esta ecuación general no parecen evidentes. De hecho no lo son. Pero podemos proponer algunas (sin romper la hipótesis de axisimetría).

En primer lugar, notemos que dentro de cada estructura cilíndrica puede hacerse el cambio de variables:

$$\rho = \sqrt{r^2 + z^2} \quad (69.a)$$

$$\theta = \arctg \left(\frac{r}{z} \right) \quad (69.b)$$

Si ahora pensamos en flujos sin componente toroidal de la fuerza de Lorentz, esto es, flujos que cumplen:

$$[F, A] = 0 \quad (70)$$

donde F es la componente toroidal del campo magnético (la hemos definido en la ecuación (10)) y el significado del operador es el de la ecuación (65), proponemos las formas funcionales:

$$A(\rho, \theta) = W(\rho) \text{sen}^2 \theta \quad (71)$$

$$\varphi(\rho, \theta) = Q(\rho) \cos \theta \quad (72)$$

$$F = b_0 A(\rho, \theta) \quad (73)$$

Estas formas permiten separar variables en la ecuación general (68), y lleva automáticamente a las ecuaciones:

$$W'' + mW' - \frac{2W}{R^2} = 0 \quad (74)$$

$$Q' = -\frac{2b_0 \eta}{\mu_0} W \quad (75)$$

donde m es una constante que define la curvatura de las líneas de campo y cuyas soluciones para $\rho > 0$ son:

$$W(\rho) = C_1 e^{-m\rho} \left(1 + \frac{2}{m\rho} \right) + C_2 \left(\frac{m}{2} - \frac{1}{\rho} \right) \quad (76)$$

$$Q(\rho) = \frac{2b_0 \eta}{\mu_0} \left[\frac{C_1}{\rho^2} e^{-m\rho} + \frac{C_2}{\rho} \left(1 - \frac{1}{m\rho} \right) \right] \quad (77)$$

Una discusión completa de estas soluciones puede hallarse en Rotstein (2011). Otras formas integrables pueden obtenerse pensando el problema general en simetría toroidal. La figura 1 ilustra las variables que definen las coordenadas cartesianas ($x; y; z$), cilíndricas ($r; \varphi; z$) y toroidales ($R; \theta; \epsilon$), en la que hemos cambiado la designación de la distancia radial dentro del toroide por R , para evitar confusiones. A partir de la figura 1 es fácil ver que valen las siguientes relaciones:

$$r = r_0 + R \cos \theta \quad (78.a)$$

$$z = R \text{sen} \theta \quad (78.b)$$

$$R = \sqrt{(r - r_0)^2 + z^2} \quad (78.c)$$

$$\theta = \arctg \left(\frac{z}{r - r_0} \right) \quad (78.d)$$

$$\xi = \frac{\pi}{2} - \phi \quad (78.e)$$

En términos de las variables definidas en las ecuaciones (78.a) – (78.d) es posible, en principio, hallar soluciones analíticas desplazadas del origen (obsérvese que el centro de la circunferencia está desplazado una cantidad r_0 y que, en consecuencia, pensamos en configuraciones tales que sea $r_0 > R$) si se supone una particular dependencia angular con la latitud. La dificultad que se enfrenta es que aun en la hipótesis de que los flujos magnéticos estén linealmente relacionados ($F \propto A$, o sea, sin componente toroidal de la fuerza de Lorentz) las elecciones posibles no siempre separan variables y las ecuaciones se tornan matemáticamente muy complicadas. Una solución plausible es la que se obtiene si proponemos:

$$A(R, \theta) = W(R) \text{sen}^2 \theta \quad (79)$$

$$F(R, \theta) = U(R) \text{sen}^2 \theta \quad (80)$$

$$\varphi(R, \theta) = Q(R) \text{sen} \theta \quad (81)$$

en cuyo caso resultan las ecuaciones:

$$W'U' - UW'' = 0 \quad (82)$$

$$2 \frac{WU}{R^2} + \kappa [W'Q - 2WQ'] = 0 \quad (83)$$

donde las variables primadas denotan derivación respecto de la variable R y $\kappa = \mu_0/\eta$. Obsérvese que el sistema de ecuaciones puede resolverse suponiendo conocida alguna de las tres variables radiales. En particular, estamos trabajando en la suposición de que es nula la componente toroidal de la fuerza de Lorentz, de manera tal que parece razonable definir:

$$U(R) = b_0 W(R) \quad (84)$$

en cuyo caso resultan:

$$W(R) = C_1 e^{-R} \quad (85)$$

$$Q(R) = C_2 e^{-R/2} + C_2 \left[\ln(R) + \sum_{n \geq 1} \frac{(-1)^{n+1}}{n!n} R^n \right] \quad (86)$$

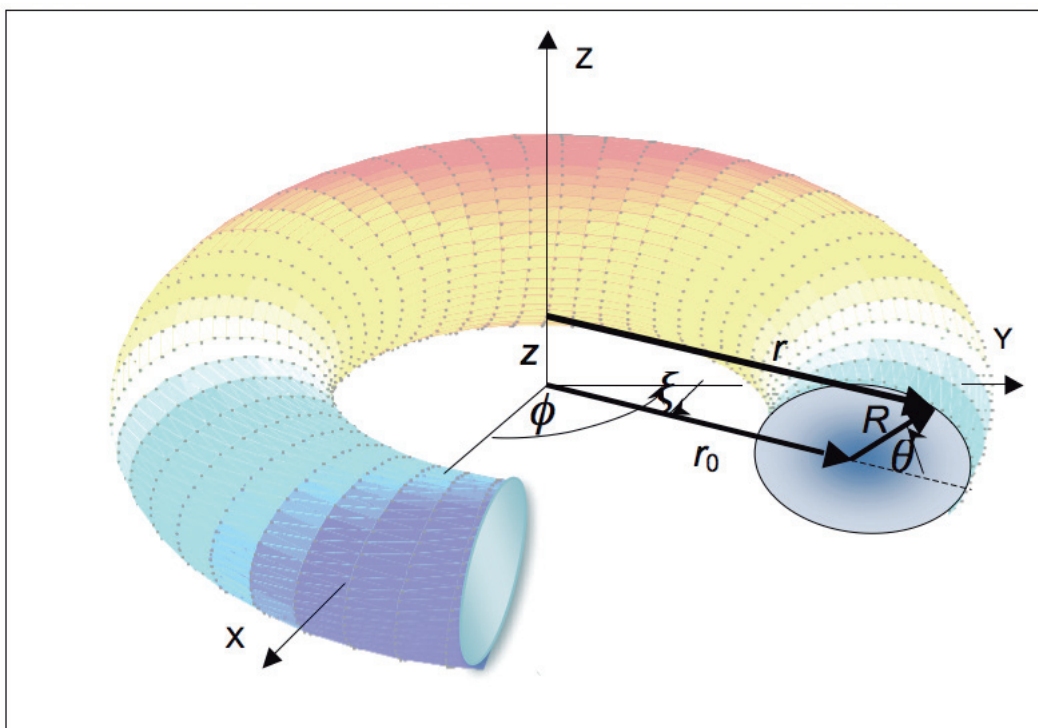


Tabla 1. Cálculo de la fluencia diferencial Φ debida al flujo de radiación que atraviesa el volumen de detección VD en cada uno de los cuatro cuadrantes

Análisis y conclusiones

En este artículo hemos analizado el flujo estacionario de fluidos magnetizados con conductividad finita en coordenadas cilíndricas y una extensión al caso cilíndrico anular. Para ello, hemos escrito las ecuaciones completas y hallado la forma de las estructuras magnéticas que sostienen ese flujo de manera autoconsistente. Vale la pena recordar que, respecto del caso de conductividad infinita, las soluciones generales cambian porque ahora debemos incorporar el término del potencial eléctrico, y esta es una condición vinculante de peso porque incorpora una variable más al problema.

Las formas analíticas que en general se invocan para tratar los flujos MHD (con conductividad infinita) proponen una forma del flujo magnético y, a partir de estructuras plausibles, resuelven el problema para la densidad de masa y la velocidad (y eventualmente la distribución de fuentes térmicas).

Nosotros hemos optado por resolver el problema sin proponer la forma del campo magnético, salvo la imposición de que se trate de flujos colimados. Al respecto, vale la pena mencionar que aunque no hemos escrito la ecuación de las líneas de campo que resultan de la resolución de las ecuaciones, se trata siempre de líneas que se convergen hacia un eje. En el caso de la ecuación (76) hacia el eje de simetría axial del cilindro, en el caso de la ecuación (86) hacia el eje polar de la sección toroidal.

La ecuación (76), de hecho, conduce a formas de campo en un todo similares a las halladas en Rotstein (2011). Hay, sin embargo, diferencias que vale la pena mencionar. Por un lado, en aquel trabajo, referido a geometría esférica, las líneas de campo no se tratan en el origen porque sólo interesan en la región exterior de un sistema de radio no nulo. En este trabajo debemos establecer taxativamente el valor $R > 1$. Por otro lado, es necesario recordar que ahora no se trata de esferas concéntricas sino de superficies esféricas contenidas en un cilindro.

Ni falta hace decirlo, las que hemos hallado y propuesto no son las únicas soluciones posibles, y debe tenerse en cuenta que hemos trabajado en todo momento con flujos sin

componente toroidal de la fuerza de Lorentz. El principal obstáculo radica siempre en la dificultad matemática que supone la elección. Por ejemplo, si en el marco que nos llevó a la ecuación (76) proponemos las formas:

$$A(\rho, \theta) = W(\rho) \operatorname{sen}\theta \quad (87)$$

$$\varphi(\rho, \theta) = Q(\rho) \operatorname{cos}\theta \quad (88)$$

$$F = b_0 \rho A(\rho, \theta) \quad (89)$$

las variables vuelven a ser separables, pero ahora la ecuación a resolver para $W(\rho)$ es de la forma:

$$W'' - 2 \log\left(\frac{W}{\rho}\right) \frac{W'}{\rho} - \frac{W}{\rho^2} = 0 \quad (90)$$

y, posiblemente, las líneas de campo no sean colimadas.

Hemos demostrado que la hipótesis de conductividad no nula (y esta es una de las consecuencias más importantes respecto del caso de conductividad infinita) conduce a estructuras de flujo en las que las isosuperficies de flujo másico no coinciden con las isosuperficies de flujo magnético, y, aunque no lo hemos discutido en detalle, podemos adelantar que esta propiedad modifica de manera sustancial la estructura de la vorticidad. Es de esperar que nuevos avances se realicen en estos tópicos con el objeto de progresar en el conocimiento de las maneras de confinar campos magnéticos de manera estable.

Agradecimiento (in memoriam)

Buena parte de los resultados de este trabajo fueron obtenidos por el Dr. Constantino Ferro Fontán, una de las mentes más lúcidas y brillantes que diera la Física argentina, fallecido en 2011. Espero sinceramente que este artículo de alguna manera honre su memoria.

Referencias

- APPL, S. y CAMENZIND, M. (1992), *Astron. Astrophys*, 256, 354.
- BATY, H. (2005), *Astron. Astrophys*, 430, 9.
- BESKIN, V. (2010), *Phys.-Usp*, 53, 1199.
- BLANDFORD, R. y REES, M. (1974), *MNRAS*, 169, 395.
- BOGOVALOV, S. (1995), *Ast L*, 21, 565
- CHIUEH, T.; LI, Z. y BEGELMAN, M. (1991), *Astrophys. J*, 377, 462.
- CONTOPOULOS, I. (2007), *Astron. Astrophys*, 472, 219.
- FENDT, C. (2011), *Astrophys. J.*, 737, 43.
- FENDT, C. y MEMOLA, E. (2001), *Astron. Astrophys*, 365, 631.
- FERRARI, A. (2010), *New J. Phys.* 13, 43011.
- HARDEE, P.; CLARKE, D. y ROSEN, A. (1997), *Astrophys. J*, 485, 533.
- HEYVAERTS, J. y NORMAN, C. (1989), *Astrophys. J*, 347, 1055.
- (2003), *Astrophys. J*, 596, 1270.
- KAMIO, S.; HARA, H.; WATANABE, T. y CURDT, W. (2009), *Astron. Astrophys*, 502, 345.
- KEPPENS, R. y TOTH, G. (1999), *Phys. Plasmas*, 6, 1461.
- LIN JIANG, R.; SHIBATA, K.; ISOBE, H. y FANG, C. (2011), *Astrophys. J*, 726, L1.
- MIRABEL, I. F. (2003), *NewAR*, 47, 471.
- MURPHY, G.; LERY, T.; O'SULLIVAN, S.; SPICER, D.; BACCIOTTI, F. y ROSEN, A (2008), *Astron. Astrophys*, 478, 453.
- NORMAN, M.; SMARR, L.; SMITH, M. y WILSON, J. (1981), *Astrophys. J*, 247, 52.
- OKAMOTO, I. (1975), *MNRAS*, 173, 357.
- (2003), *Astrophys. J*, 589, 671
- PARIAT, E.; ANTIOCHOS, S. y DEVORE, C. (2010), *Astrophys. J*, 714, 1762.
- PREUSS, O.; HOLZWARTH, V.; SOLANKI, S. y SCHÜSSLER, M. (2004), *Astron. Astrophys*, 417, 987.
- ROTSTEIN, N. (2011), *Proyecciones*, 9, 27.
- ROTSTEIN, N. y FERRO FONTÁN, C. (1995), *Astrophys. J*, 449, 764.
- SAKURAI, T. (1990), *Comp. Phys. Rep*, 12, 247.
- SAUTY, C.; MELIANI, Z.; LIMA, J.; TSINGANOS, K.; CAYATTE, V. y GLOBUS, N. (2011); *Astron. Astrophys*, 533, 46.
- STONE, J.; HARDEE, P. (2000), *Astrophys. J*, 540, 192.
- TORDELLA, D.; BELAN, M.; MASSAGLIA, S.; DE PONTE, S.; MIGNONE, A.; BODENSCHATZ, E. y FERRARI, A. (2010), *New J.Phys*, 13, 43011.
- TSINGANOS, K. (1982), *Astrophys. J*, 252, 775.
- VILKOVISKIJ, E.; TAMBOVTSEVA, I. (1992), *Astron. Astrophys Sup. Series*, 94, 109.
- WEINBAUM, S. y O'BRIEN, V. (1967), *Phys.Fluids*, 10, 1438.

Implementación de un sintetizador de banda ancha mediante tecnología DDS

Raúl Federico Guilló Marquez, Carlos Mario Puliafito, Pablo Jeremías Aliquó, José Luis Puliafito

Universidad de Mendoza, Facultad de Ingeniería, Instituto de Alta frecuencia y Microondas.
Paseo Dr. Emilio Descotte 750, (5500) Mendoza, Argentina.

federicoguillo@gmail.com

Recibido el 15 de Febrero de 2012, aprobado el 27 de Abril de 2012

Resumen

En este trabajo se presenta el diseño y la implementación de un sintetizador de frecuencias de banda ancha mediante tecnología DDS. Primeramente daremos una introducción teórica sobre esta técnica de síntesis, su arquitectura y sus características más representativas. Luego se analiza la implementación de un equipo sintetizador completo, presentándose también las mediciones y ensayos realizados.

PALABRAS CLAVE: SÍNTESIS DE FRECUENCIAS – DDS – SÍNTESIS DE SEÑALES

Abstract

This paper presents the design and implementation of a broadband frequency synthesizer by DDS technology. Firstly a theoretical introduction of this synthesis technique, its architecture and its most characteristic features are presented. Then one implementation of a complete synthesizer equipment is analyzed. The measurements and tests performed are submitted too.

KEYWORDS: FREQUENCY SYNTHESIS – DDS – SIGNAL SYNTHESIS

Introducción

Hasta no hace mucho las técnicas de síntesis de frecuencias eran consideradas una novedad y sólo eran utilizadas en equipos sofisticados y complejos. Hoy, la síntesis de frecuencias es empleada en prácticamente todas las aplicaciones electrónicas, ya sean estas domésticas, industriales, de oficina o espaciales. También, como sabemos, en los últimos 15 a 20 años se ha propagado la tendencia a mudar todo hacia técnicas digitales, y la síntesis de frecuencias no es una excepción.

En la síntesis digital directa (DDS, por sus siglas en inglés) las señales son generadas haciendo uso de la teoría del muestreo y un convertidor digital-analógico, y aunque resulta más complicada que las técnicas analógicas, trae consigo las ventajas de excelente reproducibilidad, mayor precisión, mejora del rendimiento, control total sobre los parámetros de la señal y alto nivel de integración a costos reducidos, entre otras.

En primer lugar, en este trabajo, se presenta una introducción teórica sobre el funcionamiento de un sintetizador DDS, su ecuación de sintonía, formas de modulación y parámetros más importantes. A partir de allí podremos deducir por qué es la técnica que se usará en la mayoría de las aplicaciones futuras, sus ventajas y por supuesto también sus limitaciones.

Luego se plantea en detalle la implementación de un equipo completo para síntesis por DDS de banda ancha, con un integrado dedicado para esta aplicación de síntesis. Veremos un

diagrama en bloque general del equipo e iremos desglosando y estudiando las etapas más relevantes de este diseño.

Teoría sobre DDS

Fundamentalmente, la técnica DDS, se basa en el teorema de muestreo desarrollado por Shannon. Este teorema demuestra que toda señal (estocástica, con energía finita), que tenga un espectro de banda limitada (es decir, la señal no tiene energía a frecuencias superiores a $\omega_0 = W$), puede ser representada por sus muestras discretas en el tiempo, siempre que la tasa de muestreo sea de al menos $2F_0$, donde $F_0 = \omega_0/(2\pi)$. Esto indica que una señal muestreada puede ser totalmente recuperada de sus muestras y que, en el proceso, muchas otras frecuencias se generarán. Estas otras señales son también conocidas como señales *alias*.

En DDS, la señal se genera y manipula digitalmente desde "cero". Por lo tanto, las muestras que luego conformarán la señal se generan digitalmente en forma numérica, y no a partir del muestreo de una señal analógica proveniente de un oscilador. Una vez terminados todos los procesos sobre las muestras digitales generadas, éstas son convertidas a una señal analógica a través de un conversor digital analógico o DAC. Esto denota una diferencia fundamental entre la generación DDS y las demás técnicas, como la técnica de síntesis analógica directa (DAS) o la PLL (*Phase-Locked Loop*). Si bien ambas técnicas, PLL y DAS, usan dispositivos digitales, como *buffers* y detectores de fase, éstas son disciplinas fundamentalmente analógicas.

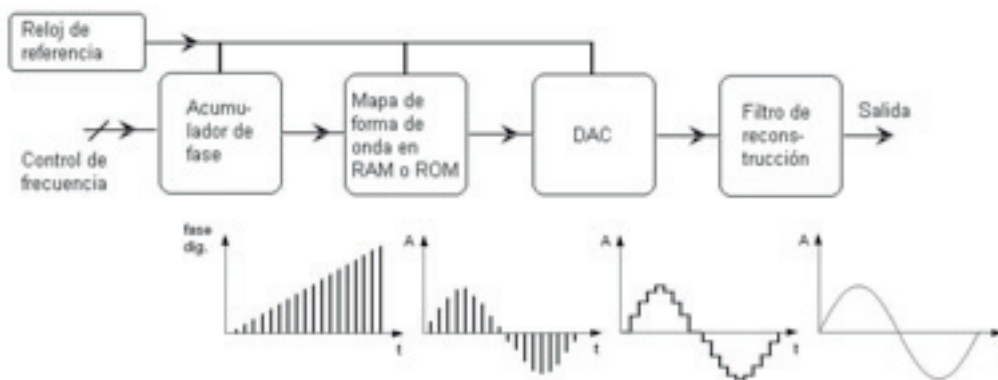


Fig. 1. Diagrama en bloques de un sintetizador por DDS y formas de onda a la salida de cada bloque

Existe una gran variedad de implementaciones de DDS, algunas simples y otras no tanto. Sin embargo, una es la dominante y consiste en cuatro elementos: un acumulador, una tabla de coeficientes de la señal sinusoidal, un conversor digital analógico (DAC) y un filtro pasa bajos o filtro de reconstrucción (LPF), como puede verse en la figura 1. Además, todo el sistema se alimenta de un reloj de referencia que provee al sistema de un ciclo de trabajo. Por supuesto, será necesaria una etapa de control, que permita configurar adecuadamente cada uno de estos elementos.

Recordando que la representación de una señal sinusoidal, de amplitud A , frecuencia $F = \omega/2\pi$, y fase ϕ esta dada por:

$$A \sin(\omega t) \quad (1)$$

La fase de la señal a generar es una función lineal y creciente del tiempo como la mostrada en la figura 1. El gradiente o pendiente de la fase ($d\phi/dt$) es la frecuencia angular ω . Esta fase es generada digitalmente por el acumulador de fase, el cual es alimentado por el reloj de referencia para indicar el momento en el que el acumulador debe incrementarse en una cantidad W fijada por la entrada de control de frecuencia. Por lo tanto, el acumulador de fase, se trata de un integrador digital que produce una rampa de salida con pendiente W . Podemos modelar el funcionamiento del acumulador de fase mediante la función dada en (2).

$$S(n) - S(n - 1) + W \quad (2)$$

Donde $S(n)$, es la fase de salida del acumulador en el momento n , correspondiente a cierto *tick* del reloj de referencia, y W es la cantidad que permite controlar la velocidad del incremento de la fase, o sea la frecuencia digital, y es una magnitud adimensional que conserva una relación proporcional con la frecuencia de salida para una dada frecuencia de reloj. La frecuencia de reloj suele ser fija, o por lo menos en un rango de síntesis.

Supongamos que el tamaño del acumulador es de, por ejemplo, $N=32$ bits binarios. Por tanto, es capaz de acumular entre cero y $2^{32}-1$. Obviamente, por encima de este número el acumulador se desbordará y volverá a empezar de cero. La tasa de acumulación depende únicamente de la tasa de reloj de referencia $F_{ck}=1/T$

y de W . La frecuencia digital W puede ser tan baja como cero, y en este caso el acumulador no se incrementará (equivalente a la generación de una señal constante), o cualquier número arbitrario $W < 2^n - 1$. Si igualamos el cero del acumulador de fase con la fase cero y $2^{32}-1$ con la fase 2π entonces tenemos un dispositivo que generará fases desde cero a 2π en forma periódica (ya que el dispositivo funciona con módulo 2^{32} , desborda y vuelve a comenzar), como se muestra en la figura 1, donde se ve un ciclo de la forma de onda típica.

Matemáticamente, sabiendo que $\omega = d\phi/dt$, podemos reescribir

$$F_{out} = 2\pi \frac{d\phi}{dt} = \frac{W}{2^N/T} = \frac{F_{CK}W}{2^N} \quad (3)$$

donde F_{out} es la frecuencia de salida y T es el período del reloj de referencia que alimenta al sistema. Para este ejemplo, la frecuencia de salida será:

$$F_{out} = \frac{F_{CK}W}{2^{32}} \quad F_{out} = \frac{F_{CK}W}{ACM} \quad (4)$$

donde ACM es el número de estados que el acumulador puede tomar. La expresión dada en (4) es conocida como "ecuación de sintonía" para DDS.

Hay que tener en cuenta que, a efectos prácticos, la frecuencia digital W debe ser menor a 2^{N-1} , puesto que este valor es el que corresponde a la frecuencia de conversión entre la señal y su *alias*.

El acumulador está funcionando como un índice, cuya salida (representación de la fase) controla la entrada (dirección de memoria a buscar) a la tabla de coeficientes de seno de la memoria ROM. Esta memoria convierte ωt en el $\sin(\omega t)$ o ϕ en el $\sin(\phi)$ para generar la amplitud de la forma de onda de salida, esto se hace así generalmente, ya que la transformación es no lineal y una tabla en memoria estática es una herramienta conveniente para almacenar los coeficientes de la forma de onda para cada fase. Inclusive basta con cambiar los coeficientes en la memoria para poder lograr señales con distintas formas de onda. En la práctica, la mayoría de las veces, el total de los *bits* de salida del acumulador de fase no se conectan a la memoria de tabla de coefi-

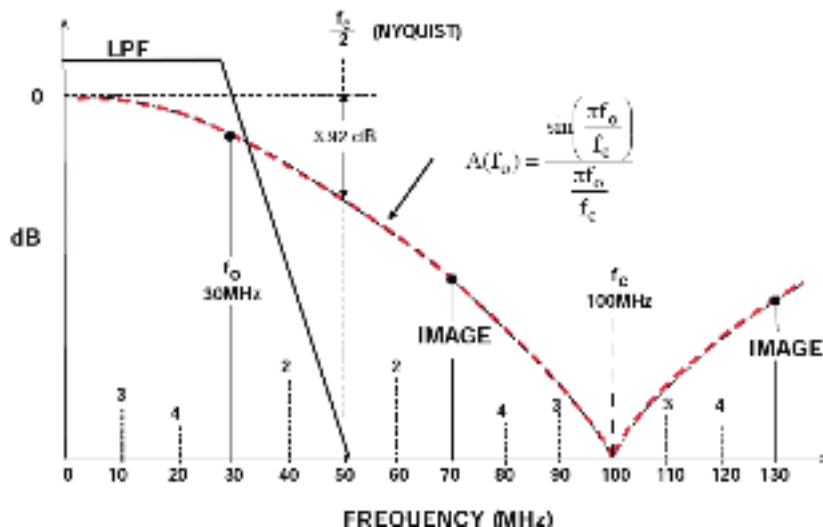


Fig. 2. Espectro de salida del DAC para el caso de una $F_{out}=30\text{MHz}$ y una $F_{ck}=100\text{MHz}$

cientes, se trunca la salida a los 13 o 15 *bits* más significativos, de esta manera se reduce el tamaño de la memoria sin perder la resolución de frecuencia. El truncado en la información de fase solo añade un pequeño ruido de fase a la salida, que es bastante aceptable en la mayoría de los casos.

Los *bits* digitales de salida de la ROM, resultantes de la conversión de la información de fase en información de amplitud, son ahora conectados al DAC, que convierte los coeficientes en tensiones de una onda sinusoidal analógica. La resolución del DAC es usualmente de 2 a 4 *bits* menor que el ancho del bus de salida de la memoria de coeficientes, pero esto no genera un aumento significativo al ruido de cuantización, que existe incluso usando un DAC con mayor resolución.

En la figura 2 puede verse un ejemplo de espectro en frecuencia de salida del DAC. Puede observarse que la envolvente tiene la forma de un $\sin(x)/x$ con ceros en la frecuencia del reloj de referencia y múltiplos de esta. Esto es así, dado que el DAC no tiene como salida funciones impulso, sino pulsos de ancho finito.

Finalmente, el filtro pasa bajos de reconstrucción, o *antialiasing*, elimina todos los *alias* de frecuencias (frecuencias imagen) y hace que la señal tenga una apariencia lisa, como se muestra en la figura 1. En la práctica, el filtro está limitado al 40% de la frecuencia de reloj dado que su pendiente de corte es finita y en su dise-

ño debe considerarse que la función de transferencia compense la respuesta del DAC para lograr una respuesta de salida plana en todo el rango del sintetizador.

Cabe tener en cuenta que, puesto que la señal se sintetiza a partir de cero, conocemos exactamente el estado de la máquina en todo momento, y es relativamente fácil añadir desplazamiento de fase, cambios de frecuencia y amplitud, modulación, todo en el dominio digital y con precisión digital.

Modulación

Ya que tenemos el control total de los parámetros de la señal, es fácil incluir puertos de modulación tanto para modulación en frecuencia, amplitud o fase, todo en el dominio digital de la señal, como muestra la figura 3.

La frecuencia es cambiada modificando el valor de W , que es la función básica de un sintetizador por DDS. Debido a la naturaleza de la técnica DDS el cambio de fase continuo es simple de lograr, por lo que también es posible lograr un barrido lineal de FM de fase continua. La fase puede ser cambiada insertando un sumador entre el acumulador y la memoria ROM. El cambio de amplitud se logra gracias a la inserción de un multiplicador entre la memoria y el DAC.

Si todas las modulaciones son empleadas, la forma de onda de la salida ya no será la de la expresión (1), sino que será la siguiente:

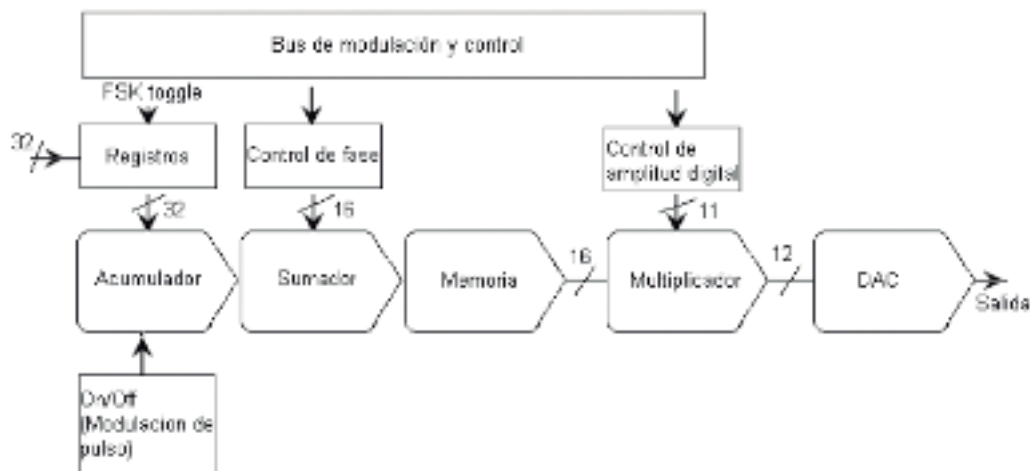


Fig. 3. Implementación de la modulación en DDS

$$A(\alpha) \sin[\omega(W)t + \theta(b)] \quad (5)$$

De esta manera puede lograrse un control digital sobre la totalidad de los parámetros de la señal.

Parámetros en DDS

A continuación se describen los parámetros que se obtienen de un sintetizador típico con la técnica DDS y sus limitaciones.

Frecuencia de salida: La frecuencia de salida de un DDS es teóricamente limitada a la frecuencia de Nyquist. Además cuestiones prácticas en la realización del filtro pasa bajos reducen la frecuencia máxima de salida a alrededor del 40% de la frecuencia de reloj. Actualmente la máxima frecuencia de reloj tolerable por algunos sintetizadores DDS es de 1 GHz, llevando la frecuencia máxima de salida cerca de los 400 MHz. En algunas aplicaciones las frecuencias de *alias* no son filtradas para generar una banda de frecuencias superior a las frecuencias de las fundamentales (suele decirse que el sintetizador opera en frecuencias súper - Nyquist).

Resolución (tamaño de paso): La resolución o incremento mínimo de frecuencia esta dado por F_{ck}/ACM . Por lo tanto, el tamaño del acumulador controla la resolución, y el aumento del tamaño del acumulador es bastante sim-

ple y añade poco a los costos y la complejidad del diseño. En comparación con el costo y la complejidad de la resolución en técnicas PLL o DAS, es una ventaja notable a favor del DDS.

Velocidad: La velocidad de conmutación en un sintetizador basado en DDS es una combinación de los tiempos que toma propagar la señal digital a través de la lógica de control y el tiempo de retardo del filtro pasa bajos. En implementaciones de DDS de alta velocidad pueden lograrse retardos de 300 ns lo cual es excelente teniendo en cuenta que para otras técnicas (PLL o DAS) los tiempos son del orden de decenas de milisegundos. Incluso los costos para otras técnicas son superiores.

Continuidad de fase: Por la estructura que posee un sintetizador basado en DDS, cuando las frecuencias son conmutadas, éste lo hace de la manera más continua y suave posible. Gracias a esto, es que es posible utilizar este tipo de sintetizadores en barridos de frecuencia y modulaciones especiales, donde la fase continua es necesaria. De hecho, DDS es la única práctica correcta en aplicaciones de modulación como FSK, MSK, GMSK (popular para aplicaciones de celular) que requieren de transición de fase sin interrupciones.

Cuantización: Es importante señalar que debido al hecho que se utiliza una longitud de palabra finita en el DAC, los errores de cuantificación digital son la causa de generación de errores periódicos de cuantificación en la am-

plitud de la señal analógica. Hoy en día esta es la principal desventaja de la técnica DDS, y los diseños actuales no logran un rechazo de señales espurias menor a 65 dB.

Implementación

El objetivo de esta implementación es lograr un equipo totalmente autónomo (sin asistencia de PC), capaz de sintetizar frecuencias en el mayor rango posible, y que además, permita realizar un barrido en frecuencia ágil, continuo y lineal en todo el rango. El equipo deberá tener dos modos de funcionamiento, el modo de frecuencia simple y el modo barredor de frecuencia.

Es posible construir un sintetizador DDS mediante bloques discretos interconectados, sin embargo, en la actualidad existen circuitos integrados dedicados a la generación de frecuencias mediante la técnica DDS. Así mismo, para lograr un equipo como el descrito, no basta con hacer uso simplemente de un circuito integrado sintetizador, además es necesario acompañarlo de las partes que permitan el comando de este integrado, su configuración, la fuente de alimentación y la interfaz que permita al usuario interactuar con él. Por todo esto es que será imperioso el uso de un microcontrolador, lo que añade indudablemente, la necesidad de proveer a éste de un *firmware* (*software* embe-

bido en el microcontrolador).

El diagrama en bloques del equipo propuesto puede verse en la figura 4. Claramente pueden observarse 2 secciones bien definidas, la sección sintetizadora propiamente dicha, y la sección de control.

Como integrado sintetizador haremos uso de uno de los dispositivos más poderosos del mercado actual, el *AD9858* de la marca Analog Devices. Esta pastilla contiene en su interior la mayoría de los bloques necesarios para la síntesis digital de frecuencias como el acumulador de fase, el conversor digital analógico (DAC) y la memoria con la tabla de coeficientes. Es elegido por su gran ancho de banda y porque además contiene un acumulador de frecuencia, que permite realizar un barrido en frecuencia lineal automático con parámetros configurables.

Sección sintetizadora

Esta sección está compuesta por 3 etapas en cascada muy importantes para el diseño, ya que de éstas depende el comportamiento en frecuencias del equipo. Estas etapas son el reloj de referencia, el integrado sintetizador DDS y finalmente el filtro de reconstrucción de salida con su correspondiente adaptación de impedancia y conector de salida. Tanto el tipo

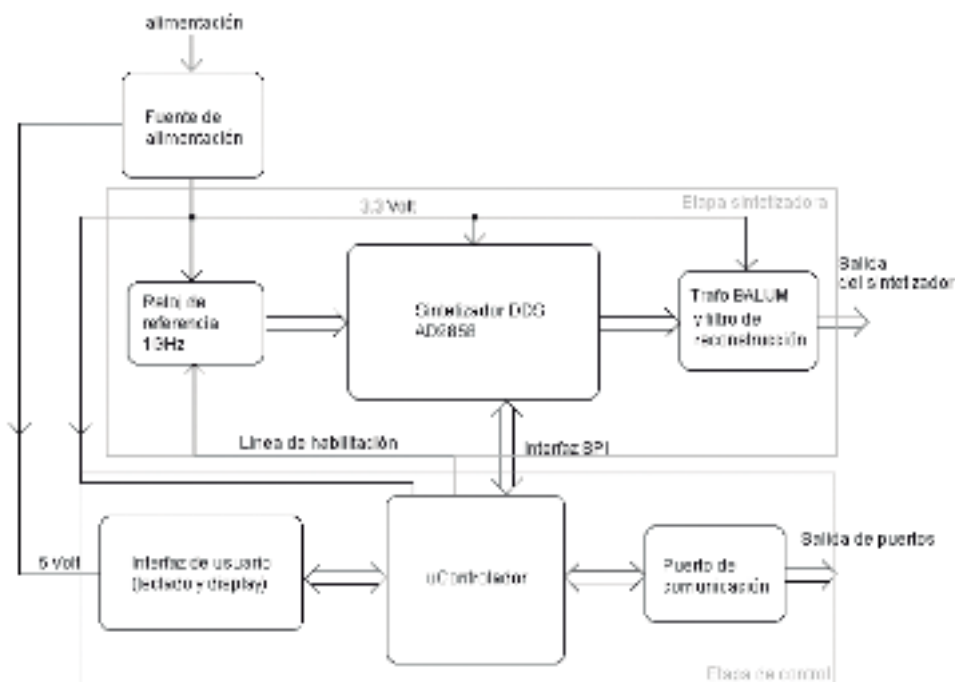


Fig. 4. Diagrama en bloques del equipo completo

de interconexión entre ellas, como los componentes utilizados y su montaje en el circuito impreso (incluso el diseño de éste), afectan de manera decisiva la *performance* del equipo, por lo que debe tenerse un especial cuidado en su selección y diseño.

Sin duda, el componente con más importancia en esta etapa, e incluso en el equipo, es el integrado AD9858, por lo que cabe resaltar algunas de sus características. Está conformado por un acumulador de fase de 32 *bits*, una tabla de coeficientes en memoria, y un DAC de 10 *bits* de resolución capaz de soportar 1 GSPS (*giga sample per second*), esto significa que será capaz de mostrar en su salida mil millones de muestras por segundo, dando la posibilidad de que la máxima frecuencia sintetizable sea de 500 MHz (en rigor deberá ser inferior para dar una banda de transición al filtro de reconstrucción de la salida), siempre que se lo alimente con un oscilador de referencia de 1 GHz, que es lo que se hará en esta implementación, dado que se pretende tener el mayor ancho de banda posible. Internamente, cada uno de los bloques que lo constituyen, es configurable mediante la escritura en registros accesibles a través de dos puertos de comunicación, uno paralelo de 10 hilos, y uno en serie del tipo SPI. Por razones de disponibilidad de pines en el microcontrolador, en esta implementación usaremos el puerto serie.

El registro que permite la selección de la frecuencia a sintetizar en el modo simple, y la frecuencia de inicio en el modo barredor, es llamado FTW (*frequency tuning word*). Su ancho es de 32 *bits*, y en conjunto con la frecuencia del reloj de referencia (en este caso 1 GHz), en el modo simple, fijan la frecuencia de salida del equipo según la "ecuación de sintonía" que en este caso será:

$$FTW = \frac{(F_0 \cdot 2^{32})}{SYSCLK} \quad (6)$$

Tomando la máxima frecuencia sintetizable (frecuencia de Nyquist) podemos obtener el máximo valor posible para la palabra de sintonía FTW mediante la ecuación (6):

$$FTW = \frac{(500MHz \cdot 2^{32})}{1GHz} = 2147483648 \quad (7)$$

Luego, moviendo el valor del registro FTW entre cero y el valor máximo podremos sintetizar desde cero hasta 500 MHz. Cuando el registro toma el valor particular de 1, podemos calcular el paso de frecuencia o resolución en frecuencia del equipo:

$$Fstep = \frac{(1 \cdot 1GHz)}{2^{32}} = 0,2328Hz \quad (8)$$

En la ecuación (8) puede notarse que la relación resolución al ancho de banda sintetizable es excelente. Debido a que la implementación requiere que el usuario introduzca la frecuencia deseada, que luego será convertida a un valor discreto binario para ser introducida en el registro FTW, es necesario hacer una aproximación de la frecuencia al valor entero binario más cercano. Por ello, es que la resolución accesible al usuario se ve reducida a la unidad de Hz y el error máximo cometido por aproximación nunca puede superar la mitad de la resolución real ($\pm 0,1164$ Hz). Este error es absoluto en todo el rango sintetizable. Si calculamos el error relativo de frecuencia debido a la aproximación en la mitad del rango obtenemos la ecuación (9).

$$Ef = \frac{0,1164Hz}{250MHz} \cdot 100\% = 0,000000046\% \quad (9)$$

En el modo barredor de frecuencia, además de hacer uso del registro FTW para *setear* la frecuencia inicial, es necesario *setear* los registros DFTW (*delta frequency tuning word*) y DFRRW (*delta frequency ramp rate word*). Ambos permiten definir el incremento de frecuencia y el intervalo de tiempo en el cual se produce el incremento de frecuencia respectivamente. En conjunto, los tres registros, permiten al AD9858 lograr un barrido lineal desde una frecuencia inicial, hacia arriba o hacia abajo, a un ritmo y tamaño de paso de frecuencia deseado. Las ecuaciones que relacionan estos registros con la frecuencia en cada instante de tiempo pueden encontrarse en el *datasheet* del integrado.

La entrada para el reloj de referencia del AD9858 es del tipo diferencial, compatible con el sistema LVDS (*low-voltage differential signaling*), y si bien es posible utilizarla en modo *single ended*, es aconsejable el modo diferen-

cial debido a que es mayor el rechazo en modo común y menor la generación de armónicos a la salida. Para hacer frente a la selección del reloj de referencia es necesario realizar una serie de cálculos a partir de las características de esta entrada. El rango de potencias de entrada es de -20 a 5 dBm, la impedancia de entrada es de 1500 ohm, la máxima frecuencia de entrada es de 1 GHz y el ciclo de trabajo del 50%. Si calculamos la potencia mínima y máxima tolerable obtenemos 10 μ W y 3,16 mW respectivamente. Seguidamente podemos calcular las tensiones mínimas y máximas de entrada, obteniendo 122 mV y 2,17 V respectivamente.

Por supuesto, es posible utilizar cualquier tipo de reloj de referencia, siempre que cumpla con las características descritas en el párrafo anterior. Sin embargo, después de evaluar distintas soluciones discretas muy poco convenientes (debido a la complejidad de diseño e implementación), como el uso de un oscilador LC y un *buffer* de alta frecuencia, se decide usar para esta implementación un VCXO integrado (VCO basado en cristal) de la marca FOX, el cual es posible adquirir en la frecuencia de 1GHz con una precisión de 6 decimales, y

cuenta con una salida diferencial perfectamente comprendida dentro del rango de tensión y ciclo de trabajo necesario.

Para la selección del filtro de reconstrucción de salida, se procedió a realizar primeramente una simulación del comportamiento del sintetizador en una utilidad web que brinda el fabricante, que entre otras cosas, permite evaluar el nivel de armónicos y la forma de la señal de salida del sintetizador para distintos filtros sintetizables por teoría de aproximación. Teniendo en cuenta estas simulaciones y que deseamos el mayor rango posible de frecuencia de salida, se decide utilizar un filtro pasa bajos de séptimo orden, con frecuencia de corte a -3dB en 480 MHz, por aproximación de Tchebychev, dado que presenta una banda de transición angosta. El diseño del filtro se lleva a cabo mediante la utilización de un CAD de escritorio llamado MicroWave Office, obteniéndose así los valores de los componentes necesarios. En la figura 5 puede verse el diseño del filtro y sus parámetros dispersivos más importantes. Los valores de los inductores y los capacitores son aproximados a los valores comerciales más próximos y reevaluados para lograr la respuesta óptima

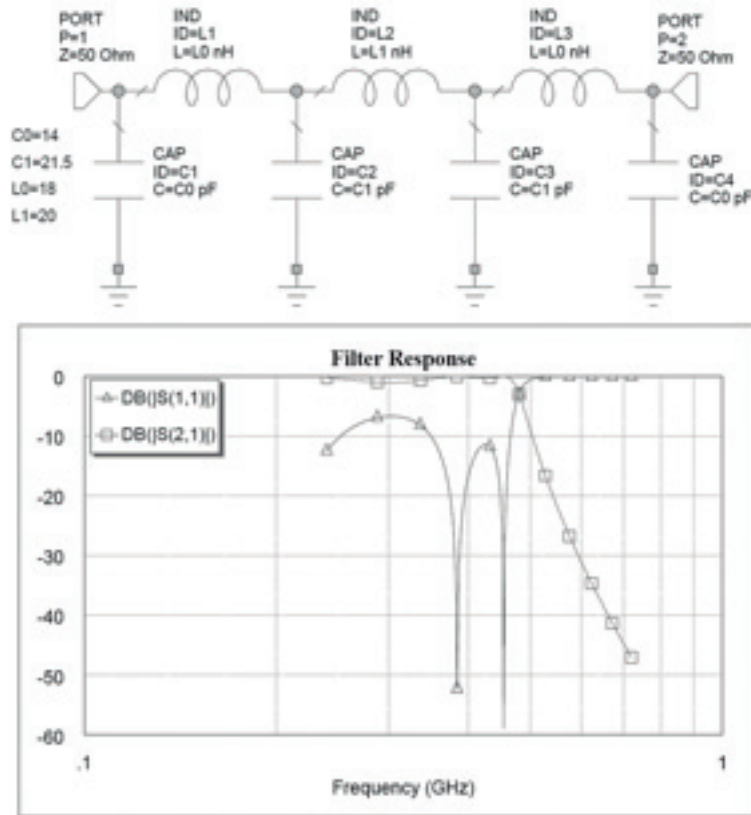


Fig. 5. Esquema y respuesta en frecuencia del filtro de reconstrucción

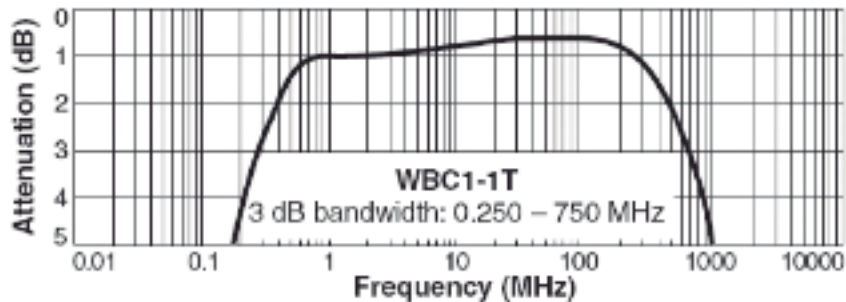


Fig. 6. Respuesta en frecuencia del BALUN

del filtro. En el caso de los capacitores, el ajuste del valor se logra desdoblado cada elemento en dos (con valores distintos), y colocándolos en paralelo en el circuito impreso.

Debido a que la salida del AD9858 es del tipo diferencial se hace necesario interponer, entre el filtro y la salida, un transformador BALUN. Éste deberá ser de banda ancha y en lo posible con respuesta plana en la banda pasante. El estudio de la solución nos lleva a utilizar un transformador de la marca Coilcraft que posee un ancho de banda de casi 750 MHz desde los 250 KHz, siendo además de montaje superficial y tamaño reducido, lo que posibilita un diseño compacto, que en conjunto con el filtro de reconstrucción, no supera la décima de la máxima longitud de onda de síntesis (de otra manera sería necesario analizar el conjunto por teoría de campo). En la figura 6 se aprecia la respuesta en frecuencia del transformador. Puede verse que este transformador cuenta con una respuesta enfatizada hacia las altas frecuencias, mejorando la respuesta en frecuencia final del conjunto, ya que compensa la salida del DAC.

Finalmente, a la salida del filtro, se decide utilizar un conector del tipo SMA hembra para montaje en impreso, dado la facilidad para conseguir en el mercado conectores y adaptadores compatibles, necesarios para el proceso de ensayo y medición.

Sección de control

La sección de control es la encargada de brindar una interfaz al usuario, permitiéndole interactuar con el equipo, y a la vez generar las señales de control para la etapa sintetizadora. Esta compuesta por un microcontrolador, un teclado, un *display* alfanumérico, y un puerto

de comunicación compatible con el estándar RS232, en conjunto con pines de control de disparo de barrido. El microcontrolador es el encargado de administrar el teclado, el *display* y el puerto, a la vez que genera los comandos y las señales de control para la etapa sintetizadora, por lo que es el elemento crucial de esta etapa.

Se decide usar un microcontrolador de la marca Microchip dada la suficiente cantidad de información y soporte disponible en Internet, como así también, por la diversidad de dispositivos que brinda este fabricante. Se selecciona un micro capaz de funcionar a 20 MHz de frecuencia de reloj, dándonos una capacidad de procesamiento de 5 MIPS (mega instrucciones por segundo), necesaria para poder lograr operaciones sobre el puerto del AD9858 imperceptibles al usuario final.

Para brindar un puerto compatible con el estándar RS232 se utiliza una UART por *hardware* disponible en el micro y se adaptan las tensiones con la ayuda de un integrado MAX232.

La interfaz de usuario está conformada por 6 botones del tipo Soft Touch y un *display* alfanumérico de 2 filas por 16 columnas, que permite navegar entre los menús de configuración del equipo a través del *firmware* provisto al microcontrolador.

Desarrollo y funcionamiento del *firmware*

El *firmware* del equipo es el microprograma que se ejecuta sobre el microcontrolador PIC18F4520 descrito en la sección anterior. Éste fue concebido bajo la herramienta de desarrollo de Microchip llamada MPLAB IDE v8.40, integrada con un compilador basado en el lenguaje

ANSI C denominado C18 Compiler. Se descarga al micro mediante un programador de esta misma marca denominado PicKit 2 haciendo uso de una interfaz de programación accesible tanto en el conector del puerto externo, como en el circuito impreso que contiene el micro, denominada ICSP (*in circuit serial programmer*).

La aplicación está basada en interrupciones de tiempo periódicas que monitorean diversos módulos de *firmware* dedicados a las distintas funciones del equipo, esperando que se produzca algún cambio sobre las variables de control. Los módulos que controlan estas variables de control son el de captura del teclado, el de manejo de *display* y el de captura de caracteres por puerto serial.

El módulo más importante del *firmware* es el encargado de controlar el AD9858, éste cuenta con la configuración del puerto SPI para la comunicación y con todas las funciones que permiten configurar el integrado para hacerlo funcionar de manera adecuada. Para el cálculo de los registros de configuración, como el FTW, a partir de los parámetros ingresados por teclado, es necesario la implementación de una rutina de cálculo con matemática de 64 *bits*, ya que el micro no cuenta con esta herramienta por *hardware*.

Por último, destacamos un módulo más, el encargado de proveer a través del puerto RS232 un intérprete de comandos. Éste permite reali-

zar las configuraciones del equipo mediante comandos enviados a través de un puerto serial desde una PC u otro equipo que quiera hacer uso de la síntesis de frecuencias.

Esquemático y circuito impreso

Tanto el esquemático y el circuito impreso fueron realizados en el *software* Altium Designer Summer 2008, ya que es un *software* de diseño apto tanto para aplicaciones digitales como para las de alta frecuencia.

El diseño comenzó en el desarrollo de las librerías de los componentes utilizados y su posterior compilación, basándose en las recomendaciones de los fabricantes y de la experiencia propia en este tipo de trabajo para el diseño de éstos.

Luego, a partir de las especificaciones de las hojas de datos de los distintos componentes y de los cálculos realizados se fue desarrollando el esquemático. Una vez listo y depurado el esquemático se procedió a realizar el ruteado del PCB (circuito impreso) totalmente a mano, de manera de tener especial cuidado con las pistas involucradas en los circuitos de frecuencias elevadas, como el filtro y el reloj de referencia, y a su vez, obtener el diseño más compacto y robusto posible.

Una vez terminado el diseño, se procedió a fabricarlo en un sustrato de FR4 con máscara

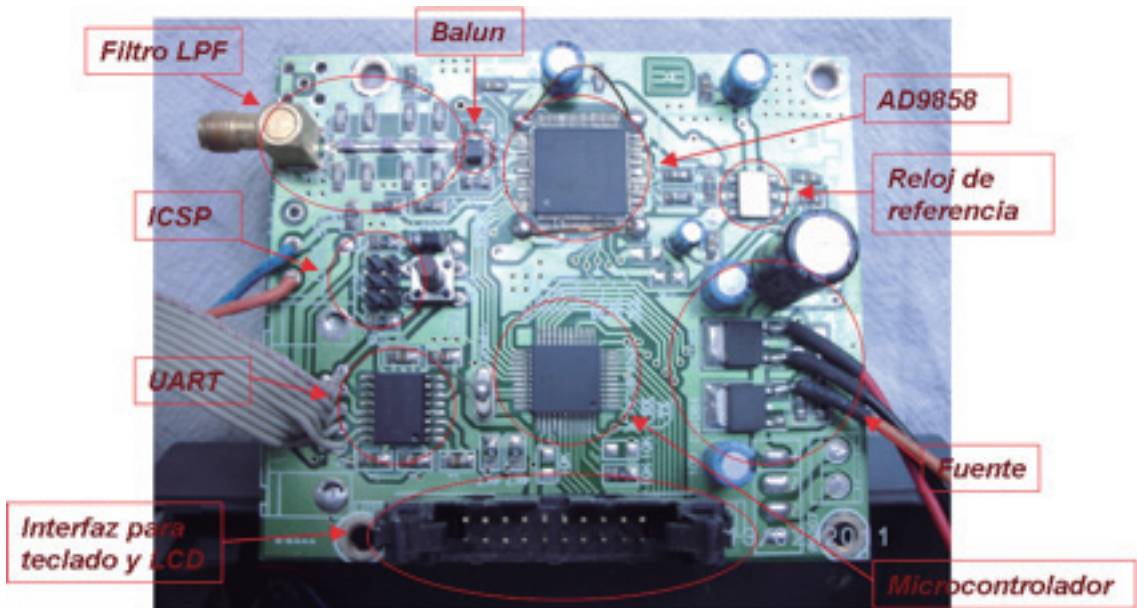


Fig. 7. Circuito impreso del sintetizador (sin teclado y *display*)



Fig. 8. Equipo completo ensamblado y funcionando

antisoldante y leyenda de componentes. Verificada la integridad de la placa mediante observación y medición de continuidad, se montó la sección correspondiente a la fuente de alimentación, de esta manera, pudo verificarse el buen funcionamiento de ésta, sin correr riesgos de dañar los demás componentes. Terminado este proceso, se montaron los restantes componentes del circuito pertenecientes a las etapas descritas anteriormente.

En la figura 7 puede verse el circuito impreso que contiene parte de la sección de control y la sección de síntesis completa. En la figura 8 se observa el equipo completamente armado y funcionando con un despiece de la tapa superior, a la derecha puede apreciarse el *display* y el teclado de 6 teclas que conforma la interfaz de usuario.

Mediciones y resultados

La primera medición buscó verificar el buen funcionamiento del *hardware* y del *firmware*. El primer paso fue medir la salida del reloj de referencia del equipo para constatar que se encuentre en 1 GHz y esté alimentada correctamente la entrada de reloj del integrado AD9858. Para esto, utilizando una punta de prueba y un analizador de espectro, se configuró el equipo para obtener una salida de frecuencia de 100 MHz, tomándose la medición sobre la salida del VCXO. Como resultado de la medición, se obtuvo en la pantalla del analizador de espectro una línea espectral en 1 GHz con ancho despreciable (lo cual indica muy buena pureza espectral) y con una amplitud de 1,8 V.

Luego de haber contrastado que el integrado AD9858 se encontrara correctamente alimen-

tado por el reloj de referencia se decidió poner a prueba la respuesta en frecuencia del filtro de reconstrucción, y el transformador utilizado como BALUN, ambos de la etapa de salida. Como éstos se encuentran integrados a la placa es prácticamente imposible ensayarlos con un generador de barrido, por lo que se decidió evaluarlos mediante el barrido del mismo instrumento (que además verificó el buen funcionamiento del *firmware*). Conectando la salida del equipo directamente a la entrada del analizador de espectro (configurado a un *span* de 500 MHz) se configuró el equipo para un barrido completo obteniéndose la respuesta en frecuencia de la figura 9.

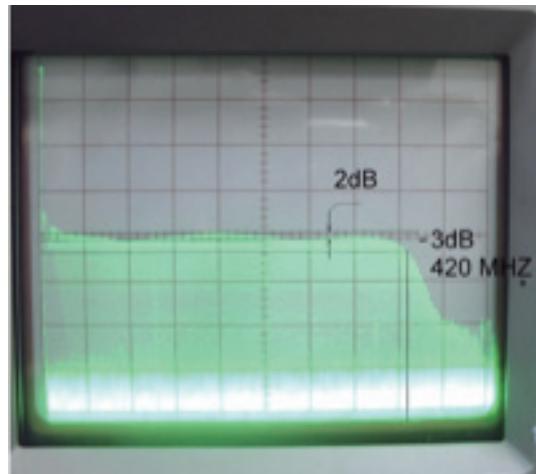


Fig. 9. Respuesta en frecuencia del filtro de reconstrucción y BALUN

Como se puede observar en la figura 9, la planicidad de salida se encuentra acotada a menos de 2 dB en todo el rango de barrido, y el corte a 3 dB se encuentra a los 420 MHz, pese a haberse calculado para 480 MHz. Esta variación

puede deberse a las respuestas conjuntas del filtro y el transformador, y a la dispersión de los componentes que conforman el filtro. En cuanto al límite inferior del instrumento, se utiliza el osciloscopio para poder determinarlo, encontrándose prácticamente ubicado en los 50 KHz.

Luego de garantizar la buena respuesta del transformador de salida y el filtro, se puso a prueba la síntesis de tonos simples a diversas frecuencias de manera de evaluar el ruido de fase en la generación. En la figura 10 puede verse la generación de un tono senoidal a 100 MHz (*span* a 500 MHz), acompañado de espurios a 125 MHz y múltiplos de éste, atenuados más de 32 dB (10 dB/Div), por lo que prácticamente no tienen incidencia en la salida. En esta figura se puede notar también que es imposible medir el ruido de fase, dado que la línea espectral a 100 MHz es tan angosta como la línea de referencia a la izquierda de la pantalla del analizador.

Ingresando por la entrada de disparo de barrido una señal cuadrada de 500 Hz con amplitud de 5 V, y configurando el equipo para un barrido con un delta de tiempo de 100 ns, un paso de incremento de frecuencia de 10 KHz, y una frecuencia inicial de 100 MHz se pudo constatar el funcionamiento de la entrada de disparo, logrando que el equipo barra desde 100 MHz hasta 200 MHz (figura 11). Se midió la respuesta de la entrada de disparo encontrándose el máximo a 1 KHz (esto es debido

a la respuesta en frecuencia de los pines de entrada del microcontrolador), y que por cada flanco ascendente de disparo, el equipo tarda 1 ms aproximadamente en configurar el barrido, por lo que deberá tenerse en cuenta para el cálculo de la frecuencia de la señal de disparo aplicada.

Realizadas estas mediciones se pudieron determinar los parámetros del sintetizador implementado:

- Rango de frecuencias: Desde 50 KHz hasta 420 MHz (corte a -3 dB).
- Resolución de frecuencia: 1 Hz.
- Nivel de salida: máximo 0.5 dBm, ajustable en un rango de 10 dBm mediante potenciómetro.
- Interfase de control: Puerto serie, interfaz con teclado y LCD, y entrada de disparo.
- Planicidad de la salida: 2 dB.
- Impedancia de salida: 50 Ω .
- Velocidad de salto: Máximo 125 MHz (un incremento cada 8 ns).
- Transitorio de fase: de fase continua.
- Armónicos: Menores a -30 dB.
- Espurios de salida: Menores a -32 dB.
- Ruido de fase: No determinable.
- Referencia: Centrada en 1 GHz del tipo VCXO.
- Respuesta en frecuencia de la entrada de disparo: máximo 1 KHz.

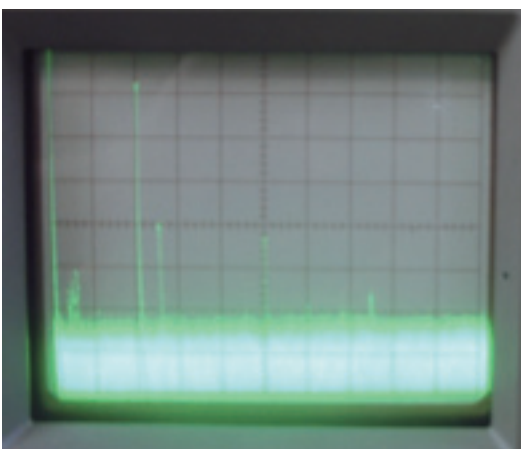


Fig. 10. Medición de la generación de un tono simple a 100 MHz

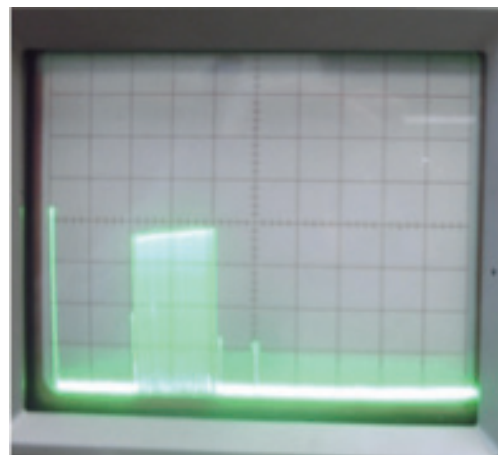


Fig. 11. Barrido en frecuencia con 100 MHz. de ancho de banda

Conclusiones

Puede notarse desde el principio, que la implementación de este tipo de equipos suele ser bastante compleja, y en su diseño intervienen tanto técnicas digitales como analógicas y de radiofrecuencia. Sin embargo, gracias al avance de las tecnologías, es que hoy podemos contar con integrados que resuelven algunos de los obstáculos de implementación. De todas maneras, es necesario conocer algunos aspectos particulares de ambas técnicas de diseño para tener éxito en la implementación.

Dadas las características que posee esta tecnología y el nivel de exigencia del mercado actual para con los sintetizadores, probablemente DDS sea la técnica preferida de síntesis de frecuencia en nuevos diseños electrónicos en la próxima década. En este trabajo, hemos podido poner a prueba uno de los integrados más poderosos del mercado al momento, ob-

teniendo resultados óptimos, en una primera oportunidad. Este trabajo puede ser utilizado como punto de partida para futuros diseños, brindando una muy buena experiencia tecnológica de implementación.

Gracias al enorme avance de las tecnologías de integración en CI, hoy nos podemos encontrar con soluciones complejas, de fácil implementación y reducido tamaño, listas para ser utilizadas en cualquier aplicación que lo requiera. Y como puede verse en los resultados, con este tipo de implementación se logra una muy buena performance de equipo con costos relativamente bajos.

Finalmente, la topología de diseño utilizada permite entre otras cosas, extender el rango de barrido, cambiando solamente el filtro de reconstrucción y haciendo uso de la operación Super Nyquist, posibilitando utilizar el mismo equipo en diversas aplicaciones.

Referencias

- GOLDBERG B., (1999) Digital Frequency Synthesis Demystified, LLH Technology Publishing.
BRANDON D., (2004) DDS design, Analog Devices.
GENTILE K., (2007) AN939 Super-Nyquist Operation of the AD9912 Yields a High RF Output Signal, Analog Devices.
HUQ S. B. & GOLDIE J., (1998), AN971 An Overview of LVDS Technology, National Semiconductor.
CARR J. J., (2000), Secrets of RF Circuit Design, TAB electronics.
DI JASIO L., (2008), PIC Microcontrollers, Elsevier.
DI JASIO L., (2007), Programming 16-Bit PIC Microcontrollers in C, Elsevier.
AXELSON J., (2007), Serial Port Complete, Lakeview.
RHEA R. W., (1995), Oscillator Design and Computer Simulation, Mc Graw Hill.
BRANDON D. & GENTILE K., (2006) AN837 DDS-Based Clock Jitter Performance vs. DAC Reconstruction Filter Performance, Analog Devices.

Aderezo con características de alimento funcional

María de los Ángeles Borda¹, Patricia Della Rocca²

1 Escuela de Posgrado, 2 Departamento de Ingeniería Química
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires,
Medrano 951, (C1179AAQ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

patriciadellarocca@hotmail.com

Recibido el 15 de Julio de 2012, aprobado el 24 de Agosto de 2012

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue la formulación de una base de aderezo para ensaladas y carnes con características de alimento funcional. Ello se debe a que contiene inulina como fuente de fibra y aceite de canola que es uno de los aceites vegetales con mayor contenido de ácido alfa-linolénico, ácido graso esencial de la familia omega 3. El producto resultante presenta un alto contenido en fibra alimentaria, reducido en lípidos y en valor energético. En cuanto a los aspectos tecnológicos, la inulina mejora considerablemente el sabor y la cremosidad de los productos bajos en grasas. Estos efectos se confirman en la evaluación sensorial. El agregado de goma junto con inulina aumenta la consistencia del producto tal como lo determinan los ensayos de reología y también el análisis sensorial. Se incrementa además la estabilidad física de la emulsión con el tiempo. El producto permanece estable microbiológicamente durante 180 días de almacenamiento. Puede ser utilizado como parte de una dieta de alimentación normal, o en planes alimentarios en los que el propósito sea reducir el contenido de lípidos y el valor energético. Asimismo, por el tipo de ingredientes usados (libres de gluten) puede considerarse apto para pacientes celíacos.

PALABRAS CLAVE: ALIMENTO FUNCIONAL - ADEREZO CON FIBRA - ADEREZO REDUCIDO EN LÍPIDOS

Abstract

The object of this study was to formulate a salads and meats dressing base involving functional food characteristics. That is, containing inuline as a fiber source and canola oil, having one of the highest alpha-linolenic acid content among vegetable's oils, being an essential fatty acid of the omega 3 family. The resulting product shows a high alimentary fiber content, reduced lipids and energetic value. Regarding technological issues, inuline significantly enhances flavor and creaminess of the low fat products. These effects were confirmed by sensory assessments. Adding gum to inuline increases consistency of the product, as rheological tests and sensory evaluation have shown. Also emulsion's physical stability with respect to time is raised. The product remains microbiologically stable under storage for 180 days. Could be used as a standard alimentary diet or in nourishing plans where depleting of lipids content and energetic value are the goals. Furthermore, the type of selected ingredients (gluten-free) makes it safe for patients with coeliac disease.

KEYWORDS: FUNCTIONAL FOOD – FIBER RICH DRESSING – HIGH FIBER DRESSING - LOW LIPIDS DRESSING –LOW FAT DRESSING

* El artículo es parte de la tesis "Formulación de una base para aderezo de ensaladas con características de alimento funcional" para acceder al grado de Magister en Alimentos de María de los Ángeles Borda. Directora: Patricia Della Rocca

Introducción

En la actualidad, la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles se ha convertido en uno de los focos de interés de la investigación y la tecnología de alimentos. Surge entonces, el auge de los alimentos funcionales, cuyo propósito es mejorar la salud o reducir el riesgo de contraer ciertas enfermedades. La evidencia científica rigurosa demuestra que poseen acciones funcionales los alimentos con probióticos, ricos en fibra y/o prebióticos, ricos en ácidos grasos omega 3, monoinsaturados o con agregado de fitoesteroles, etc.

El término probiótico significa "a favor de la vida". Existen diversas definiciones. Según la FAO (2002) son microorganismos vivos que ejercen una acción benéfica sobre la salud del huésped al ser administrados en cantidades adecuadas. Algunas definiciones más recientes los consideran como los ingredientes alimentarios microbianos vivos que al ser ingeridos en cantidades suficientes, ejercen efectos benéficos sobre la salud de quien los consume. Las bacterias probióticas utilizadas en alimentos deben ser capaces de sobrevivir al paso por el aparato digestivo y proliferar en el intestino, son bacterias gram positivas y se utilizan fundamentalmente dos géneros: *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, se las conocen como BAL.

Numerosos trabajos muestran la importancia de la fibra alimentaria como un agente protector en enfermedades tales como: diabetes, cáncer de colon, enfermedades cardiovasculares, diverticulitis, hipercolesterolemia, entre otras. Los efectos beneficiosos relacionados especialmente con la fermentación de la fibra dietaria incluyen favorecer la resistencia a la colonización por bacterias y virus patógenos, por competencia con una abundante flora normal donde prevalecen las bacterias lácticas y además ejercer un efecto protector sobre el colon, especialmente a través de un efecto de dilución del contenido luminal, lo que disminuye el riesgo asociado con la presencia de carcinógenos. Además de generar ácidos grasos protectores como el butírico, acético y propiónico, que acidifican el contenido colónico y disminuyen la generación de potenciales agentes promotores de tumores. (Zuleta, A., 2012)

Los prebióticos representan un sustrato preferencial para bacterias beneficiosas para la

salud como los *Lactobacillus* y las *Bifidobacterias*. Se encuentran en una amplia variedad en los vegetales y son utilizados en la industria alimenticia como espesantes, gelificantes, humectantes o sustitutos de grasa. Ejercen efectos positivos sobre funciones como la regulación de la microflora intestinal, aumentando la resistencia a las infecciones agudas, mejoran el tránsito intestinal y la absorción de minerales como el calcio y el magnesio, intervienen en la síntesis de vitamina B y actúan favorablemente sobre el metabolismo de los lípidos y los glúcidos.

Los alimentos simbióticos se definen como una mezcla de probióticos y prebióticos destinada a incrementar la supervivencia de las bacterias que promueven la salud, con el fin de modificar la flora intestinal y su metabolismo. En este tipo de alimentos, los prebióticos favorecen selectivamente a los probióticos adicionados.

En este trabajo se formuló una base para aderezo de ensaladas y carnes con alto contenido en fibra y reducido en grasas. Para ello, se adicionó inulina, fructano natural y aceite de canola que se caracteriza por poseer un alto porcentaje de alfa-linolénico (ácido graso de la familia omega 3) en su composición. La presencia de inulina y aceite de canola posibilitan caracterizar al aderezo como un alimento funcional. Un alimento puede considerarse funcional si se ha demostrado que afecta de forma beneficiosa a una o varias funciones del organismo, de manera que proporciona un mejor estado de salud y bienestar y/o reduce el riesgo de padecer enfermedad (Roberfroid, 1995).

En nuestro país el Código Alimentario Argentino (CAA) no cuenta, por el momento, con una definición de alimentos funcionales, pero posee un capítulo en el que se ocupa específicamente de los alimentos de régimen o dietéticos. En este capítulo, se hace mención a los alimentos modificados, enriquecidos y fortificados, que de acuerdo a la definición de la Asociación Dietética Americana quedarían incluidos dentro del concepto de alimentos funcionales.

El poder concluir que un cierto alimento es funcional, posee un componente bioactivo y una cierta función fisiológica benéfica para el consumidor, trae aparejado una serie de estudios y comprobaciones científico-tecnológicas, no siempre fáciles de llevar a cabo. Se requie-

re comprobar el efecto fisiológico in vitro e in vivo, determinar la dosis requerida para ejercer la función en cuestión, ser biodisponible, ser estable al procesamiento del alimento, entre otras cuestiones (Añón, M.C., 2012).

Este aderezo intenta satisfacer la demanda actual de alimentos funcionales contribuyendo a la oferta en el mercado argentino con un aderezo rico en fibra funcional y reducido en grasas.

La inulina es un carbohidrato de almacenamiento presente en muchas plantas, vegetales, frutas y cereales y por lo tanto forma parte de nuestra dieta diaria. A nivel industrial, generalmente se obtiene de la raíz de la achicoria o de la planta de agave. (Franck, 2006). Está constituida por moléculas de fructosa unidas por enlace β -(2-1)fructosil-fructosa (Watherhouse y Chatterton, 1993). Los fructanos por su configuración química no pueden ser hidrolizados por las enzimas digestivas humanas, por lo que permanecen intactos en su recorrido por la parte superior del tracto gastrointestinal, pero son hidrolizados y fermentados en su totalidad por las bacterias del colon. Es por ello que la inulina se caracteriza por sus propiedades prebióticas (Franck, 2006). Según Gibson y Roberfroid (1995), un prebiótico es un ingrediente alimenticio no digerible que afecta de forma beneficiosa a quien lo consume mediante la estimulación selectiva del crecimiento y/o actividad de una o un número limitado de bacterias en el colon, mejorando así la salud del hospedador. Para que un ingrediente alimenticio sea clasificado como prebiótico deber cumplir los siguientes requisitos (Gibson, 1999):

1. No debe ser hidrolizado ni absorbido en la parte anterior del tracto gastrointestinal.
2. Constituir un sustrato selectivo para una o un número limitado de bacterias comensales beneficiosas del colon, estimulando su crecimiento y/o metabolismo.
3. Modificar la composición de la flora del colon, facilitando el desarrollo de especies beneficiosas.
4. Inducir efectos en lumen o sistémicos que sean beneficiosos para la salud del individuo que los consuma.

Entre otras propiedades beneficiosas de la inulina, se destacan el refuerzo de las funciones inmunológicas (ante cáncer o tumores), el au-

mento de la biodisponibilidad de minerales, la mejora en el metabolismo de las grasas y de la respuesta glucémica (Franck, 2006). Como se mencionó anteriormente, desde el punto de vista químico está constituida por moléculas de fructosa unidas por enlaces β -(2-1) fructosil-fructosa, siendo el término "fructanos" usado para denominar este tipo de compuestos (Watherhouse et al, 1993), por ello, no es recomendable su uso en alimentos a pH menores de 4, porque puede hidrolizarse a fructosa (Franck, 2002). En los productos reducidos en grasa, actúa como agente espesante, retiene el agua, estabiliza geles e imparte cremosidad (Kip et al. 2005). La capacidad de formar gel es determinante en su uso como sustituto de grasas en productos lácteos, untables, aderezos y salsas. (Franck, 2002).

Otro de los ingredientes principales, utilizado es el aceite de canola que se obtiene de las semillas de *Brassica napus* y *Brassica rapa*. El CAA define el aceite de canola como aceite de nabo o de colza o de nabina. El aceite de colza debido a su alto contenido de ácido erúico fue cuestionado en la década del 60. Fue entonces, cuando Canadá comenzó una labor de acondicionamiento del mismo orientada a lograr un mejor aceite comestible. Los cultivares obtenidos en Canadá con menor contenido de ácido erúico y glucosinolato dieron origen a la denominación "Canola" (acrónimo de Canadian Oil Low Acid, Aceite Canadiense de Bajo Contenido Ácido) término que con el tiempo comenzó a ser utilizado prácticamente como sinónimo de aceite de colza refinado.

El motivo de la elección del aceite de Canola como materia grasa, se basa en el perfil de los ácidos grasos que lo componen, caracterizándose por el bajo nivel de ácidos grasos saturados, relativamente alto nivel de ácidos grasos monoinsaturados, y un nivel intermedio de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI o PUFA, en inglés), con un buen balance entre los ácidos grasos de la serie omega 3 y omega 6. (Tabla 1)

Los ácidos grasos linoleico (omega 6) y alfa linolénico (omega 3) son ácidos grasos de carácter esencial ya que nuestro organismo no puede sintetizarlos y deben ser incorporado a través de los alimentos. Entre los principales beneficios derivados del consumo de alimentos ricos en omega 3 se destacan la reducción de

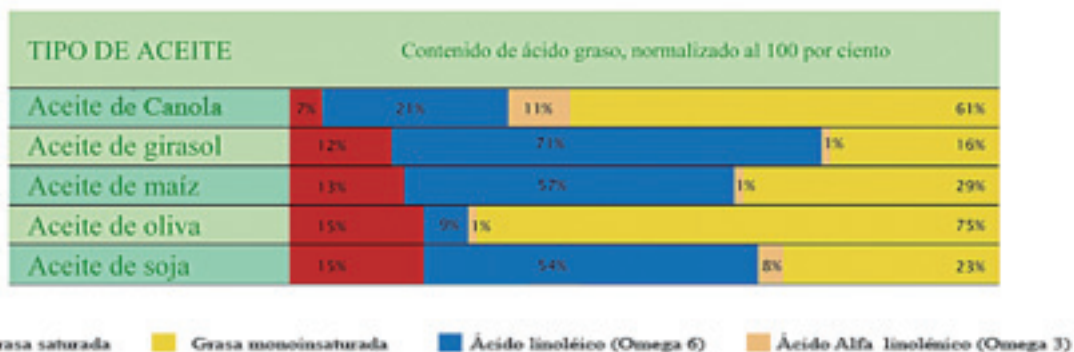


Tabla 1. Distribución porcentual de ácidos grasos en aceites de consumo habitual

Fuente: Modificado de POS (Pilant Plant Corporation Saskatoon, Saskatchewan, Canadá) Canola Council of Canadá. Junio 1994

la incidencia de enfermedades cardiovasculares e hipertensión y la mejora de los niveles de triglicéridos, entre otros (Olagnero et al, 2007).

El ácido linoleico se metaboliza a araquidónico y el alfa-linoléico da lugar al ácido eicosapentaenoico (EPA) y al ácido docosahexanoico (DHA). Todos ellos emplean las mismas rutas metabólicas y compiten por las mismas enzimas elongasas y desaturasas (Carredo J. J y col., 2005). Preparados de ácidos grasos poliinsaturados n-3 derivados de algas marinas junto con su estabilización mediante alfa-tocoferol han sido estudiados en pacientes con enfermedad de Alzheimer y se ha observado una mejoría notable en los pacientes en estadios iniciales o intermedios de la enfermedad (Marra C., 2012). En la Tabla 2 se presenta el contenido de ácidos grasos n-3, también denominados omega 3, en algunos pescados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Formulación de las Muestras

Las muestras se elaboraron a partir de las materias primas. Los ingredientes utilizados fueron: Agua potable, Aceite de Canola (marca Krol), Vinagre de alcohol (marca Menoyo), Inulina (Beneo GR-ORAFTI Active Food Ingredients S.A –proveedor Saporitti S.A), Fécula de mandioca modificada instantánea (marca National 75-proveedor Gelfix S.A), Azúcar blanca refinada (marca Ledesma), Huevo entero en polvo (marca Tecno S.A), Mostaza en polvo (marca Billi), Sal fina (marca Dos Anclas), goma guar y goma xántica (marca Gelfix). El pH final se ajustó a 4,0 a 20°C. Las muestras se envasaron en frascos estériles y se conservaron en refrigeración a 4°C hasta su análisis.

Alimento	Contenido (g/100 g de pescado)		
	alfalinoléico (ALA)	EPA	DHA
Arenque	0	2,7	0,45
Salmón	0,55	0,7	2,14
Atún	0,27	1,07	2,28
Caballa	0,22	0,7	1,3
Sardinas en aceite encurtidas	0,15	1,2	1,24
Sardina fresca	0,05	0,66	0,93
Anchoas	0,03	0,21	0,29
Trucha	0,1	0,15	0,34

Tabla 2. Contenido de ácidos grasos n-3 en algunos pescados

Fuente: Tablas de composición de alimentos alemanas. Ed. Acribia 1991.

INGREDIENTES	MUESTRA 1(%)	MUESTRA 2(%)	MUESTRA 3(%)	MUESTRA 4(%)
INULINA	6	6	6	0
ALMIDON	5,4	5,4	5,4	5,4
AGUA	63,3	63,3	63,3	69,3
VINAGRE	7	7	7	7
HUEVO EN POLVO	2,2	2,2	2,2	2,2
AZÚCAR	3	3	3	3
MOSTAZA EN POLVO	1,5	1,4	1,4	1,5
SAL	1,5	1,5	1,5	1,5
ACEITE DE CANOLA	10	10	10	10
GOMA GUAR	0	0,1	0	0
GOMA XÁNTICA	0	0	0,1	0
SORBATO DE POTASIO	0,1	0,1	0,1	0,1
TOTAL	100	100	100	100

Tabla 3. Formulación de las muestras

Fuente: Elaboración propia

Para la medición de los ingredientes que conforman las muestras se utilizó una Balanza Granataria marca Mettler Modelo P. 1220, y para la elaboración se utilizó una Minipimer marca Philips Hand Blender HR 1366, 600 watt de potencia. Se realizaron cuatro formulaciones, cuya composición se presenta en la Tabla 3

Preparación

Las operaciones de mezclado se realizaron con el agitador de hélice de la minipimer. Se reconstituyó el huevo según la indicación del proveedor (1 parte de huevo en 3 partes de agua tibia (T= 45 °C)). Se mezcló la inulina, el almidón modificado pregelatinizado, el azúcar y la sal, luego se agregó el agua restante y el huevo hidratado previamente. Se batió durante 1 minuto. Luego se incorporó el aceite de Canola y se batió durante 1 minuto para emulsionar. Posteriormente, se agregó la mostaza, el vinagre y se homogeneizó. Finalmente se adicionaron las gomas y el sorbato de potasio y se envasó y refrigeró.

Composición Centesimal, perfil de ácidos grasos e información nutricional

La composición centesimal se determinó de manera experimental utilizando la metodología establecida por la AOAC, 2000.

Para la determinación de sólidos totales y humedad se siguió el procedimiento de la AOAC Official Methods 925.09, las cenizas según la AOAC Official Methods 923.03 y las grasas totales mediante la AOAC Official Methods 950.54, la determinación de nitrógeno Kjeldahl según el método de la AOAC Official Methods 935.58 (mejorado), contenido de fibra dietética la AOAC Official Method 985.29, ensayo enzimático-gravimétrico, contenido de inulina método propuesto por Zuleta y Zambucetti, método cromatográfico por HPLC por intercambio iónico, carbohidratos por diferencia. El perfil de ácidos grasos se determinó por cromatografía gaseosa, colesterol de manera teórica según el valor informado de huevo entero y la sal se estimó también de manera teórica.

Para la información nutricional se siguió la normativa establecida en el Capítulo V del Código Alimentario Argentino, Normas para rotulación y publicidad de alimentos envasados.

Estabilidad Física

La misma se determinó por observación directa durante su período de almacenamiento en refrigeración a 4°C. Las observaciones se realizaron a los 7, 15 y 30 días.

Estudio del Comportamiento Reológico

Para la caracterización reológica se utilizó un viscosímetro Brookfield LVT 230 V 50 Hz. Las muestras se termostataron a $20 \pm 0,5$ °C. Cada muestra fue sometida a un ciclo de deformación (curva ascendente o ida y descendente o vuelta) incrementando la velocidad de rotación y de esta manera variando el gradiente de velocidad de deformación. Las medidas se llevaron a cabo por triplicado. Se midió el esfuerzo de corte (τ) para cada gradiente de velocidad y la viscosidad aparente se calculó en cada caso.

Ensayos Microbiológicos

Se procedió a la irradiación con una dosis de 5 kgy a la mostaza utilizada como condimento, a modo de garantizar la seguridad microbiológica del producto. Las determinaciones microbiológicas se realizaron sobre la Muestra N° 1, a la que se le incorporó 0,1% de sorbato de potasio, tal lo especificado en el Código Alimentario Argentino para aderezos. Los recuentos se llevaron a cabo tal lo exigido por la legislación argentina para este tipo de productos (Artículo 1280 inc.6 CAA) y con la metodología descrita por la misma.

Para la determinación de coliformes se empleó el método de número más probable en caldo Mac Conkey y para la presencia / ausencia de *Escherichia coli*, se analizó el crecimiento en medio selectivo y diferencial para *E. coli* (Cromobrit, Britania). Asimismo, se llevó a cabo el recuento en placas de agar de bacterias aerobias mesófilas totales y el de mohos y levaduras en placas de agar YGC. La cantidad de muestra analizada en todos los casos fue de 1 g. Se calculó la actividad de agua (a_w), utilizando las ecuaciones de Norrish para la solución de sacarosa y agua y la de Bromley para la solución de sal y agua, obteniéndose el cálculo de la a_w

final con la ecuación de Ross.

En la Tabla 10 se presentan los resultados microbiológicos obtenidos y los valores establecidos en el artículo 1280, inc.6, CAA., de las muestras almacenadas a T 28 °C y T 7°C, al instante inicial de su formulación, a los 30 días, 90 días y 180 días.

Análisis Sensorial

El análisis sensorial se llevó a cabo con un panel entrenado de 12 personas del INTI Lácteos, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, CITIL. Se utilizó la técnica de "Análisis Descriptivo Cuantitativo (ADC)" siguiendo los lineamientos de las Normas IRAM 20012:1997 y 20013:2001 (Perfil de Flavor y Perfil de Textura respectivamente).

Los objetivos del análisis sensorial del aderezo fueron:

1- Obtención de descriptores para elaborar el perfil sensorial

Se trabajó en forma grupal siguiendo el método del consenso, con el fin de armar una lista de descriptores presentes en las muestras de aderezo. También se evaluaron los ingredientes: aceite de canola y solución de inulina 6%.

2- Determinación del perfil sensorial cualitativo para evaluar la forma de presentación más adecuada del aderezo

Se elaboraron perfiles cualitativos de textura y flavor de las 4 muestras presentadas:

- a) Aderezo sólo en un recipiente de vidrio
- b) Mezcla de 20 g de lechuga mantecosa picada con 20 g de aderezo presentadas en un recipiente de vidrio.
- c) Mezcla de 20 g de lechuga mantecosa picada con 15 g de aderezo presentadas sobre una porción de pan lactal de salvado sin sal agregada.
- d) Mezcla de 20 g de lechuga mantecosa picada con 20 g de aderezo presentadas sobre una galletita de agua sin sal agregada.

Además se saborizó la Muestra N°1 con dos mezclas diferentes de especies: una compuesta por orégano y la otra por albahaca deshidratada, todas acompañadas con perejil deshidratado, pimienta blanca molida y ajo en polvo.

Descriptor	Definición	Referencias
Solubilidad	Sensación que se manifiesta cuando la muestra funde muy rápidamente en la saliva	Yema de huevo cocido en punto 2 Merengue en el punto 7
Microestructura	Presencia de cristales o grumos durante la masticación	Cristales: duros y angulosos Grumos: granos redondeados, más o menos duros al diente
Harinosidad	Percepción al final de la masticación de partículas de harina	Presencia/ ausencia
Untuosidad	Atributo mecánico de textura relacionado con la resistencia a fluir	Yogur bebible punto 2 Miel en el punto 6
Adherencia	Trabajo que es necesario realizar con la lengua para despegar el producto pegado en el paladar y en los dientes.	Queso duro en el punto 2 Dulce de leche repostero en el punto 7

Tabla 4. Definición de descriptores de textura y su correspondiente escala

3- Análisis descriptivo cuantitativo de textura

Se utilizó una escala estructurada de intensidad creciente de 1 a 7 puntos, utilizando referencias ancladas en diferentes sectores de ésta. La escala se presenta en la Tabla N° 4

RESULTADOS

Composición Centesimal

En la Tabla 5 se presenta la información de la composición centesimal de la Muestra N° 2, incluyendo en la misma tabla, el valor resultante de la determinación de inulina.

La determinación experimental de inulina por

Determinaciones	Contenido cada 100 g de muestra
Contenido de agua (%H)	60 g
Cenizas (%C)	1,7 g
Proteínas (%P)	1,2 g
Grasas (%G)	10,1 g
Fibra Dietética Total (%FT) de la cual inulina	10,9 g (6 g)
Carbohidratos	16,1 g
Contenido energético	160,1 kcal

Tabla 5. Composición Centesimal e inulina por 100 g de producto, correspondiente a la Muestra N° 2

método HPLC (Zuleta y Zambucetti, 2001) arrojó como resultado 9,4 g de inulina cada 100 g de aderezo, pero dado que la muestra contenía 6 g de inulina, se sospecha que los oligosacáridos que están incrementando el valor obtenido, podrían provenir de la hidrólisis parcial del almidón, por tratarse de un producto de pH=4.

Perfil de Ácidos Grasos

El perfil de ácidos grasos se determinó sobre la muestra N° 2 y sobre una muestra de un aderezo comercial que utiliza como cuerpo graso aceite de maíz, a la cual también se le determinó el contenido de grasa total (Tabla 6).

De los resultados obtenidos en relación al perfil de ácidos grasos, especialmente al contenido de ácido alfa linolénico (ALA), se observa que el aderezo con aceite de Canola contiene 0,8 g de alfa linolénico por cada 100 g de producto, aportando aproximadamente en 2 cucharadas soperas, 0,2 g lo que equivale al 4,5% de la recomendación de ácidos grasos de la serie n-3 (FAO/OMS,2008), con una relación beneficiosa n-6:n-3 de 2:1 respectivamente, versus el aderezo comercial formulado con aceite de maíz, que aporta un 81% menos de ALA conteniendo un 50 % más de grasas totales, con una relación n-6:n-3 de 57:1 respectivamente. Esta relación es considerada desfavorable debido a la competencia entre los ácidos grasos n-6 y n-3 por las enzimas desaturadas y elongadas. La cantidad de ácido linoleico en la dieta puede afectar el grado en

Grasas totales y ácidos grasos	g/100 g de aderezo con inulina y Canola	g/100 g de aderezo comercial (aceite de maíz)
Grasas totales	10,1 g	18,6 g
Ácidos grasos saturados	0,89 g	2,55 g
Ácidos grasos monoinsaturados	6,42 g	6,66 g
Ácidos grasos poliinsaturados:	2,72 g	9,27 g
Ácido linoleico	1,88 g	9,11 g
Ácido alfa linolénico (ALA)	0,83 g	0,16 g
Ácidos grasos trans	0 g	0,07 g

Tabla 6. Perfil de ácidos grasos por 100 g de producto, correspondiente a la Muestra N° 2 y un aderezo comercial a partir de aceite de maíz

Información nutricional			
	Por porción de 12 g (1 cucharada sopera)	% Valor Diario (*)	Por 100 g de producto
Valor energético	19 kcal	1%	160 kcal
Carbohidratos	1,9 g	1%	16 g
Proteínas	0,1 g	0	1,2 g
Grasas Totales	1,2 g	2%	10 g
Grasas saturadas	0,1 g	0%	0,9 g
Ácidos grasos monoinsaturados	0,8 g	--	6,4 g
Ácidos grasos poliinsaturados	0,3 g	--	2,7 g
Ác.gr. linoleico	0,2 g	--	1,9 g
Ác. gr. Alfa linolénico	0,1 g	--	0,8 g
Grasas trans	0 g	--	0 g
Colesterol	4 mg	--	33 mg
Fibra alimentaria	1,3 g	5%	11 g
Sodio	75 mg	3%	622 mg

Tabla 7. Información nutricional por porción y por 100 g de producto, correspondiente a la Muestra N° 1

(*) Valores Diarios con base a una dieta de 2000 kcal u 8400 kJ. Sus valores diarios pueden ser mayores o menores dependiendo de sus necesidades energéticas.

el cual el alfa linolénico es convertido a EPA y DHA in vivo, ya que éstos dos últimos son los que aportan beneficios significativos a la salud (Kris-Etherton y col. 2000).

Además esa relación se aleja de las recomendaciones que establecen que debe existir un balance entre el consumo de ácidos grasos n-6 y n-3, ya que el exceso en cualquiera de estos ácidos grasos afecta el catabolismo del otro, reduciendo su incorporación a los tejidos y alterando sus funciones biológicas.

Información Nutricional

En la Tabla 7 se presenta la información nutricional que llevaría el producto como parte del rotulado nutricional.

El producto desarrollado contiene 11 g de fibra alimentaria cada 100 g de aderezo, por ello es un aderezo con alto contenido en fibra alimentaria, dado que para que se cumpla este atributo el producto debe aportar 6 g de fibra alimentaria cada 100 g de producto.

De los resultados obtenidos en relación al contenido de alfa linolénico, el producto contiene un aporte de alfa linolénico de 0,8 g, cubriendo aproximadamente en 2 cucharadas soperas, 0,2 g lo que equivale al 4,5% de la recomendación de ácidos grasos de la serie omega 3 (FAO/OMS, 2008), dado que la legislación argentina aún no establece el contenido mínimo de omega 3 que debe tener un alimento para realizar una declaración nutricional complementaria, podemos agregar en el rótulo la leyenda: "con omega 3".

La porción establecida por el Código Alimentario Argentino para aderezos es de 12 g, equivalente a 1 cucharada sopera, considerando que para condimentar una ensalada, se utilizan alrededor de 2 porciones, el producto cubre aproximadamente un 10,4 % del valor diario de referencia, establecido en 25 g de fibra alimentaria por día para una dieta de 2000 kcal (FAO/OMS, 2003).

Respecto a la cantidad de inulina presente en el aderezo, de acuerdo a estudios in vivo se estableció que para que la inulina logre un efecto prebiótico se debe mantener una ingesta mínima de entre 5 y 8 g/día (Kolida et. al, 2007). Dos porciones diarias de este aderezo estarían cubriendo aproximadamente un 40% de la ingesta diaria recomendada de inulina para lograr efecto prebiótico, estimando un valor promedio de ingesta en 6,5 g de inulina/ día.

En la Tabla 8 se presenta la comparación de los valores promedios de 3 aderezos comerciales (tal como lo establece el CAA para la declaración de contenido comparativo), con el aderezo con inulina. El aderezo propuesto posee una diferencia en valor energético de 43 kcal/100 g menor al de los aderezos comerciales tradicionales, y un 50 % menos de grasas totales.

En la Tabla 9 se resumen las declaraciones nutricionales complementarias (*claims*) correspondientes, desglosadas en *claims* de contenido absoluto de nutrientes y *claims* de contenido comparativo.

Por 100 g	Aderezo propuesto	Promedio 3 aderezos tradicionales (*)
Valor Energético	160 kcal	203 kcal
Grasas Totales	10 g	20 g
Fibra alimentaria	11 g	0 g

Tabla 8. Comparación del promedio de 3 aderezos comerciales tradicionales vs aderezo con inulina

Fuente: Elaboración propia. (*) Se realizó un promedio del valor energético total y contenido de nutrientes a comparar de los aderezos Ranch, Caesar y Vinagreta Italiana de la marca Tau delta.

Información Nutricional Complementaria "CLAIMS"	
Contenido absoluto	Contenido Comparativo
Alto contenido en fibra alimentaria	Reducido contenido lipídico
Bajo contenido en grasas saturadas	
Cero grasas trans	
Con omega 3	

Tabla 9. Resumen de la información nutricional complementaria del producto

Fuente: elaboración propia

Estabilidad Física

Las muestras que contienen inulina combinada con goma guar o xántica, permanecen más estables que las otras. La muestra con goma guar comienza a desestabilizarse entre los 20 y 30 días, pero se emulsiona nuevamente ante agitación. La muestra que contienen goma xántica permanece estable durante todos los períodos analizados. A pesar de esta ventaja, no fluye fácilmente, por ello no se seleccionó para ser la formulación base de este aderezo. La estabilidad de las muestras que contienen gomas se debe a que se observa una sinergia entre la inulina y otros agentes gelantes, como la gelatina, alginatos, carraginos, gomas y maltodextrinas (Roberfroid M., 2005).

Resultados Microbiológicos

En la Tabla 10 se presentan los resultados microbiológicos obtenidos y los valores establecidos en el artículo 1280, inc.6, CAA, de las muestras almacenadas a temperaturas de 28 °C y 7°C, al instante inicial de su elaboración, a los 30 días, 90 días y 180 días.

Los valores obtenidos de las muestras analizadas cumplen con los parámetros establecidos para este tipo de productos, por el Artículo 1280 Inc.6 del Código Alimentario Argentino, permitiendo que el aderezo pueda ser exhibido en góndola a temperatura ambiente por un período de 180 días, ya que si bien se observa

	Bacterias aerobias mesófilas totales UFC/g	Bacterias Coliformes UFC/g	Mohos y/o levaduras UFC/g	<i>Escherichia coli</i>
Establecido por CAA	Máx: 1000 UFC/ g	Máx: 10 UFC/ g	Máx: 20 UFC/g	Ausencia en 1 g
Muestra inicial	800	<3/g	4	Ausencia en 1g
30 días T 7° C	2x10**	<1/g	<1	Ausencia en 1g
	T 28° C 4x10	<1/g	2	Ausencia en 1 g
90 días T 7° C	<1 x10	<1/g	<1	Ausencia en 1g
	T 28° C 5 x10	<1/g	<1	Ausencia en 1 g
180 días T 7° C	2 x10	<1/g	2	Ausencia en 1 g
	T 28° C 2 x10	<1/g	2	Ausencia en 1 g

Tabla 10. Resultados microbiológicos de la Muestra N° 2 sobre una cantidad de 1 g

** se escribe el dato con una sola cifra significativa por el error del método

una concentración de bacterias aerobias mesófilas totales levemente mayor en las muestras almacenadas a T 28 °C, respecto de las muestras refrigeradas, en los ensayos realizados a los 30 y a los 90 días, dicha diferencia no se observa a los 180 días. Cabe destacar sin embargo que en todos los casos las muestras cumplieron con el rango de valores autorizados.

Los aerobios mesófilos son indicadores típicos para determinar el tiempo de vida útil o problemas de almacenamiento de los alimentos. A partir de estos resultados se puede apreciar que los microorganismos aerobios mesófilos disminuyen su concentración a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento. Esto puede deberse a que el medio les resulte desfavorable para su crecimiento.

Las bacterias coliformes son típicamente utilizadas como indicadores de contaminación de aguas. En particular, la presencia de *E. coli* como representante de coliformes fecales, indica el riesgo de contaminación fecal. En las muestras no se detectaron coliformes ni presencia de *E. coli*.

La concentración de mohos y las levaduras, que podrían subsistir a valores de pH inferiores al valor del aderezo, se mantuvo prácticamente constante en los ensayos realizados a los 30, 90 y 180 días y por debajo de los valores analizados al día 0.

Luego de 180 días de almacenamiento del producto a temperatura de refrigeración y a temperatura ambiente, no se registró crecimiento microbiano, por lo que se infiere que el aderezo puede considerarse un producto microbiológicamente estable en el lapso de tiempo analizado.

Actividad de Agua

El valor de actividad de agua (a_w) del aderezo calculado teóricamente fue de 0,9815. Este valor pertenece al intervalo de $p/p_0 = 1-0,95$ que corresponde al rango de alimentos altamente perecederos según Fennema, 2000, por lo que la a_w en este producto no estaría actuando como obstáculo para evitar el deterioro microbiológico.

Comportamiento Reológico

Las muestras mostraron un comportamiento no newtoniano de carácter pseudoplástico que se pudo describir con la ecuación de la ley de la potencia (Ostwald-de Waele): $\tau = m \gamma^n$ (donde τ es el esfuerzo de corte, γ el gradiente de velocidad de deformación, m el índice de consistencia y n el índice de comportamiento de flujo). En este tipo de fluidos la viscosidad aparente disminuye con el incremento en el gradiente de velocidad de deformación. Los pares de muestras que presentan un compor-

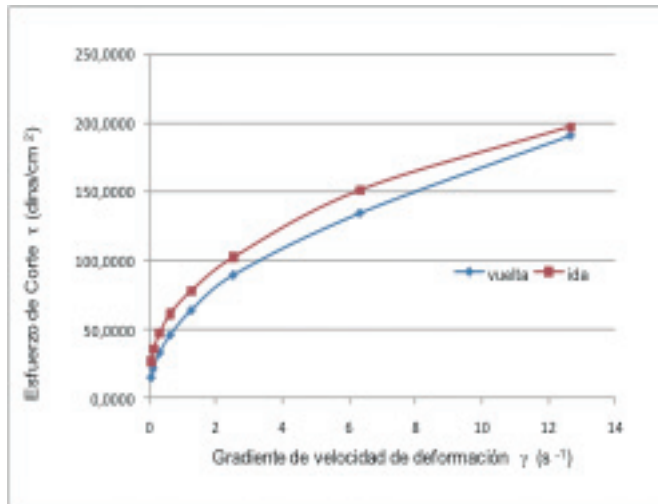


Fig.1. Esfuerzo de corte vs gradiente de velocidad de deformación (muestra 1, con inulina)

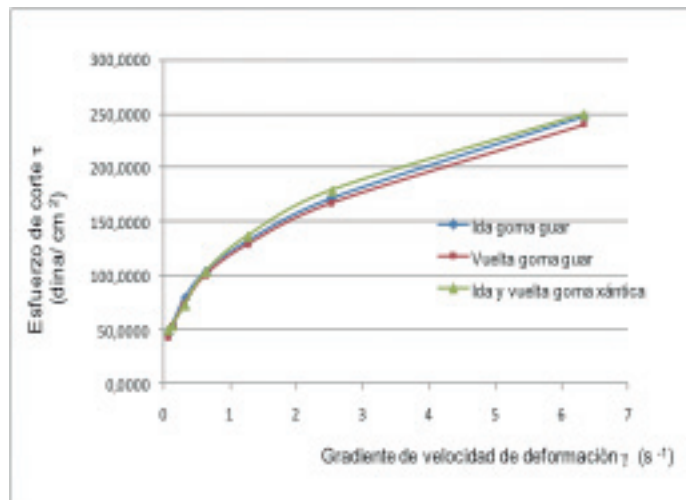


Fig.2. Esfuerzo de corte vs gradiente de velocidad de deformación (muestra 2 y 3, ambas con inulina y con goma guar y xántica, respectivamente)

Muestra	Tramo de Curva	Índice de Comportamiento de Flujo (n)	Índice de Consistencia (m)	R ²
Comercial	Ida	0.2406	142.27	0,9968
	Vuelta	0,2582	131,58	0,9934
N° 1 (con inulina)	Ida	0.3726	74,21	0,9982
	Vuelta	0,4723	57,13	0,9999
N°2 (con inulina y goma guar)	Ida	0,3715	122,04	0,9973
	Vuelta	0.3806	117.97	0,9991
N°3 (con inulina y goma xántica)	Ida	0.3707	123,54	0,9868
	Vuelta	0,4647	116,41	0,9892
N°4 (sin inulina)	Ida	0,4114	73,60	0,9982
	Vuelta	0.4841	60.05	0,9980

Tabla 11. Parámetros n y m de la ecuación de la Ley de la Potencia

Olor	Flavor	Textura
Vinagre Mostaza Huevo	Vinagre Acido Picante Salado Persistencia Especias	Microestructura (grumos y cristales) Cremosidad/untuosidad en boca Adherencia Solubilidad Harinosidad

Tabla 12. Descriptores del perfil sensorial

Fuente: elaborado por INTI Lácteos

Atributo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 4
Olor	Vinagre Mostaza Nota vegetal verde húmedo	Vinagre Mostaza	Vinagre Mostaza leve
Flavor	Mostaza Picante fuerte Acido Nota verde Persistencia de mostaza y picante	Mostaza Picante leve	Mostaza más fuerte Picante leve
Textura	Grumos pequeños Cremosa Consistencia de yogur bebible	Creмоса grumos pequeños Consistencia de yogur bebible	Grumos Cristales Más harinosa Mas consistente

Tabla 13. Descriptores de aderezo

Fuente: elaborado por INTI Lácteos

tamiento reológico similar son las 1 y 4, sin gomas y las 2 y 3, con gomas. La presencia de gomas en las muestras aumenta el índice de consistencia y disminuye el índice de comportamiento de flujo. Las muestras sin gomas (1 y 4) presentaron tixotropía ya que la viscosidad aparente no estaba relacionada exclusivamente con la velocidad de deformación sino también con el tiempo, como puede apreciarse en las curvas de ida y vuelta de la Figura 1. Este fenómeno se denomina histéresis. Cuando se agregaron gomas (xántica o guar) a las muestras la histéresis desaparecía como se puede observar en la Figura 2.

En la Tabla 11 se detallan a continuación los valores de los parámetros n y m correspondientes a la ecuación de la Ley de la Potencia, empleada para describir el comportamiento de flujo del aderezo.

R^2 coeficiente de determinación correspondiente al ajuste de los datos experimentales con la ecuación de la Ley de la Potencia linealiza-

da. Las muestras con el agregado de gomas, 2 (guar) y 3 (xántica) exhiben un comportamiento reológico más parecido al del aderezo comercial Caesar, marca Tau delta.

Análisis Sensorial

1- Los descriptores resultantes del perfil sensorial se presentan en la Tabla 12.

Evaluación de ingredientes:

Aceite de canola: El olor se percibe con baja intensidad y el flavor no se detecta en el aderezo
Solución de inulina al 6%: La solución se encontró inodora, dulce y levemente astringente. La misma no se identifica en el aderezo.

2- Determinación del perfil sensorial cualitativo para evaluar la forma de presentación más adecuada del aderezo. (Tabla 13)

Para la realización de este ensayo se descartó

Atributo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 4
Olor	Lechuga No se percibe aderezo	Vinagre Lechuga Mostaza	Vinagre Lechuga
Flavor	Picante Mostaza Lechuga Persistencia de picante	Picante fuerte Se percibe el aderezo	Lechuga Amargo Picante
Textura	Untuosa No se perciben cristales	Untuosa No se perciben grumos	Untuosa

Tabla 14. Descriptores lechuga con aderezo

Fuente: elaborado por INTI Lácteos

Descriptor de Textura	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 4
Solubilidad	4,0	3,3	3,8
Microestructura (*)	1,7 ^a	3,4 ^b	3,6 ^b
Harinosidad (*)	1,9 ^a	1,9 ^a	2,7 ^b
Untuosidad (*)	3,2 ^a	4,5 ^b	4,1 ^b
Adherencia	2,8	3,3	3,4

Tabla 15. Descriptores de textura de las muestras

(*)ANOVA: Para ese descriptor de textura, los valores que se presentan con la misma letra no son significativamente diferentes con $\alpha = 0,05$.

la Muestra N° 3, ya que la consistencia lograda no se correspondía a la deseada para un aderezo de ensaladas.

Los descriptores se mencionan en orden de acuerdo a la intensidad de percepción. La percepción de cristales se debe a granos de mostaza distribuidos de manera no homogénea y la de grumos a la presencia de almidón.

a) Perfil cualitativo de los aderezos presentado en envase de vidrio. Descriptores (Tabla 13)

b) Mezcla de 20 g de lechuga mantecosa picada con 20 g de aderezo presentadas en un recipiente de vidrio. (Tabla 14)

c) Perfil cualitativo de la mezcla lechuga/aderezo Sobre pan lactal sin sal.

d) Perfil cualitativo de la mezcla de lechuga/aderezo sobre una galletita de agua sin sal.

No se percibe el aderezo, sólo las caracterís-

ticas del soporte pan/galletita sin sal. De los ensayos realizados surge que es conveniente analizar el aderezo sin soporte de pan o galletita, ya que no permiten que se expresen sus atributos.

Con respecto a las muestras saborizadas, la de Mix de orégano, fue la más aceptada.

3) Análisis descriptivo cuantitativo de textura del aderezo sólo. (Ver Figura 3)

De la figura 3 se desprende que para el atributo adherencia no se observan diferencias significativas entre las 3 muestras y en cuanto a la solubilidad la muestra 2 presenta un menor valor siendo más favorable ya que acompaña al soporte por más tiempo. Con respecto a la untuosidad la muestra 1 es menos untuosa que las muestras 2 y 4, y presenta la menor microestructura. En cuanto el atributo harinosidad no hay diferencias significativas entre las muestras 1 y 2, siendo la 4 la más harinosa.

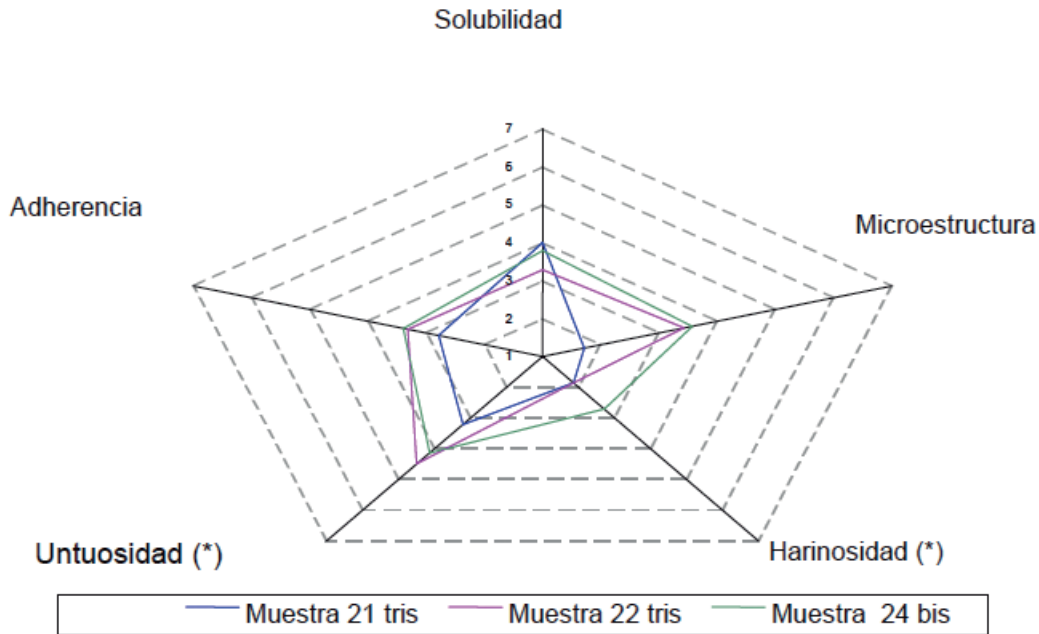


Fig.3. Perfil de Textura de las muestras

CONCLUSIONES

El producto obtenido ofrece al mercado un aderezo que se diferencia en el contenido de nutrientes dado que es reducido en el contenido de lípidos y es de alto contenido en fibra alimentaria, estas modificaciones ofrecen a los consumidores una opción más saludable, que intenta estar en armonía con las recomendaciones nutricionales para estos dos nutrientes en pos de la prevención de enfermedades. Caracterizándose por utilizar aceite de Canola, cuyo perfil de ácidos grasos se aproxima a las recomendaciones de ácidos grasos establecidas por la FAO/OMS 2003/2008, en lugar de utilizar aceite de maíz que es el aceite de uso habitual para este tipo de productos, en el cual predomina ampliamente el ácido linoleico por sobre el ácido linolénico, con una relación n-6:n-3 de 57:1 y un 13 % de ácidos grasos saturados, versus el aceite de Canola cuya relación n-6:n-3 es de aproximadamente 2:1 y es la fuente de aceite vegetal más reducida en grasas saturadas ya que aporta aproximadamente un 7% de ese tipo de ácidos grasos.

La fuente de fibra alimentaria seleccionada para adicionar al aderezo fue la inulina, que se caracteriza por su efecto prebiótico reconocido, definido por la capacidad selectiva de estimular el crecimiento de bifidobacterias y lactobacillus,

además de reforzar el sistema inmunológico, incrementar la biodisponibilidad de minerales e intervenir en el metabolismo de lípidos y en el índice glucémico.

En cuanto a los aspectos tecnológicos, la inulina mejora considerablemente el sabor, suavidad y cremosidad de los productos bajos en grasas. Dichos efectos quedaron confirmados en las pruebas de análisis sensorial, percibiéndose aquellas muestras que no contenían inulina, como grumosas y con sabor harinoso.

Asimismo, las muestras conteniendo inulina combinada con gomas, presentaron una mayor consistencia, tal como se determinó en los estudios reológicos y en el análisis sensorial. La goma guar permite que el aderezo se adhiera más al vegetal posibilitando que se perciba su sabor, ya que acompaña al vegetal durante la masticación e impide que se escurra en el plato. Además las gomas contribuyen a aumentar la estabilidad física de la emulsión durante el tiempo de almacenamiento.

La estabilidad microbiológica del producto está dada principalmente por su valor de pH (pH= 4) y el agregado de sorbato de potasio, como antifúngico. También contribuyen la irradiación de los condimentos, las buenas prácticas de manipulación en la elaboración del producto y el en-

vasado en recipientes estériles. Estas medidas permiten que el producto pueda permanecer en góndola, para su comercialización, a temperatura ambiente por un período de 180 días.

Respecto de la susceptibilidad del producto a la rancidez oxidativa, consideramos que el mismo está protegido, dado que utiliza como fuente de lípidos al aceite de Canola que se caracteriza por su alto contenido en tocoferoles, de acuerdo a la información contenida en el rótulo del aceite de Canola marca Krol, por cada 13 ml aporta 3 mg de vitamina E, que cubre el 30 % ingesta diaria recomendada (IDR) (Resolución Grupo Mercado Común 46/03. Reglamento Técnico Mercosur para Rotulado Nutricional de Alimentos Envasados-Anexo A: Valores de ingesta diaria recomendada de nutrientes de declaración voluntaria: vitaminas y minerales). Los tocoferoles pueden proteger a los lípidos de la oxidación ya que son antioxidantes naturales, retardando el enranciamiento.

El producto posee características desde el punto de vista nutricional tales como:

1. Alto contenido de fibra alimentaria
2. Reducido en grasas totales
3. Bajo en grasas saturadas
4. Sin ácidos grasos trans

También, posee mayor cantidad de ácido graso alfa-linolénico, que los aderezos presentes en el mercado. De acuerdo a la legislación vigente, se podría mencionar en el rótulo, los atributos

“con omega 3 y con omega 9”, ya que no está establecido aún el porcentaje que se debe aportar de estos nutrientes, para dar detalles de su adición. Todos estos atributos posibilitan que el aderezo pueda ser utilizado dentro de una alimentación variada, además de poder indicarse en planes de alimentación en los cuales el objetivo sea reducir el contenido de lípidos y/o el valor energético y de ser apto para celíacos por su contenido libre gluten, proteína de los cereales: trigo, avena, cebada y centeno.

Este alimento podría considerarse como un alimento funcional si tomamos en cuenta algunas definiciones de organismos internacionales como la definición del Instituto de Medicina y la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos que define como funcionales a aquellos alimentos en los que la concentración de uno o más ingredientes ha sido modificada para mejorar su contribución a una alimentación saludable, o la definición del Consejo Internacional de Información de Alimentos (IFIC, por sus siglas en inglés), que los define como aquellos alimentos que proveen beneficios para la salud más allá de la nutrición básica.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos muy especialmente al Lic. R. Castañeda y a la Ing. H. Montero y equipo del INTI LACTEOS, por el desarrollo del análisis sensorial del producto y a GELFIX S.A.

Referencias

- AÑÓN M.C. (2012) Conceptos sobre alimentos funcionales, 156º Jornadas Científica “Alimentos Funcionales, Nutrición y Salud”, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires.
- ASHWELL, M. (2004) Conceptos sobre Alimentos Funcionales. ILSI Europe Concise Monograph Series, ILSI Press.
- CAMPARTO, G., PILOTTO, A., FRANZE, A., FRANCESCHI, M., DIMARIO, F. (2007) Diverticular disease in the elderly. *Digestive Disease*, 25 (2) 151-157.
- CARREDO, J.J.; MARTIN-BAUTISTA, E.; BARÓ, L.; FONOLLÁ, J., JIMÉNEZ, J.; BOZA, J.J. Y LOPEZ-HUERTAS, E. (2005) Efectos cardiovasculares de los ácidos grasos Omega-3 y alternativas para incrementar su ingesta. *Nutr. Hosp.* [online]. Vol.20, N°.1, pp. 63-69. www.scielo.icsiii.es/scielo.php. ISSN 0212-1611. consultado 21/11/2011.
- DEVIN, R., DEMEO, M., KESHAVARZIAN, A., HAMAKER, B. (2007) Influence of dietary fiber on inflammatory bowel disease and colon cancer: importance of fermentation pattern. *Nutr. Rev.*, 65 (2): 51-62.
- FAO/OMS - (2003) Diet, Nutrition and Prevention of Chronic Diseases. WHO Technical Report Series 916 Geneva.

FAO/OMS- (2008) Expert Consultation on Fats and Fatty Acids in Human Nutrition, Noviembre 10-14, WHO HQ, Geneva.

FRANCK, A. (2006) INULIN. En: Food Polysaccharides and Their Applications. Stephen A. (Editor). Segunda Edición. Nueva York, USA: Marcel Dekker; 733 pp.

FRANCK, A. Technological functionality of inulin and oligofructose. *British J Nutr* 2002; 87: 287-291.

GARCÍA OCHOA, O.E., INFANTE, R.B., Rivera, C. J. (2008) Hacia una definición de fibra alimentaria, *Anales Venezolanos de Nutrición*. Vol 21, Nº1, 25-30.

GIBSON, G. (1999) Dietary modulation of the human gut microflora using the prebiotics oligofructose and inulin. *J. Nutr.* 129 (suppl): 1438S-1441S.

GIBSON, G.R., ROBERFROID, M.B. (1995) Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics, *J. Nutr.* 125:1401-1412.

KALINE, K., BORNSTEIN, S.R., BERGMANN, A., HAUNER, H., SCHWARRZ, H. (2007) The importance and effect of dietary fiber in diabetes prevention with particular consideration of whole grain products. *Horm. Metab. Res.*, 38; 687-693.

KIP, P., MEYER, D., JELLEMA, R. (2005) Inulin improve sensoric and textural properties of low fat yogurts. *Int Dairy J*; 16: 1098- 1103.

KOLIDA, S. y GIBSON, G. (2007) "Prebiotic Capacity of Inulin type fructans." *The Journal of Nutrition*. American Society for Nutrition. Vol. 137. Pag. 2503-2506.

KOLIDA, S.; MEYER, D.; GIBSON, G. (2007). "A double-blind placebo controlled study to establish the bifidogenic dose of inulin in healthy humans." *European Journal of Clinical Nutrition*. 31 January. Pag. 1-7. Advance online publication doi:10.1038/sj.ejcn.1602636.

KRIS-ETHERTON, PM., SHAFFER, TD., YU-POTH, S., HUTH, P., MORIARTY, K., FISHEL, V., HARGROE, RL., ZHAO, G., (2000) Etherton TD. Polyunsaturated fatty acids in the food chain in the United States. *Am. J. Clin. Nutr.* 71: 179S-88S.

LAIRAN, D., ARNAULT, N., BERTRAIS, S., PLANELLS, R., CLERO, E., HERCHER, S., BOUTROM-RUALULT, M.C., (2005) Dietary fiber intake and risk factors for cardiovascular disease in French adults. *Am.J.Clin. Nutr.*; 82 (6) 1185-1194.

MARRA, C., (2012) Estudio comparativo de PUFAs n-3 como agentes pro-cognitivos en pacientes con enfermedad de Alzheimer, 156º Jornadas Científica "Alimentos Funcionales, Nutrición y Salud", Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires.

OLAGNERO, G., MARCENADO, J. y IREL, V. (2007) Alimentos Funcionales: Compuestos de naturaleza lipídica. *Diaeta*, Buenos Aires, Jul-Sep, Vol. 25, nº12, p.31-42. ISSN 0328-131 Concentrated oat beta-glucan a fermentable fiber, lowers serum cholesterol in hypercholesterolemic adults in a randomized controlled trial. *Nutr. J.* 2007., 26 (6) 6-12.

ROBERFROID, M. (2005) *Inulin-Type Fructans: Functional Food Ingredients*. Boca Raton, USA: CRC Press. 370 pp.

ROBERFROID, M.B. (1995) A functional food: chicory fructooligosaccharides, a colonic food with prebiotic activity. *World of Ingredients*, March-April, 42 pp.

RODRÍGUEZ CRUZ, M.; TOVAR, A.R., DEL PRADO, M. Y TORRES, N. (2005) Mecanismos moleculares de acción de los ácidos grasos poliinsaturados y sus beneficios en la salud. Artículo de Revisión. *Revista de Investigación Clínica*. Vol.57, Nº 3, pp.457-472.

WATHERHOUSE, A. CHATTERTON, N. (1993) Glossary of fructans terms. En: *Science and Technology of Fructans*. Suzuki M., Chatterton, N. (Editores). Boca Raton, USA: CRC Press; 369 pp.

ZULETA, A., (2012) Fibra dietaria y sustancias prebióticas, 156º Jornadas Científica "Alimentos Funcionales, Nutrición y Salud", Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires.

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, Mg. 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 (21 cm x 29,7 cm) 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 1 cm 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 300 ppi, 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.

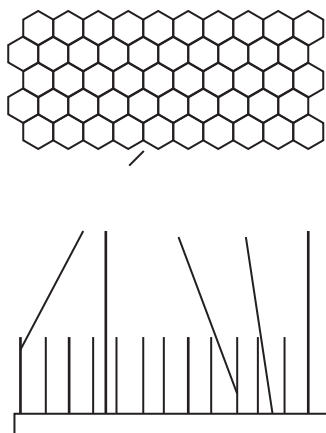


Fig. 1. Ejemplo de ubicación de la figura y su leyenda explicativa (centrada, en negrita y fuente 10)

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)

Magnitud	Condición A	Condición B
Magnitud A	1a	1b
Magnitud B	2a	2b

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.



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 los talleres gráficos Forma Color
Impresores S.R.L. Camarones 1768 (C1416ECH),
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
Octubre de 2012**