

# PRISMA Tecnológico

P-ISSN 2076-8133 | Volumen 8, N.º 1 | 2017 | Edición anual  
E-ISSN 2312-637X

**Cosecha de agua de lluvia y medidas de control para aguas de tormenta en el entorno rural y urbano**

**Entrevista con la Ingeniera Min Chen**

**Análisis sobre la recurrencia de terremotos severos en Ecuador**

**Metodología para el desarrollo de una distribución GNU/Linux para computación paralela**

Revista indexada en



## PRISMA Tecnológico (P-ISSN 2076-8133, E-ISSN 2312-637X)

Es una publicación anual de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) que se realiza a través del Departamento de Editorial Universitaria, bajo el sello Editorial Tecnológica. Es una revista indexada a LATINDEX, que ofrece artículos de contenido tecnológico y científico multidisciplinarios, cuyo objetivo es divulgar conocimiento técnico-científico, comunicar temas de ingeniería y ciencias básicas y exactas, y presentar temas sociales desde una perspectiva técnica-científica, a profesionales y estudiantes de las diversas áreas de la ingeniería, así como al público nacional e internacional, de manera comprensible y amena, con claridad, amplitud y responsabilidad.

### Revista PRISMA Tecnológico

El Departamento de Editorial Universitaria de la Universidad Tecnológica de Panamá, Jefa: Libia Batista. Avenida Universidad Tecnológica de Panamá, Campus Universitario Dr. Víctor Levi Sasso, Edificio de Postgrado, Planta baja, Panamá, República de Panamá. Teléfonos: (507) 560-3703, 560-3441. Telefax: (507)560-3442. Correo electrónico: editorial@utp.ac.pa, página web: <http://www.utp.ac.pa>, Apartado 0819-07289 El Dorado, Panamá, República de Panamá.

La responsabilidad de los contenidos es de los autores de los artículos firmados y no de la Universidad Tecnológica de Panamá o sus miembros. A menos que se especifique lo contrario, la Universidad Tecnológica de Panamá ni comparte ni desapueba cualquier posición o acción propugnada en PRISMA tecnológico.

### Correspondencia editorial

Enviar a: Director del Comité Técnico, Carlos A. Medina C, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá, Avenida Universidad Tecnológica de Panamá, Campus Universitario Dr. Víctor Levi Sasso, Panamá, República de Panamá. Tel: (507) 560-3046, correo electrónico: carlos.medina@utp.ac.pa

### Presentación de artículos para evaluación y publicación

PRISMA Tecnológico es una revista de divulgación tecnológica científica de carácter general, cuyos artículos o ensayos deben tener un carácter, forma y nivel científico, pero también deben mantener un perfil y redacción tales que permitan su lectura e interés a un público general, de personas interesadas en la tecnología y la ciencia. Los artículos no son del tipo de una revista altamente especializada o teórica. La revista está dirigida a profesionales del área tecnológica, estudiantes universitarios de carreras tecnológicas, docentes universitarios, investigadores y público en general.

PRISMA Tecnológico es una revista abierta a todos los interesados en publicar, es decir, que los autores de los artículos no tienen que ser miembros de la Universidad Tecnológica de Panamá. Además son bienvenidos los trabajos, en particular, de los estudiantes universitarios de pregrado y postgrado con la orientación y colaboración de un profesor tutor.

Cualquier aportación técnico-científica relacionada con algún área de la ingeniería en sus múltiples disciplinas es, en principio, susceptible de ser publicada en PRISMA Tecnológico.

PRISMA Tecnológico se ha diseñado con varias secciones que permiten incluir artículos de diversos tipos, desde escritos de opinión a ensayos técnicos y artículos originales con resultados de investigaciones o proyectos. Las secciones de artículos que incluye PRISMA son: Impacto, Tecnología y Sociedad, Actualidad Tecnológica, Tecnología a Fondo, Tecno I+D, Tecno-Historia. Cada artículo será evaluado por tres evaluadores (3) externo, mediante el método de "revisión por pares" para conocer su calidad técnica, la originalidad, la contribución científica, entre otros criterios relevantes. La revisión por pares se rige por el método de "doble ciego" para garantizar un proceso de evaluación libre de sesgo o conflicto de interés. Los dictámenes finales serán emitidos por el Comité Editorial de Prisma Tecnológico.

Cada edición tendrá una temática principal y contará con editores especiales encargados de las siguientes secciones: Editorial Especial, Impacto, Entrevista y Tecno-Historia. Los artículos de las secciones Tecnología y Sociedad, y Actualidad Tecnológica deberán estar enmarcados dentro de la temática principal de la edición correspondiente. Por otro lado, la temática de los artículos de las secciones Tecnología a Fondo y Tecno I+D es abierta, es decir, que podrán corresponder a cualquier tema dentro del alcance de la revista.

**Impacto:** Trata de ensayos sobre una tecnología y temas o aspectos relacionados con tecnología cuyo impacto en la evolución de la sociedad ha sido o es trascendental. Estos artículos deben incluir algo de la historia o evolución de la tecnología en cuestión, el impacto de la misma en los diversos aspectos de la sociedad, prospectiva, etc. Deben incluir aportaciones que reflejen la opinión del autor sobre el tema. La longitud máxima es de seis (6) páginas. Se espera que sean artículos interesantes y orientados a lectores inteligentes y con formación científica pero no expertos en un área en particular. Pueden incluir figuras y deben incluirse referencias.

**Tecno-Historia:** Encierra dos tipos de trabajos: biografías de científicos importantes o ensayos sobre la historia de alguna tecnología. Las biografías y los ensayos están limitados a tres (3) páginas. En ambos casos deben incluirse figuras y referencias.

**Tecnología y Sociedad:** Incluye artículos sobre temas de tecnología, educación o investigación, relacionados con problemas o realidades sociales. Deben incluir aportaciones que reflejen la opinión del autor sobre el tema. Deben tener carácter, forma y nivel científico (no tipo diario/periódico) – estar basados en estudios, datos, área de experiencia del autor y deben incluir referencias. La longitud máxima es de seis (6) páginas. Pueden incluir figuras, tablas y gráficas y deben incluirse referencias.

**Actualidad Tecnológica:** Se trata de ensayos técnicos descriptivos sobre tecnologías actuales – se incluyen estudios del estado del arte, tutoriales o artículos de visión general (survey). Estos trabajos no son una publicación de investigaciones y no incluyen resultados de investigaciones. La cantidad de fórmulas matemáticas debe mantenerse al mínimo posible. La longitud máxima es de seis (6) páginas.

**Tecnología a Fondo:** Contiene artículos técnicos-científicos descriptivos sobre tecnologías que describen en forma bastante detallada, un aspecto relacionado con una tecnología pero tratando de mantener el enfoque en la explicación de la esencia de una idea, estudio, experimento o tecnología, más que en los detalles matemáticos o de ejecución. La cantidad de fórmulas matemáticas debe mantenerse al mínimo posible. La longitud máxima es de seis (6) páginas.

**Tecno I+D:** Incluye artículos que describen los resultados originales derivados de investigaciones teóricas, experimentales y de desarrollo tecnológico, así como resultados derivados de trabajos de grado de estudiantes universitarios. Los trabajos están limitados a seis (6) páginas.

Todos los trabajos deben ser originales y no haberse publicado en ninguna otra revista o forma de publicación exclusiva. Los artículos se recibirán durante todo el año. Que un artículo sea aceptado no significa que vaya a ser publicado, ni crea ninguna obligación de la revista PRISMA Tecnológico en relación al artículo.

La guía para autores con sus especificaciones está disponible en:  
[www.revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma](http://www.revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma)

### Cartas al Director

El Comité Editorial anima a los lectores de PRISMA Tecnológico a que remitan sus observaciones y comentarios relativos a artículos publicados en la revista. En esta sección se incluirán también los comentarios a los editoriales de PRISMA. La extensión máxima será de 500 palabras y 5 citas bibliográficas. En general el número de autores será uno o dos. No se acompañan de resumen, tablas ni figuras. Excepcionalmente podría publicarse una figura pero será valorado previamente por el comité editorial.

### Versión electrónica

Se puede acceder a los ejemplares de la revista en formato electrónico en la dirección:  
[www.revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma](http://www.revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma)

# PRISMA

Tecnológico

### Director del Comité Editorial

**Dr.-Ing. Carlos A. Medina C.**  
Facultad de Ingeniería Eléctrica, UTP  
[carlos.medina@utp.ac.pa](mailto:carlos.medina@utp.ac.pa)

### Comité Editorial

**Dra. Jazmina Urriola, Ph.D.**  
Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT)  
[jurriola@senacyt.gob.pa](mailto:jurriola@senacyt.gob.pa)

**Dra. Ana Muñoz**  
Universidad de Los Andes (Venezuela)  
[anamunoz@ula.ve](mailto:anamunoz@ula.ve)

**Dr. Rolando Gittens, Ph.D.**  
Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología (INDICASAT-AIP)  
[rgittens@indicasat.org.pa](mailto:rgittens@indicasat.org.pa)

**Dr. Miguel Vargas Lombardo**  
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales UTP  
[miguel.vargas@utp.ac.pa](mailto:miguel.vargas@utp.ac.pa)

**Dr. Ronald Barazarte, Ph.D.**  
Director de Actividades Educativas del IEEE Sección Panamá  
[ronald.barazarte@utp.ac.pa](mailto:ronald.barazarte@utp.ac.pa)



**Ing. Libia Batista**  
Directora

**Licda. Sandra Siebert / Sr. Armando Pinillo**  
Mercadeo y Ventas

Departamento de Comunicación Gráfica

Diseño e Impresión

© Derechos reservados. UTP 2017

Impreso en Panamá

Tiraje: 300 ejemplares

## Editorial



Estimados lectores, gracias por su interés en PRISMA Tecnológico, publicación técnico - científica de la Universidad Tecnológica de Panamá. En esta edición les presentamos una variedad de temas de actualidad muy interesantes y una entrevista con una exitosa emprendedora en el mundo tecnológico.

Con respecto a este tema, la innovación tecnológica, me gustaría referirme en este editorial particularmente a las patentes, ya que éstas tienen un impacto demostrado en el crecimiento económico de un país.

Según demuestran varios estudios, las fuentes del crecimiento económico no son solo el capital y el trabajo, sino también otros factores complementarios, en especial la utilización de la energía, la tecnología, la innovación y las patentes, así como otras formas de propiedad intelectual y la eficiencia de las instituciones.

Las patentes, como herramienta eficaz para la innovación y generación de nuevas ideas, son una fuente de crecimiento económico en el largo plazo, y su impacto es más significativo en países con una mayor apertura económica. Además, se ha verificado que aquellas empresas (sin importar su tamaño) que más invierten en patentes y otras formas de propiedad industrial son las más rentables. Así, las patentes fomentan el desarrollo económico y tecnológico y promueven la competencia, y además sirven a las empresas como un motor para multiplicar la rentabilidad de nuevos productos y procesos.

La tendencia actual en estrategia de innovación y generación de patentes es que las compañías abran sus procesos de innovación y trabajen juntas con clientes, proveedores, universidades e institutos de investigación, incluso competidores, compartiendo la propiedad y los beneficios de las patentes de diversas formas. El aumento de esta cooperación en desarrollo de tecnología se ha convertido en una forma importante de obtener conocimiento para generar nuevas ideas y llevarlas rápidamente al mercado. Este modelo de innovación abierta contrasta con el denominado modelo tradicional de innovación cerrada del pasado, en el que la innovación de las empresas depende principalmente de sus propios departamentos de I + D.

Todo esto, debería llevar a las autoridades encargadas de la protección de la propiedad industrial en nuestros países en desarrollo, a incentivar y promover un ambiente adecuado de colaboración entre los sectores público y privado (incluyendo empresas, instituciones de investigación y educación) para actividades de I+D, y el desarrollo y registro de patentes y otras formas de propiedad industrial, con el fin de que las políticas de propiedad industrial impacten significativamente en el crecimiento económico de cada país y la región.

Agradecemos a nuestro comité editorial, revisores, colaboradores y queridos lectores. Deseamos que disfruten de esta edición de Prisma Tecnológico y los invitamos a que nos envíen sus comentarios y/o sugerencias, que resultarán valiosas para futuras ediciones.

Prof. Dr.-Ing. Carlos A. Medina C.  
Universidad Tecnológica de Panamá  
prisma@utp.ac.pa  
carlos.medina@utp.ac.pa

## Contenido

### IMPACTO

Cosecha de agua de lluvia y medidas de control para aguas de tormenta en el entorno rural y urbano ..... 3-6

### TEC-NOTICIAS

Investigadores hacen crecer células cerebrales en un chip ..... 7

Tres formas en que los autos Ford podrían supervisar su salud ..... 7

Nueva bio-impresora hace más fácil fabricar carne y hueso 3D ..... 8

Investigadores diseñan un traje de entrenamiento que responde a la humedad ..... 8-9

### ENTREVISTA

Entrevista con la Ingeniera Min Chen ..... 10-11

### ACTUALIDAD TECNOLÓGICA

Análisis sobre la recurrencia de terremotos severos en Ecuador ..... 12-17

Propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras metálicas ..... 18-23

### TECNOLOGÍA A FONDO

Diseño, funcionamiento y dinámica de los sistemas de gobierno de las embarcaciones ..... 24-28

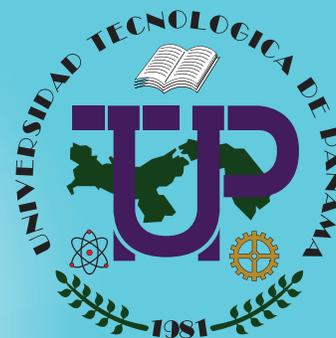
### TECNOLOGÍA I+D

Estudio de láminas delgadas de diamantes policristalinos: estructura cristalina, enlace químicos de átomos de carbono y efectos en la concentración de portadores de cargas eléctricas..... 29-33

Luteína y B-caroteno como principales antioxidantes acumulados en la microalga Dunaliella salina ..... 34-38

# Contenido

P-ISSN 2076-8133  
E-ISSN 2312-637X  
Volumen 8, n.º 1 2017  
Publicación anual



Universidad Tecnológica de Panamá

## AUTORIDADES

**Dr. Oscar M. Ramírez R.**  
Rector

**Ing. Rubén D. Espitia P.**  
Vicerrector Académico

**Dra. Casilda Saavedra de Madrid**  
Vicerrectora de Investigación, Postgrado y Extensión

**Ing. Esmeralda Hernández P.**  
Vicerrectora Administrativa

**Ing. Luis A. Barahona G.**  
Secretario General

**Lic. Jeremías Herrera D.**  
Coordinador General de los Centros Regionales

Metodología para el desarrollo de una distribución  
GNU/Linux para computación paralela ..... 39-44

### TECNO HISTORIAS

Mildred Dresselhaus: la reina del carbono ..... 45-46

ENTRETENIMIENTO ..... 47

INSTRUCTIVO ..... 48

Indexada en:



Repositorio Centroamericano SIIDCA



# Cosecha de agua de lluvia y medidas de control para aguas de tormenta en el entorno rural y urbano

Denise Delvalle de Borrero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotecnia  
Denise.borrero@utp.ac.pa, Denise\_delvalle@hotmail.com

**Resumen:** Es necesario entender y aceptar el escenario de un clima cambiante aplicado a diferentes entornos. Podemos, con la utilización de tecnologías innovadoras, mitigar estos efectos, siendo necesaria una caracterización previa del entorno. Las tecnologías se pueden adaptar y combinar aumentando su efectividad. Un efecto positivo y de sinergia se despliega con la inclusión de la Academia, la colaboración regional/bilateral y la participación del sector privado en la mitigación utilizando medidas de colecta, contención y retención. Le corresponde al Estado regular y adoptar políticas que favorezcan e incentiven el uso de estas medidas para agua lluvia. El artículo compara los sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia (SCALL) en el entorno rural y de las medidas de control y retención del agua de escorrentía (MPC) en el entorno urbano y ofrece recomendaciones y presenta conclusiones para su mejor aprovechamiento dentro del escenario que nos impone el cambio climático.

**Palabras claves:** agua lluvia, SCALL, MPC, cisterna, cosecha de lluvia, LEED.

**Title:** Rainwater harvesting and storm water control measures for rural and urban environment.

**Abstract:** We need to understand and accept the scenario of a changing climate applied to different environments. We can, with innovative technologies, mitigate these effects, for which a preliminary characterization of the environment is required. The technologies can be adapted and combined increasing their effectiveness. A positive synergy effect unfolds with the inclusion of the Academy, regional / bilateral collaboration and participation of the private sector in applying mitigation measures such as collection, containment and retention of rain water. It is responsibility of the governments to adopt policies that promote and encourage the use of these measures. The present article compares the systems for rainwater collection (SCALL) in rural areas and storm water control measures (SCM) in the urban environment and offers recommendations and conclusions with some insights for a better use in the scenario posed by climate change.

**Key words:** water harvesting systems, storm water, retention, evapotranspiration, first flush, LEED.

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 7 de octubre 2016

Fecha de aceptación: 13 de junio 2017

## 1. Introducción

La Organización Para La Alimentación Y La Agricultura (FAO) indica que “La precipitación media anual de Panamá es la mayor del istmo centroamericano” encontrándose variaciones entre los 1,100 y los 5,500 mm, con una media anual de 2 928 mm cantidad de precipitación medida entre los años 1971 y 2002 [1]. Esta situación hidrológica hace del país el primero en Centroamérica en precipitación anual.

El abundante recurso causa inundaciones en temporada lluviosa a la vez que se presenta el fenómeno de la sequía y desertificación en temporada seca. La figura 1 muestra las áreas críticas en la República de Panamá en un mapa elaborado por el Ministerio de Ambiente en 2006 y tomado del Atlas de las Tierras Secas y Degradadas. Se estima que un 27 % del país corresponde a áreas críticas (con sequías y degradación) que ocupan una superficie total de 20,787.57 Km<sup>2</sup>. Estas áreas son el Arco Seco, la Sabana veraguense, la Comarca Ngabe Buglé y Cerro Punta en el corregimiento de Bugaba, en tierras altas de Chiriquí [2].

Este último punto es interesante ya que la degradación de esta región se debe a una agricultura intensiva y a la erosión de los terrenos por el tipo de técnica utilizada por los agricultores y no a la falta de lluvia.

A pesar de ser catalogadas como tierras secas y degradadas, se miden aquí índices de precipitación de hasta 1,500 mm al año mientras que países altamente tecnológicos como Israel cuentan con índices de precipitación de 50 mm y se han dedicado a aprovechar al máximo el escaso recurso del que disponen, crean huertos en el desierto y desalinizan el agua de mar utilizando tecnologías con energías renovables.



Figura 1. Mapa de tierras secas y degradadas. Fuente ANAM 2006, adaptado de [2].

En Panamá la llamada Ley de Aguas o Ley 35 del 22 de septiembre de 1966 regula el agua y expresa en su Artículo 2 que “Son bienes de dominio público del Estado, todas las aguas fluviales, lacustres, marítimas, subterráneas y atmosféricas...” [9].

Es decir, las aguas atmosféricas, tema de esta publicación, como la lluvia, la niebla, las nubes, el sereno y el rocío son propiedad del Estado, pero no están siendo reguladas por lo tanto su aprovechamiento es gratuito sin embargo su sobre explotación puede alterar el ciclo hidrológico natural.

## 2. Los sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia (SCALL) en las políticas de estado panameño

Las SCALL fueron incluidas oficialmente en las políticas del Estado panameño con la adopción por parte del Ministerio de Ambiente de un Proyecto del Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC) en el año 2008. El objetivo primordial de este proyecto era mejorar, a través del acceso al agua, las condiciones de salud e higiene de los habitantes de diversas comunidades rurales. Con él se proponía la instalación de cisternas de bloque y cemento [6] de cosecha de agua lluvia para beneficio de escuelas primarias y abastecimiento de los comedores escolares, servicios sanitarios, actividades de limpieza y el mantenimiento de huertos escolares.

A la fecha existen 45 SCALL instaladas en comunidades rurales y lugares de difícil acceso con más de 1500 beneficiarios.

A medida que los efectos del Cambio Climático se hacen más notorios, el presupuesto de Ministerio de Ambiente ha ido incrementando. Según datos actuales se dedicaron: B/.85,000.00 a construcción de SCALL y para el año próximo se han solicitado B/.106,000.00. Aunque el enfoque del proyecto sigue siendo el mismo, las cisternas ya no serán de bloque y cemento, sino que se instalarán cisternas de plástico.

Se pueden mencionar como resultados tangibles de este proyecto: la publicación de manuales técnicos para construcción de las cisternas [3] y las capacitaciones técnicas que se ofrecen anualmente a técnicos de otros ministerios como el Ministerio de Agricultura (MIDA), el Ministerio de Educación (MEDUCA) y el Ministerio de Salud (MINSAL). Importante resaltar que las SCALL no solo aplican para agua de consumo humano sino también para el abastecimiento del consumo animal y para producción agrícola en momentos de sequía. En este sentido, se busca implementar estos sistemas a productores del Arco Seco no solo almacenando el agua de lluvia en cisternas sino represándola o captándola en reservorios abiertos. Muchas organizaciones sin fines de lucro también benefician a las poblaciones rurales con estas medidas, sobre todo en el Arco Seco y las comarcas, tratando de cubrir el suministro de agua segura para su consumo.

Las técnicas de cultivo en las tierras degradadas como Cerro Punta han ido paulatinamente evolucionando hacia cultivos hidropónicos y a un futuro no muy lejano, se vislumbran

aplicaciones de mayor ahorro energético, cultivando de manera vertical en invernaderos.

## 2.1 La transición entre el entorno rural y el entorno urbano

Existe una similitud interesante entre las medidas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia utilizadas en el entorno rural y las medidas de retención y control que estamos hoy en día promoviendo en nuestras ciudades para mejorar su característica poco deseable de actuar como puntos de calor de superficies impermeables y contaminadas.

Según Hoban et al, (2006) el balance hidrológico natural está conformado por: precipitación, evapotranspiración, infiltración y escorrentía. En las ciudades la gran cantidad de superficies impermeables evita la infiltración y aumenta la escorrentía, la cual en su dinámica producirá inundaciones. La aglomeración de personas aumenta el volumen de aguas servidas y la mala calidad de la oferta redundando en la compra de aguas embotelladas y un aumento del agua virtual como se muestra en la figura 2. La respuesta a esta problemática urbana es la implementación de mejores prácticas de control (MPC) del agua lluvia intentando emular en lo posible el balance hidrológico natural [4].

En Panamá, únicamente el sector privado ha estado haciendo esfuerzos en mejorar el entorno urbano adoptando mejores prácticas de manejo del agua de escorrentía con medidas de control y retención como pueden ser los jardines de lluvia, techos y paredes verdes, pavimentos permeables y asfaltos porosos. Por otra parte, la Asociación Panameña de Ingenieros y Arquitectos (SPIA) está promoviendo la certificación otorgada por el *Leadership in Energy & Environmental Design* (LEED), una metodología para la construcción de edificios sostenibles y ambientalmente adecuados, siendo uno de los criterios de calificación, el uso eficiente del agua. La figura 3 muestra una gráfica publicada por el *Panama Green Building Council* [5], en ella se aprecian las 48 estructuras registradas y 10 certificadas, siendo los primeros en la región con este tipo de implementación sostenible. Algunos ejemplos son la Embajada Americana, el edificio Argos, así como también muchas entidades bancarias y edificaciones ubicadas en la Ciudad del Saber que se han propuesto, además de demostrar responsabilidad empresarial, mejorar el entorno urbano [6]–[8].

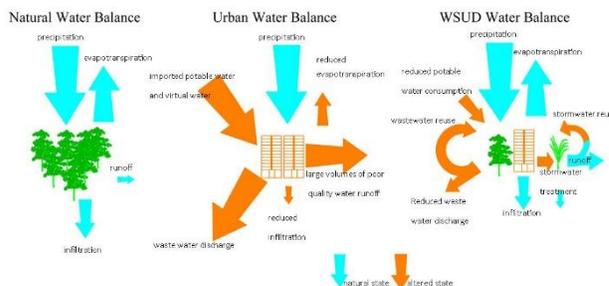


Figura 2. Balance hídrico natural y urbano. Fuente: Adaptado de Hoban, A., and Wong, T.H.F., (2006)[4].

No es extraño caminar por una avenida o visitar locales turísticos y encontrar paredes verdes instaladas para lograr una mejora del ambiente interno o la calidad del aire o ahorrar energía en la climatización utilizando para este propósito plantas especializadas lo cual consideramos como un buen indicador de la aceptación que pueden llegar a tener estas medidas en la ciudad de Panamá.

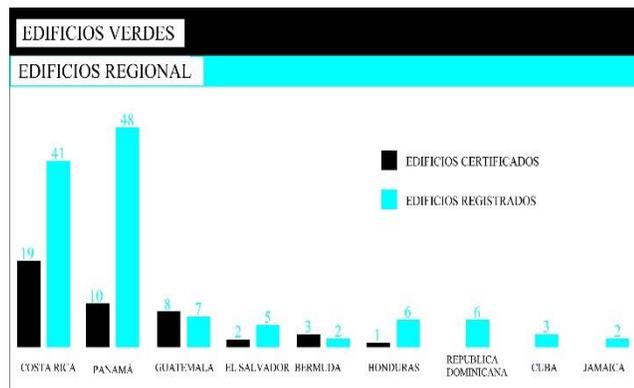


Figura 3. Edificios registrados y certificados en LEED. Fuente adaptada de Panamá Green Building Council.

## 2.2 El papel de la colaboración académica internacional

El principio número 7 de la Declaración de Río que indica que “Los Estados deberán cooperar con espíritu de solidaridad mundial para conservar, proteger y restablecer la salud y la integridad del ecosistema de la tierra” es el mejor instrumento para justificar las acciones de colaboración académica internacional y los Centros de Investigación en relación a la mitigación de los efectos del cambio climático. Este principio señala, además: a) El deber de la cooperación internacional de los países desarrollados para con los países en desarrollo o con economías en transición. b) El deber de informar, en caso de alguna situación relevante. Y c) La política del buen vecino.

Países como Estados Unidos dedican una buena parte de su presupuesto a proteger sus costas del aumento del nivel del mar, construyen diques y reservorios subterráneos para mantener agua de reserva, pero también aplican medidas para mantener un ciclo hidrológico en balance. Con más de veinte años de experiencia en medidas de retención e infiltración de agua de lluvia, la Universidad de Villanova en Filadelfia, estado de Pensilvania [9], [10], ha iniciado proyectos de cooperación con Ciudad del Saber convirtiéndola en un sitio de demostración de la efectividad de las medidas de control para agua de escorrentía. El parque automovilístico de Panamá se compone a la fecha de 1.2 millones de vehículos en circulación. Las consecuencias que esto trae para la calidad del aire y para la calidad de las aguas atmosféricas es un aspecto interesante a investigar. El Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotecnia (CIHH) ha elaborado un proyecto de colaboración internacional que está siendo sometido a evaluación en convocatorias nacionales. Con este proyecto se pretende medir la efectividad de estas medidas ingenieriles en nuestro entorno

tropical con un enfoque hacia la prevención del riesgo de inundaciones y a la mejora de la calidad del agua.

## 2.3 La situación de ambigüedad en un país con recursos hídricos en abundancia

En un mundo donde el clima tal y como lo conocíamos está cambiando, es necesario asegurar la disponibilidad del recurso en forma de agua potable y la sostenibilidad de un ciclo hidrológico. Panamá cuenta con una gran cantidad de agua, es el 5to país del mundo con mayor recurso hidrológico según las estadísticas del Banco Mundial [3]. Existen en el país 500 ríos, 350 en el Pacífico, y 150 en el Mar Caribe, 67 sistemas lacustres, insertados en 52 cuencas hidrográficas: 18 en la vertiente del Caribe y 34 en la vertiente del Pacífico.

El Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) [11] maneja 54 plantas potabilizadoras, en su mayoría con tomas en ríos y produce 437 millones de galones de agua potable por día. Esta cantidad de agua es suficiente para cubrir los requerimientos de 11,407,216 millones de personas, si trasladamos esta cifra al consumo de un panameño llegamos a la cifra de 365 litros diarios por persona [12].

Este escenario de aparente abundancia, está lejos de la realidad ya que el Organismo Operador produce el agua potable con pérdidas de casi un 50% por muchas y diferentes razones: la falta de una infraestructura adecuada, la falta de medidores calibrados, por rupturas en la red de distribución, mantenimiento ineficiente y un inexistente control de la calidad en la red de distribución. La figura 4 resume la situación en relación al agua de consumo en Panamá. Poco a poco, la población que cuenta con el recurso económico, migra hacia el uso de cisternas plásticas para asegurarse el suministro de agua. Sin embargo, estas cisternas continúan conectadas a la red y no aprovechan el agua lluvia. Los moradores de escasos recursos son suplidos por tanques cisternas del operador y almacenan agua en tanques de 55 galones y en botellas plásticas desechables. Ni las cisternas ni los tanques han sido evaluados y certificada su inocuidad. El material plástico muchas veces reutilizado, mezclado con pigmentos y aditivos va, por el uso continuo, descomponiéndose de manera imperceptible hasta convertirse en un posible peligro para la salud pública con un impacto socio económico no previsto a largo plazo.

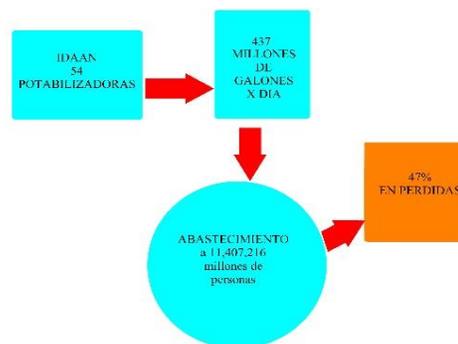


Figura 4. Producción de aguas potables y pérdidas del IDAAN.

## 2.4 El agua como bien público regional

El agua potable se produce a partir del agua cruda y es al mismo tiempo un recurso finito, sin embargo, es necesario actuar como región para mantener esta riqueza. De acuerdo a la definición del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) son bienes públicos regionales aquellos “Bienes, servicios o recursos que sean producidos y consumidos colectivamente por el sector público y, donde sea apropiado, por el sector privado sin fines de lucro...”[13]. El problema de la sequía es común a toda la región centroamericana al igual que el problema de la calidad del suministro de agua potable. Gracias a convocatorias como las del BID se puede buscar soluciones integrales a estos problemas agrupando “un mínimo de tres países miembros prestatarios del BID” para acceder al financiamiento.

## 3. Conclusiones y Recomendaciones

Las aguas atmosféricas no están reglamentadas aún en nuestro país. Por ahora el agua lluvia es un recurso gratuito y a la vez una molestia cuando se convierte en la causa de inundaciones. Los sistemas de captación de agua de lluvia están migrando de ser construcciones de cemento hacia otros materiales sin haber sido evaluados. Los polímeros plásticos se mezclan con aditivos, sustancias de bajo peso molecular que no se adhieren al polímero de forma estable. Consideramos por ello que el material de la cisterna plástica debe ser evaluado en cuanto a su seguridad alimentaria y la población debe ser consciente de que este tipo de almacenamiento requiere mantenimiento y de que se trata de materiales con una vida útil muy limitada.

Se observa que en el entorno urbano la mayoría de las iniciativas para emular un balance hídrico sostenible, provienen del sector privado. Es necesario promover la innovación tecnológica y la investigación aplicada desde la Academia en busca de mejores materiales para almacenamiento seguro del agua, crear sistemas filtrantes de bajo costo que puedan adaptarse fácilmente a la cisterna plástica pensando también en una alternativa para el entorno urbano y que se pueda captar agua de lluvia.

El Estado debe incentivar el uso de SCALL/MPC a través la creación de legislaciones verdes e incentivos para colecta de

agua de lluvia para diversos usos, por ejemplo, cambiando el esquema de tuberías y conexiones sanitarias para su uso en los baños domiciliarios.

Es necesario que el Estado incluya en sus estrategias y planes nacionales la implementación de SCALL/MPC para lograr mitigar los efectos del cambio climático.

Finalmente, el fortalecimiento de los Organismos Operadores del Agua, el mantenimiento de la red de distribución y la medición de la calidad en la red son imprescindibles para ofertar un servicio de calidad al cliente y esto es posible través de la promoción de redes regionales lideradas por la Academia para participación en convocatorias como la Convocatoria Anual del BID.

## Agradecimientos

La autora agradece a Daniel Nieto R. del Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, por el valioso apoyo técnico brindado en la adaptación de las figuras.

## Referencias

- [1] FAOWebsite[OnLine]  
[http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries\\_regions/americas/figures\\_ca\\_all\\_esp.pdf](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/americas/figures_ca_all_esp.pdf)
- [2] Miambiente, Atlas De Las Tierras Secas y Degradadas De Panamá. 2009
- [3] [http://www.academia.edu/293647/Manual\\_de\\_Construcci%C3%B3n\\_de\\_Reservorios\\_de\\_Agua\\_de\\_Lluvia](http://www.academia.edu/293647/Manual_de_Construcci%C3%B3n_de_Reservorios_de_Agua_de_Lluvia)
- [4] T. H. Hoban, A., and Wong, in WSUD resilience to Climate Change, 1st international Hydropolis Conference, 2006
- [5] Disponible en: <http://www.panamagbc.org/>, “Green Building Council”
- [6] Disponible en: <https://spanish.panama.usembassy.gov/serverdes.html>
- [7] Disponible en: <http://ciudadelsaber.org/es/sala-prensa/noticias/dormitorios-ciudad-saber-primer-edificio-leed-platinum-panama/1485>
- [8] Disponible en: <http://ciudadelsaber.org/es/sala-prensa/noticias/la-plaza-ciudad-delsaber-primer-edificio-cs-leed-gold-en-panama/1385>
- [9] Disponible en: <http://www.villanova.edu/villanova/engineering/research/centers/vcase/vusp1.html>
- [10] Disponible en: <http://www.villanova.edu/villanova/engineering/research/centers/vcas e.html>
- [11] Disponible en: <https://www.idaan.gob.pa>
- [12] Disponible en: [http://impresa.prensa.com/panorama/Fomenta-ahorroagua\\_0\\_4296320411](http://impresa.prensa.com/panorama/Fomenta-ahorroagua_0_4296320411)
- [13] IADB Website: 2803.html, Disponible en: <http://www.iadb.org/es/temas/Integración-regional/que-son-los-bienes-publicos-regionales>

## Investigadores hacen crecer células cerebrales en un chip

(Fuente: Researchers Grow Brain Cells on a Chip, by Emily Waltz, May 2017, IEEE Spectrum)



Un grupo de investigadores australianos han diseñado una estructura de nanocables para estudiar el desarrollo del proceso de conexión entre las neuronas del cerebro. La estructura basada en fosforo de indio y construida en un chip semiconductor, permite el crecimiento de células cerebrales y que éstas formen circuitos. Se espera que esto permita el estudio de las conexiones neuronales, lo cual resulta fundamental para entender cómo procesamos la información, y es clave para desarrollar tratamientos para los trastornos mentales. Una publicación reciente sobre el dispositivo aparece en la revista *Nano Letters*.

La estructura diseñada permitirá guiar el crecimiento de las neuronas y estudiar su conectividad, pero está muy lejos de ser un cerebro-en-un-chip como algunos podrían imaginar. Con esta investigación se tiene un avance significativo en cuanto al desafío de recrear los circuitos neuronales en el laboratorio, ya que con otros métodos, las células tienden a reconstruirse al azar y sufren de limitaciones experimentales que hacen que los circuitos no se parezcan en nada a lo real en el cerebro.

En el proyecto, los nanocables se organizaron en un patrón cuadrado de celosía, y se colocaron unas 50 células neuronales de roedores en cada andamio. Todo esto se colocó en un medio de cultivo y se observó el crecimiento de las células. Transcurrido un tiempo, las neuronas produjeron brotes llamados neuritas que se ramificaron a través del enrejado y parecieron conectarse con otras células a través de conexiones sinápticas. Algo muy interesante e importante de la investigación es que se observó que las neuritas de las células estaban alineadas con la estructura, lo que permite a los investigadores un cierto control, en lugar de tener un crecimiento aleatorio. Además, las células se conectaron en forma natural, y la actividad de comunicación entre ellas fue sincronizada, tal y como sería en el cerebro. El crecimiento de las células se monitoreó por medio de microscopía electrónica de barrido y se evaluó la comunicación entre las neuronas usando escaneo de calcio funcional. Además, se observó que las células crecieron mejor en andamios que

habían sido revestidos en una fina capa de lisina y laminina – sustancias que ayudan con la unión de las células. Todo lo anterior, hace de los andamios una buena plataforma para estudiar la biología de los circuitos neuronales.

Actualmente, el equipo investigador está optimizando los andamios para imitar mejor las señales físicas del cerebro y lo están utilizando para investigar los mecanismos implicados en la formación de circuitos neurales. Se espera que con el tiempo, la investigación conduzca al desarrollo de una prótesis cerebral que podría ser utilizada para restaurar la formación de circuitos neuronales después de una lesión o enfermedad.

## Tres formas en que los autos Ford podrían supervisar su salud

(Fuente: 3 Ways Ford Cars Could Monitor Your Health, by Eliza Strickland, May 2017, IEEE Spectrum)



La tendencia en el aumento del gasto en salud de los consumidores ha motivado a Ford a trabajar en las características de salud y confort de sus automóviles, con lo que esperan también lograr una ventaja competitiva en el mercado automotriz.

En el Centro de Investigación e Innovación de Ford en Aachen, Alemania se llevan a cabo experimentos en tres tipos diferentes de características de salud para los automóviles, llamados las tres Bs: *built-in*, *brought-in*, and *beamed-in* servicios.

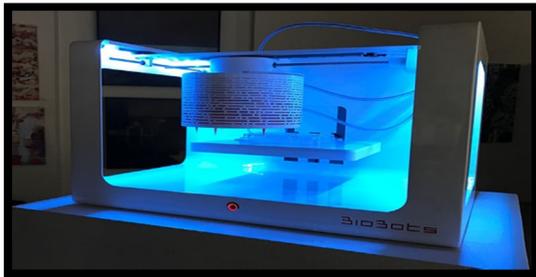
Ejemplos de estas tres características incluyen: i) Un monitor cardíaco sin contacto en el asiento del conductor que registra las señales del conductor a través de la ropa, y que permitiría una monitorización regular de personas con problemas cardíacos y que puedan usar aplicaciones para enviar los datos a su médico. ii) La proyección, en la pantalla del tablero de instrumentos del automóvil, de datos de algún monitor de glucosa que tenga el conductor o algún pasajero usando dispositivos portables y aplicaciones que se conecten al auto a través de Ford Sync. Esto facilita la visualización de los datos en forma más segura que tener que verlos en el teléfono. iii) Un control completo durante la conducción por medio de una conexión directa del automóvil

a Internet. Esta conectividad haría posible la telemedicina en el automóvil.

Además, se están haciendo pruebas con todo tipo de cámaras y sensores para medir de forma remota los signos vitales, como la temperatura, la respiración y la frecuencia cardíaca.

## Nueva bio-impresora hace más fácil fabricar carne y hueso 3D

(Fuente: New Bioprinter Makes It Easier to Fabricate 3D Flesh and Bone, by Eliza Strickland, May 2017, IEEE Spectrum)



Y. Shrike Zhang, experto en ingeniería de tejidos, indica que la bio-impresora 3D ideal se parecería a una máquina de pan, con unos botones en la parte superior, un repositorio para colocar capas complejas de células y otros materiales, y un botón para elegir el tejido del corazón o el tejido del hígado que se desea.

La tecnología aún no está allí, pero la nueva impresora BioBot 2 parece un paso en esa dirección. La impresora de sobremesa incluye un conjunto de nuevas características diseñadas para proporcionar a los usuarios un control fácil sobre el dispositivo, incluyendo: calibración automática; seis cabezales de impresión para extraer seis bio-tintas diferentes; colocación de materiales con precisión de 1 micrómetro en los ejes x, y, z; una interfaz de software basado en la nube de fácil manejo que gestiona el proceso de impresión de principio a fin. Después de que se imprima el tejido, el sistema puede utilizar cámaras y software de visión artificial para realizar análisis básicos como contar el número de células vivas versus células muertas, o medir la longitud de los axones en las neuronas impresas. Una característica interesante es que los controles de temperatura hacen que sea más fácil imprimir el colágeno, un componente principal del tejido conectivo y del hueso.

Es posible utilizar los seis cabezales de impresión para fabricar tejidos compuestos de seis materiales diferentes, o realizar experimentos de multiplexación que permitirían probar simultáneamente seis versiones diferentes de concentración de células.

Además, la impresora permite depositar materiales no sólo en una placa de Petri, sino también en una placa de cultivo celular con múltiples receptáculos pequeños, lo que facilitaría realizar multiplicidad de experimentos sencillos. Se

busca, a largo plazo, que la bio-impresora tenga la capacidad de imprimir una hoja de la piel para un paciente con quemaduras, o un injerto de hueso precisamente formado para alguien que ha tenido un accidente. Ya se tienen logros en esta dirección, pero solo a nivel de laboratorio.

En una visión futurística de ciencia ficción, será posible imprimir todos los órganos de reemplazo de un individuo, poniendo así fin a la escasez de órganos disponibles para el trasplante.

Por el momento, las bio-impresoras 3D ya se están aplicando en la investigación biomédica como, por ejemplo, para crear estructuras de órgano en un chip, que imitan la naturaleza esencial de órganos como corazones, hígados y vasos sanguíneos con capas de los tipos de células apropiadas establecidas en patrones cuidadosos. Estas pequeñas estructuras se pueden utilizar para la exploración de fármacos y la investigación médica básica.

## Investigadores diseñan un traje de entrenamiento que responde a la humedad

(Fuente: Researchers design moisture-responsive workout suit - Ventilating flaps lined with live cells open and close in response to an athlete's sweat, by Jennifer Chu, May 2017, MIT News)



Un equipo de investigadores del MIT que incluye especialistas en ingeniería mecánica, ingeniería química, arquitectura, ingeniería biológica y diseño de moda, han diseñado un traje de entrenamiento transpirable con aletas de ventilación que se abren y cierran en respuesta al calor del cuerpo y al sudor. Estas aletas están revestidas con células microbianas vivas que se contraen y se expanden en respuesta a los cambios de humedad. Las células actúan como diminutos sensores y actuadores, lo que hace que las aletas se abran cuando un atleta suda y las cierran cuando el cuerpo se enfría.

También se ha diseñado una zapatilla de correr con una capa interna de aletas similares para airear y reducir la humedad del calzado. Los detalles de ambos diseños han sido publicados en Science Advance.

Las células vivas utilizadas en tejidos receptivos, como láminas de látex, son sensibles a la humedad y no requieren

elementos adicionales para detectar y responder a la humedad; además, estas células microbianas son seguras al contacto e incluso si se consumen. Otra gran ventaja de estas células es que, con las nuevas herramientas de ingeniería genética, las mismas pueden prepararse rápidamente y en grandes cantidades, para que muestren múltiples funcionalidades además de la respuesta a la humedad, como por ejemplo, la fluorescencia o la liberación de olores.

En el futuro, los investigadores buscarán colaborar con empresas de ropa deportiva para comercializar sus diseños, y también están explorando otros usos, incluyendo cortinas, pantallas de lámparas y sábanas que responden a la humedad. También están pensando en un nuevo género de envasado sensible que brinde algún tipo de ventaja en el proceso de embalaje.

Esta investigación muestra la importante sinergia entre la ingeniería y los sistemas biológicos para diseñar nuevos materiales y dispositivos y lograr nuevas funcionalidades.

## Entrevista con la Ingeniera Min Chen CEO de REDOXIGEN

### Rolando A. Guittens

Instituto de Investigaciones Científicas y  
Servicios de Alta Tecnología (INDICASAT-AIP)  
rgittens@indicat.org.pa

Min nació en Guangzhou, capital de la provincia de Cantón de la República Popular de China. Sus padres decidieron migrar a Panamá en búsqueda de un mejor futuro a raíz del comunismo cuando ella tenía apenas cuatro años. Se establecieron en la Provincia de Colón en donde vivieron hasta que Min se graduó de Bachiller en Ciencias y Letras del Colegio La Salle-Margarita. Luego, se mudaron a la ciudad de Panamá, donde ella realizó sus estudios de Licenciatura en Ingeniería en Informática en la Universidad de Panamá con una beca del IFARHU. Desde que estudiaba su licenciatura, Min trabajó en diversas organizaciones, incluyendo *startups*, centros de investigación, multinacionales e instituciones gubernamentales. Su último empleo fue como consultora técnica para la región Latinoamericana en una empresa de Silicon Valley que ahora forma parte de Oracle.

Trabajar en diversas empresas y países, le creó muchas interrogantes sobre cómo ejecutar proyectos de software de forma exitosa. Esto la llevó a estudiar la Maestría en Ingeniería de Software en la Universidad Carnegie Mellon con una beca Fulbright en 2004.

En 2006, cuando regresó a Panamá luego de haber estudiado y trabajado en el extranjero, fundó su primera empresa, Alcenit Corporation, que asesora a organizaciones medianas y grandes en temas de gestión de tecnología e innovación.

En 2010, tomó la especialización en Gerencia de la Innovación en la Escuela de Negocios Haas de la Universidad de California en Berkeley, con una beca de SENACYT. Y en 2016, fundó su segunda empresa REDOXIGEN, INC., en donde desarrolla sus ideas para cerrar la brecha digital a la realidad a través de productos de software. Dentro de esta iniciativa, lanza Interfase, el primer juego de realidad

aumentada de Panamá que premia a los jugadores por incluir a los comercios del país en la era digital a través de este juego de ciencia ficción.



Los invito a conocer un poco más sobre esta gran emprendedora en el mundo tecnológico.

### ¿Cuándo nació tu interés por la tecnología y las ciencias? ¿Tuviste alguna figura inspiradora que te haya empujado por ese camino?

Desde niña me gustaban las matemáticas. Probablemente porque era la única materia que entendía en primer grado, ya que para entonces aún no sabía comunicarme en español. Sin embargo, creo que mi interés por las ciencias se debe principalmente a mis padres. Mi papá era ingeniero eléctrico-electrónico, con mucho conocimiento de mecánica, química, carpintería y soldadura. Hacía los muebles de la casa, reparaba todo e inventaba cosas nuevas. Para todo tenía una explicación lógica y lo llevaba a lo experimental para comprobarlo. Mi mamá tampoco se quedaba atrás. Ella me hacía juguetes con los materiales cotidianos, desde ropa para muñecas hasta casas hechas de madera. Me fascinaba el proceso de poder entender el mundo con la ciencia y llevar ideas a la realidad con la aplicación de conocimientos científicos.

Crecí en medio de equipos electrónicos pues mis padres tenían un taller de reparación. Me gustan mucho los videojuegos y era buena en eso. Incursioné en la computación con las clases de programación en el Colegio La Salle. Me fascinaba poder controlar la computadora a través de un lenguaje de programación. Era como aplicar matemáticas para codificar las actividades cotidianas en un lenguaje que entendiera la computadora. En ese momento pensaba que si podía programar todo, entonces se eliminarían los errores humanos (¡qué ideal!).

### ¿Qué tan complicada fue tu incursión en el emprendimiento tecnológico? ¿Cuál fue tu primer emprendimiento?

Los retos que he tenido a nivel profesional se han debido más al hecho de ser mujer. Cuando solamente laboraba como

ingeniera, no sentí ninguna desventaja. Mis colegas eran muy respetuosos y yo ganaba bastante bien como profesional. Fue cuando inicié como emprendedora que noté que el trato no era solo con base a la capacidad técnica, sino que el ser hombre o mujer influía en las decisiones de otros. Por suerte, esto está cambiando gracias las acciones tanto de hombres como mujeres para lograr equidad.

Con mi primer emprendimiento Alcenit Corporation, fundado en el 2006, me di cuenta que lo más difícil de emprender es enfrentarse a uno mismo. A pesar de que el ecosistema de emprendimiento en Panamá aún no está maduro y mucho menos hace 11 años, lo más difícil ha sido superar mis propias limitantes.

### ¿Existe un ambiente de emprendimiento en Panamá?

Ha mejorado en los últimos años, especialmente gracias al esfuerzo de emprendedores, organizaciones sin fines de lucro, educadores y entidades gubernamentales que impulsan este tema. Cuando inicié hace 11 años, no se hablaba de emprendimiento. Decíamos que éramos “independientes”, lo cual la gente interpretaba como “desempleado”. Aún no tenemos un ecosistema de emprendimiento maduro, pero por lo menos se habla del tema y decir que uno es emprendedor, es algo más glamoroso.

**El campo de las tecnologías de la información y la comunicación (TICs), como varios otros campos tecnológicos, es reconocido por su disparidad de género. Tu reputación como mujer emprendedora está ayudando a romper barreras e inspirar a muchas jóvenes estudiantes. ¿Cuál es tu mensaje para esas futuras emprendedoras y cuáles han sido los mayores retos en esa lucha por la equidad de género?**

Aún llaman a mi teléfono para hablar con el señor Min Chen. Cuando contesto “ella habla”, me preguntan si soy su asistente. Yo me río.

Mi mensaje a las emprendedoras o toda mujer es que trabajen como si esa disparidad no existiese. No usar esa disparidad como una excusa para no hacer, pues sería darle más fuerza a lo negativo. Crean en sí mismas, abran su propio camino porque si siguen el trazado por otro, solo llegarán adonde otros ya han llegado. En su camino encontrarán muchos hombres y mujeres que las apoyarán. Cada vez son más las personas que trabajan por una sociedad con más equidad, pero aún hay muchas cosas por hacer.



### ¿Qué temas dentro de las TICs ofrecen buenas oportunidades de emprendimiento en Panamá?

Más que un tema, considero que la oportunidad está en la necesidad. Un emprendimiento debe resolver un problema que afecte a muchos, más allá de la tecnología que se utilice. Mi recomendación es identificar un problema, buscar una solución para dicho problema, hacer un prototipo (mínimum viable product) para probar la viabilidad técnica y también la validación del producto en el mercado. De nada sirve tener un producto tecnológico que funcione a la perfección si el mercado no lo quiere usar.

# Análisis sobre la recurrencia de terremotos severos en Ecuador

Moncayo Theurer Marcelo<sup>1</sup>, Vargas Jiménez Julio<sup>2</sup>, Moncayo Velasco Guisella<sup>3</sup>, Barzola Zambrano Irma<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Profesor Titular, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas- Profesor de la Academia de Guerra Naval (Aguena); <sup>2</sup>Profesor Titular, Universidad de Guayaquil; <sup>3</sup>Universidad de Especialidad es Espíritu Santo UEES; <sup>4</sup>Profesor Titular, Universidad de Guayaquil<sup>4</sup>.

marcelo.moncayot@ug.edu.ec; guisvel@hotmail.com; solugran@gmail.com

**Resumen:** *La recurrencia es un concepto planteado a mediados del siglo veinte, se basa en que los terremotos o eventos sísmicos que ocurren volverán a ocurrir con características parecidas, después de un período al que se le llama período de retorno o de recurrencia.*

*En este trabajo se exponen argumentos para determinar si es válido medir la recurrencia de los sismos y si existe un sustento técnico para considerar este período de retorno como válido.*

*Se han determinado períodos de retorno para muchos sismos en el mundo, en este trabajo, y basados en el comportamiento sísmico histórico y a la teoría de la energía liberada (MEL), se plantea períodos de retorno o de recurrencia para los sismos más severos en el Ecuador.*

**Palabras Claves:** Ley de recurrencia, terremoto, riesgo sísmico, magnitud Richter, Ecuador.

**Title:** Analysis and definitions on the recurrence of earthquakes in Ecuador.

**Abstract:** Recurrence is a concept raised in the mid-twentieth century, based on the occurrence of earthquakes or seismic events that occur again with similar characteristics, after a period called a period of return or recurrence.

This paper presents arguments to determine if it is valid to measure the recurrence of earthquakes and if there is a technical support to consider this period of return as valid.

Periods of return have been determined for many earthquakes in the world in this work, and based on historical seismic behavior and the theory of liberated energy (MEL). At the end, there have been determined periods of return or recurrence for the most severe earthquakes in the Ecuador.

**Keywords:** Law of recurrence, earthquake, seismic risk, magnitude Richter, Ecuador.

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 15 de marzo de 2017

Fecha de aceptación: 16 de junio de 2017

## 1. Introducción

En sísmica, el término recurrencia fue acuñado por el norteamericano Charles Richter y el alemán Beno Gutenberg. En 1958 estos sismólogos relacionaron, a través de una fórmula, la frecuencia con que se repite un sismo y su nivel de magnitud.

Recurrencia proviene del término de raíz latina "recurrere", que significa: "volver a correr para pedir ayuda". La palabra se descompone en el prefijo "re" que significa reiteración y "currere" que significa correr (Etimologías de Chile, 2017), por ello la palabra recurrencia indica una situación que vuelve a ocurrir.

El Diccionario de la Real Academia de la Lengua determina que recurrente significa "un proceso que vuelve a ocurrir o a aparecer, especialmente después de un intervalo (RAE 2017).

En el análisis de riesgo sísmico se pueden utilizar métodos deterministas y probabilistas, "Los métodos deterministas requieren tan solo de la determinación de un sismo máximo o el llamado terremoto característico o esperado, mientras que los métodos probabilistas necesitan la estimación previa de leyes de recurrencia en cada falla o zona sismogénica" (Belén et al., 1988).

La fórmula de Gutenberg y Richter nos ayuda a determinar el sismo esperado para un número de años estimado de retorno, por ello se considera esta fórmula como un paso en el método determinístico.

Debido a que los terremotos más pequeños son siempre más frecuentes que los terremotos de mayor magnitud (Belén et al., 1988), se espera que los sismos de alta magnitud se repitan poco a diferencia de los de baja magnitud que se repiten con mayor frecuencia.

Beno Gutenberg y Charles Richter plantearon la ecuación que define la recurrencia de los sismos de la siguiente forma:

$$\text{Log } N = a - b * M \quad (1)$$

donde:

**N:** representa la recurrencia sísmica anual para terremotos de magnitudes Richter mayores a M.

**a, b:** son coeficientes que representan las condiciones sísmicas del lugar.

La figura 1 muestra la curva de la ley de recurrencia, evaluada para a=3 y b=0.2, coeficientes que corresponde a un ejemplo del caso ecuatoriano, el resultado indica que se producirán por ejemplo unos 150 sismos de grado 4 en magnitud Richter cada año o

también 400 sismos de grado 2. Se observa que mientras mayor es la magnitud menor es el número de veces en que el evento se repite.



Figura 1. Aplicación de la ley de Recurrencia con  $a = 3$  y  $b=0.2$ . Fuente: Moncayo 2017.

## 2. Argumentos que sustentan el comportamiento recurrente de los sismos

Los terremotos ocurren cuando, de forma súbita, se libera energía sísmica de deformación contenida en los contactos de placas tectónicas o en las caras de una falla geológica activa.

Esta energía de deformación se acumula año tras año con el movimiento de las placas tectónicas las mismas que según estudios se mueven varios centímetros al año. En el caso de Ecuador un estudio realizado en el 2012 demostró que la costa ecuatoriana, que se encuentra sobre la placa sudamericana, se mueve a razón de 2 cm al año en dirección norte y que las islas Galápagos, que se encuentran sobre la placa de Nazca, se mueve 5 cm al año en dirección al continente (Cisneros et al. 2012).

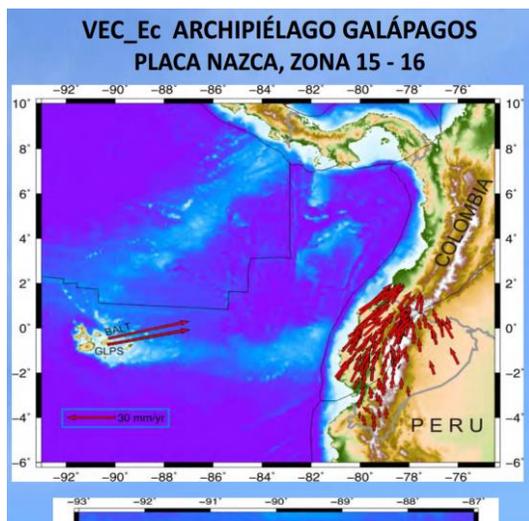


Figura 2. Movimiento de las placas tectónicas en Ecuador. Fuente: Moncayo 2017 (Cisneros et al. 2012).

La energía sísmica se acumula y también se libera donde existen contactos de placas, o fallas geológicas y en sus cercanías.

A nivel planetario se conoce el Cinturón de Fuego o Anillo de Fuego, que es una franja del borde costero que rodea en su totalidad al Océano Pacífico, esta franja tiene 40.000km de longitud, posee 482 volcanes activos y además libera el 90% de la energía sísmica del planeta (Ecured, 2015).

El movimiento de las placas tectónicas no se detiene, por ello la región en análisis esta perennemente acumulando energía de deformación, debido a que las placas y fallas están moviéndose unas con respecto de las otras.

El movimiento de las placas tectónicas es perenne pero no constante (ver figura 3), pero para propósitos prácticos, en este análisis, lo vamos a considerar constante.

Por ejemplo, una placa tectónica que se mueve 5 cm al año, en 100 años acumulará 5 metros de energía de deformación relativa, en ciertos casos, como en Ecuador las placas tectónicas en contacto se mueven una en contra de la otra, lo que vuelve la situación más crítica.

Como el movimiento de las placas es perenne, el proceso de acumulación de energía sísmica también, por ello debe considerar que una zona que es sísmicamente activa tiene dos estados, el estado de reactivación sísmica en el cual se encuentra liberando energía donde se producen fuertes sismos y el estado de tranquilidad sísmica en el que se acumula energía de deformación, donde los eventos sísmicos son escasos.

De la comprensión de este proceso de reactivación y tranquilidad sísmica y de la acumulación de energía de deformación se infiere que el proceso es cíclico y que tiene sus periodos de recurrencia.

### 2.1 La capacidad de asimilación de energía de las rocas

El momento en que la energía sísmica contenida se libera es llamado terremoto y esto ocurre cuando el material que constituye las caras de las fallas geológicas o contacto de placas, llega a su máxima capacidad.

Este material de roca llega al colapso cuando la energía de deformación acumulada en la roca supera la capacidad de resistencia del material, momento en el que la roca falla y se inicia la liberación de energía.

A pesar de la heterogeneidad de los materiales de suelos y rocas, las características generales de la roca se mantienen en el sitio antes y después del sismo por lo que no habrá diferencia entre las capacidades de asimilación de energía en la roca que se encontraba antes del sismo y las capacidades de asimilación de la roca después del sismo.

Ya que la cantidad de energía acumulada depende de la capacidad que tiene la roca de guardar energía, se puede inferir que la misma capacidad de acumulación se

mantiene en el sitio, antes y después de un sismo, por lo que, si una región generó un sismo de grado 8, tarde o temprano un sismo de iguales características volverá a ocurrir.

En el caso de que apareciera, en el contacto de las caras de la falla un material de menor capacidad de acumulación de energía entonces el sismo de grado 8 podría ocurrir antes, a través de varios sismos de menor magnitud, sin embargo, en la mayoría de los casos, la variabilidad a considerarse en el caso sísmico, en la capacidad de acumulación de energía de las rocas, es pequeña. Hay que recordar que para liberar la energía correspondiente a un sismo de 8 grados, deberán ocurrir 32 sismos de grado 7, lo que es bastante improbable. Este desarrollo lógico muestra que el sismo de grado 8 volverá a ocurrir con las mismas características después de un lapso, por lo que la recurrencia es un hecho sustentado.

## 2.2 Comportamiento sísmico histórico del Ecuador analizado a través de energía liberada

Otro factor a analizarse es la energía liberada en el siglo pasado, se puede asumir que la forma en que la energía se liberó es un patrón aceptable para entender la forma en que la energía se acumuló en la roca.

Para este análisis utilizaremos el método de la Energía Sísmica Liberada (MEL), el cual cuantifica la forma en que la energía sísmica de deformación se libera a lo largo de los años.

Este es un método que ha mostrado eficiencia para lograr entender el comportamiento sísmico histórico de una región y es una manera de determinar períodos de recurrencia de eventos telúricos reales.

Lo primero que se puede determinar de la figura 3 es que la energía que se libera en una región, no es constante, tiene altibajos, en ciertas décadas sube, luego descansa por un tiempo y vuelve a repuntar. Las etapas en que se libera mayor cantidad de energía se



Figura 3. Energía Sísmica Liberada en Ecuador desde 1900 hasta el 2017 por Década. (Moncayo, 2017).

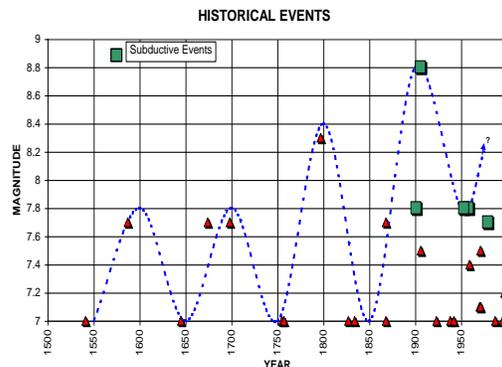


Figura 4. Etapas de reactivación Sísmica en Ecuador desde el año 1650, (Moncayo, 2000).

las conoce como “Etapa de reactivación sísmica” y las etapas donde esta liberación se reduce se las conoce como “Etapa de tranquilidad sísmica”.

En Ecuador se determinó, que el siglo pasado, hubo dos etapas bien marcadas de reactivación sísmica y este comportamiento se ha mantenido por cinco siglos (ver figura 4).

La figura 3 muestra el comportamiento sísmico del Ecuador desde 1900 hasta el 2017, se observa que la liberación de energía es más intensa en el período 1900-1910, 1940-1950, 1970-1980 y en el período actual 2000-2020. Al producirse un pico máximo de liberación se consideran estas etapas como de reactivación sísmica.

A través del Método de la Energía Liberada (MEL), se determinó en el año 2000 que el Ecuador entraría en un proceso de reactivación sísmica que intensificaría la actividad sísmica (Moncayo 2000), lo que precisamente sufre el Ecuador actualmente.

Este proceso matemático prospectivo, al que le hemos llamado Método de la Energía Liberada (MEL), no considera la magnitud Richter como elemento de análisis, sino que cuantifica y analiza la energía sísmica liberada recordando que Richter propuso una ecuación que relaciona ambos conceptos.

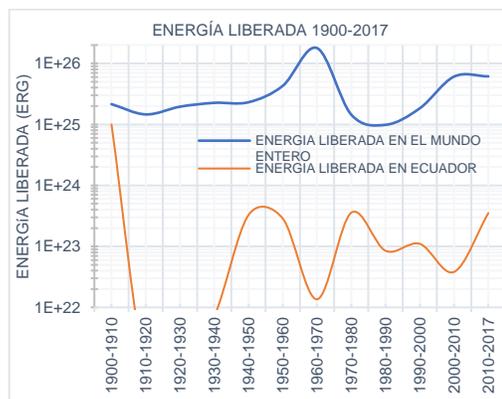


Figura 5. Comparación de la energía liberada en el Educador y en el mundo desde 1901, (Moncayo, 2017).

Este método permite que se construyan las curvas de liberación de energía con respecto al tiempo, pudiendo determinar cómo ha sido el comportamiento histórico de la región y con ello proyectarlo al futuro.

El gráfico de la figura 3 se ha logrado determinar el período de recurrencia de las reactivaciones sísmicas en Ecuador, que aproximadamente ocurren 1 reactivación cada 50 años, pero el gráfico muestra también como la reactivación del año 1900-1910 fue mucho más poderosa que la de los años 1940-1950. La actual reactivación sísmica que empezó en el año 2000 ya ha llegado al nivel de los años 40, pero existe la posibilidad que llegue a los niveles alcanzados en los años 1900.

La reactivación sísmica de los años 1900 – 1910 incluyó un terremoto de 8.8 en la provincia de Esmeraldas, lo que provocó una liberación de energía del nivel de  $1.0 \text{ E}+25$  ergios.

De acuerdo a los datos analizados la reactivación sísmica actual no ha terminado y se considera que se encuentra en su apogeo.

En la figura 5 se puede observar que la energía liberada en el mundo tampoco es constante, sino que también tiene etapas de reactivación sísmica.

Además, si a través del estudio de la base de datos sísmica (USGS, 2017), podemos determinar que una zona provocó dos terremotos con igual magnitud y profundidad y cuyos epicentros son muy cercanos, se determinaría que se ha cumplido con un periodo de recurrencia y podría calcularse el número de años que duró el período.

Considerando que la energía sísmica continúa acumulándose y que una forma de visualizarla sería la figura 3, donde se observa la energía liberada en Ecuador desde los años 1900, que los materiales rocosos que ya provocaron en el pasado sismos de grado 7.2, 7.8 y 8.8 continúan allí y están guardando energía de deformación año tras año, se determina que en Ecuador se están produciendo eventos de manera recurrente.

En este trabajo, luego del análisis de la base de datos sísmica mundial se determinó que el siglo pasado, en Ecuador, se han producido, en varias zonas sismogénicas, terremotos que cumplen con las características indicadas anteriormente, se ha identificado que estos sismos han presentado su recurrencia por lo que se puede determinar el período.

### 3. Recurrencia de terremotos en Ecuador

Gutenberg y Richter propusieron el criterio teórico de la recurrencia de los sismos, en los párrafos anteriores se han propuesto las bases técnicas para sustentar que la recurrencia es un criterio cierto, por lo que es viable calcular el período de recurrencia de una etapa de reactivación sísmica o de un evento en particular.

El Método de la Energía Liberada (MEL), ha mostrado mucha eficiencia en determinar el período de recurrencia de las reactivaciones sísmicas en Ecuador.

En Ecuador, existen varias fuentes sismogénicas severas, las mismas que vamos a mencionar en los siguientes párrafos para las cuales determinaremos la existencia de periodos de recurrencia, de acuerdo a lo registrado en los datos sísmico-históricos.

#### 3.1 Recurrencia del terremoto de Bahía de Caráquez

En 1998, ocurrió un sismo severo de magnitud Richter de 7.2 grados, que destruyó la infraestructura de una ciudad llamada Bahía de Caráquez, en la provincia de Manabí, el evento ocurrió el 4 de agosto y tuvo una profundidad de 33km. El epicentro se ubicó en 0.593S y 80.393W.

A 20km de distancia de este epicentro ocurrió en 1956, el 16 de enero, un sismo de 7.0 grados en escala Richter con una profundidad de 20km. (ver figura 6 y tabla 1).

Dos sismos de aproximadamente la misma magnitud, la misma profundidad hipocentral y cuyos epicentros se separan apenas por 20km, se considera que en esta fuente sismogénica se ha registrado la recurrencia de este sismo.

El período de recurrencia para este sismo es de 42 años, lo que indicaría que matemáticamente volvería a ocurrir en el año 2040.

#### 3.2 Recurrencia del terremoto de Pedernales

En el 2016, ocurrió un sismo muy severo de magnitud Richter de 7.8 grados, que destruyó la infraestructura de casi toda la provincia de Manabí y parte de la provincia de Esmeraldas, inclusive en la ciudad Guayaquil (a 350Km de distancia epicentral), colapsó un viaducto.

Este evento ocurrió el 16 de abril y tuvo una profundidad de 21km (USGS 2017). El epicentro se ubicó en 0.025°S y 79.955°O.

A 45km de distancia de este epicentro ocurrió en 1942, el 14 de mayo un sismo de 7.8 grados en escala Richter con una profundidad de 20km. (ver figura 6 y tabla 1).

Dos sismos de aproximadamente la misma magnitud, la misma profundidad hipocentral y cuyos epicentros se separan apenas por 45km, se considera que en esta fuente sismogénica se ha registrado la recurrencia de este sismo.

De acuerdo al análisis de recurrencia mostrado, el periodo de recurrencia para este sismo sería de 74 años, lo que indicaría que matemáticamente volvería a ocurrir en el año 2090. (Moncayo 2014, Moncayo 2006).

Tabla 1. Ubicación epicentral y magnitud de terremotos mayores a 7 en Ecuador desde 1900 hasta el 2017 que muestran indicios de recurrencia. (USGS, 2017)

TERREMOTOS MAYORES A 7 GRADOS DESDE 1900 HASTA EL 2017 QUE MUESTRAN INDICIOS DE RECURRENCIA						
FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROFUNDIDAD (Km)	MAGNITUD	EPICENTRO
14/5/1942	02:13:27.000Z	-0.025	-79.955	20	7.8	TERREMOTO DE PEDERNALES DE 1942
16/4/2016	23:58:36.980Z	0.3819	-79.9218	20.59	7.8	TERREMOTO DE PEDERNALES DEL 2016
16/1/1956	23:37:45.000Z	-0.727	-80.213	20	7	TERREMOTO DE BAHÍA DE CARAQUEZ EN 1956
4/8/1998	18:59:20.100Z	-0.593	-80.393	33	7.2	TERREMOTO DE BAHÍA DE CARAQUEZ EN 1998
31/1/1906	15:36:10.000Z	0.955	-79.369	20	8.8	GRAN TERREMOTO DE ESMERALDAS EN 1906
19/1/1958	14:07:28.000Z	1.011	-79.489	27.5	7.6	TERREMOTO DE ESMERALDAS DE 1958
12/12/1953	17:31:29.000Z	-3.552	-80.636	25	7.3	TERREMOTO DE TUMBES DE 1953
10/12/1970	04:34:41.000Z	-4.026	-80.542	25	7.2	TERREMOTO DE TUMBES DE 1970
27/7/1971	02:02:49.000Z	-2.839	-77.322	120	7.4	SISMO DE MORONA SANTIAGO 1971
3/10/1995	01:51:23.900Z	-2.75	-77.881	24.4	7	SISMO DE MORONA SANTIAGO 1995

### 3.3 Recurrencia del gran terremoto de Esmeraldas

En 1906, ocurrió un terremoto gigantesco de magnitud Richter de 8.8 grados. Existía poca población en esa época en la provincia de Esmeraldas, pero la potencia del sismo debió ser descomunal, el evento ocurrió el 31 de enero y tuvo una profundidad de 20km. El epicentro se ubicó en 1.011°N y 79.489°O.

A 15km de distancia de este epicentro, ocurrió otro sismo en 1958, el 19 de enero, que tuvo 7.6 grados en escala Richter con una profundidad de 27km (USGS 2017).

Dos sismos de gran magnitud, la misma profundidad hipocentral y cuyos epicentros se separan apenas por 16km, se podría considerar que en esta fuente sismogénica se ha registrado la recurrencia de este sismo.

El período de recurrencia para este sismo sería de 52 años, lo que indicaría que matemáticamente este sismo debió volver a ocurrir en el 2010. El que no haya ocurrido muestra el nivel de riesgo sísmico que experimenta esa región. (ver figura 6 y tabla 1).



Figura 6. Recurrencia del terremoto de Bahía de Caráquez, Pedernales y gran terremoto de Esmeraldas con periodos de recurrencia de 42, 74 y 52 y magnitudes de 7.2, 7.8, 7.6-8.8 respectivamente.

### 4. Conclusiones

La tabla 1 muestra la ubicación, magnitud y profundidad de los sismos mayores a 7 grados que ha sufrido Ecuador desde 1900 hasta el 2017 y que muestran indicios de comportamiento recurrente.

La ley de recurrencia planteada por Richter determina el número de veces en que se repetirá un sismo en un período de tiempo en función de su magnitud.

Debido a que el movimiento de las placas es perenne y que los materiales rocosos continúan acumulando energía en el mismo sitio, se concluye que el concepto de recurrencia es sustentable.

Si ocurren dos sismos de las mismas características (magnitud, profundidad, y ubicación del epicentro) en diferentes años, se puede considerar que se ha registrado la recurrencia del sismo y se puede calcular el período.

El terremoto de Bahía de Caráquez fue un sismo de magnitud 7.2 en escala Richter que tiene un período de recurrencia de 42 años, por lo que, de acuerdo a este análisis, se volvería a presentar aproximadamente en el año 2040.

El terremoto de Pedernales es un sismo de magnitud 7.8 en escala Richter que tiene un período de recurrencia de 74 años, por lo que, de acuerdo al análisis, se volvería a presentar aproximadamente en el año 2090.

El terremoto de Pedernales es un sismo de magnitud 7.6 - 8.8 en escala Richter que tiene un período de recurrencia de 52 años.

Este terremoto debió ocurrir de nuevo en el año 2010. Como resultado de este análisis se determina el alto riesgo que tiene la provincia de Esmeraldas de que ocurra un sismo de magnitud parecida a las dos recurrencias del pasado.

Otro indicio importante de muestra en la figura 3, en la cual se observa que la energía liberada desde el año 2000 hasta el 2017 va en incremento, demostrando la etapa de reactivación sísmica que se diagnosticó

(Moncayo, 2000), pero el nivel de reactivación ha alcanzado  $1 \times 10^{23}$  Ergios, el mismo nivel de la reactivación sísmica de los años 1940-1950, existe la posibilidad y hay indicios para plantear que la etapa actual de reactivación sísmica pudiera ser más alta, considerando que la etapa de reactivación de 1900-1910 liberó  $1 \times 10^{25}$ , es decir 100 veces más energía que la etapa actual.

## Referencias

- [1] Richter y Gutenberg 1958 – “Ley de Gutenberg-Richter”, Wikipedia, disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_Gutenberg-Richter](https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Gutenberg-Richter)
- [2] USGS 2017, United States Geological Survey – Latest Earthquakes. Disponible en: [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)
- [3] Belén, Jiménez 1988, “Peligrosidad Sísmica”, Asociación Latin Geo, Universidad Politécnica de Madrid.
- [4] Cisneros Vavid, Nocquet Jean. (2012). Campo de Velocidades del Ecuador VEC\_Ec. 2017, de Instituto Geográfico Militar Sitio web: [http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol17/Cisneros\\_Nocquet\\_Campo\\_velocidades\\_Ecuador.pdf](http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol17/Cisneros_Nocquet_Campo_velocidades_Ecuador.pdf)
- [5] ECURED. (2015). Cinturón de fuego del Pacífico. 2017, de Ecured Sitio web: [https://www.ecured.cu/Cintur%C3%B3n\\_de\\_fuego\\_del\\_Pac%C3%ADfco](https://www.ecured.cu/Cintur%C3%B3n_de_fuego_del_Pac%C3%ADfco)
- [6] Etimologías de Chile 2017, Diccionario etimológico español en línea, disponible en: <http://etimologias.dechile.net/?recurrir>
- [7] RAE 2017, Diccionario de la Real Academia de la Lengua (RAE), recurrente, disponible en: <http://dle.rae.es/?id=VXdBgGD>
- [8] Moncayo 2000, DIARIO EL UNIVERSO, 11 DE octubre del 2000, REPORTAJE, “MONCAYO: INICIO DE LA REACTIVACIÓN SÍSMICA”.
- [9] Moncayo 2006, DIARIO EL UNIVERSO, 20 DE AGOSTO DEL 2006, REPORTAJE, “SUS ERUPCIONES DURAN HASTA 10 AÑOS, YA VAN SIETE”, disponible en: <http://www.eluniverso.com/2006/08/20/0001/12/EBB96B8EF96343E8A528F92832293103.html>
- [10] Moncayo 2014, “Hay una reactivación sísmica”, 19/04/2014, Disponible en: <http://marcelomoncayo.blogspot.com/2014/04/Hay-una-reactivacion-sismica-april-7.html>

# Propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras metálicas

Karen E. Caballero M.

Facultad de Ingeniería civil, Universidad Tecnológica de Panamá,  
karen.caballero@utp.ac.pa

**Resumen:** El concreto es uno de los materiales que más se utiliza en la industria de la construcción, por ende, cada vez son más los estudios que se le realizan para mejorar sus propiedades tanto químicas como mecánicas. Éste último se diferencia en que al agregar adiciones a la masa del concreto, podemos mejorar tanto la capacidad resistente como de deformación. Es por ello que la introducción de las fibras metálicas, ha hecho un gran aporte al concreto mejorando la capacidad deformable en soportes que están sometidos a esfuerzos importantes.

**Palabras claves:** fibras metálicas, concreto reforzado, tenacidad, deformación, tracción.

**Title:** Study of the mechanical properties of concrete reinforced with metal fibers.

**Abstract:** Concrete is one of the materials that is most used in the construction industry, therefore, more and more studies are being done to improve its properties, both chemical and mechanical. The latter differs in that adding additions to the mass of the concrete, we can improve both strength and deformation capacity. It is for this reason that the introduction of the metal fibers has made a great contribution to the concrete by improving the deformable capacity in supports that are subjected under important stresses.

**Keywords:** metal fibers, reinforced concrete, toughness, deformation, traction.

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 21 de junio de 2016

Fecha de aceptación: 3 de julio de 2017

## 1. Introducción

En los últimos años se ha incrementado el uso de diferentes tipos de concretos que buscan obtener una mayor resistencia a tracción y una mejor durabilidad. Esto se debe a que el empleo del concreto como material presenta una baja resistencia a la tracción y una gran fragilidad.

Para los concretos de alta resistencia por ejemplo, una posible alternativa a esta fragilidad es el uso del concreto con fibras de acero (figura 1). Es por ello por lo que en el presente estudio, se analizan las propiedades que aportan las fibras metálicas en la masa del concreto y la mejora en la capacidad tanto resistente como de deformación.

Tal y como indica la normativa americana ACI 116R-2000 [1], el concreto reforzado con fibras es un conglomerado



Figura 1. Fibras metálicas [12].

hidráulico, generalmente de cemento Portland, áridos finos y gruesos, agua y la adición de fibras discontinuas y discretas.

Por otro lado, la adición de fibras de acero al concreto proporciona las siguientes características [11]:

- Las fibras de acero cosen las fisuras del concreto formando un puente entre los áridos gruesos, permitiendo una formación controlada de las fisuras, y llevando al concreto a un comportamiento dúctil después de la fisuración inicial, evitando así la fractura frágil.
- Mejoran la resistencia a tracción, flexión y corte, produciendo un aumento de la capacidad portante.
- Proporcionan una capacidad adicional de resistencia, debido a la redistribución del momento plástico en caso de solicitaciones localizadas.

En los estudios recientes indican que el concreto reforzado con fibras de acero aporta mayores beneficios en cuanto a la capacidad de deformación en soportes; tanto para concreto normal como para concreto de alta resistencia (e.g., [20], [19], [28], [23]). Estos estudios muestran las típicas ecuaciones constitutivas tensión – deformación del concreto en compresión, donde la inclusión de fibras de acero en su masa supone un apreciable incremento en la deformación correspondiente a la tensión pico y un substancial incremento de la tenacidad; lo que refleja un leve incremento en la capacidad resistente. La resistencia a la tracción presenta ventajas especialmente después de producirse las primeras fisuras, alcanzándose valores altos de resistencia residual. Es decir, se produce un incremento de la energía total que absorbe el material antes de alcanzar la rotura.

También se ha demostrado que la presencia de fibras de acero, retrasa el salto del recubrimiento del concreto e incrementa la capacidad de deformación, y la ductilidad en columnas de concreto sometidas a compresión simple o a esfuerzos combinados de axil y excentricidad constante. (e.g., [21], [6], [14], [29], [11]).

Por otra parte, una posible ventaja del uso de fibras metálicas en la masa del concreto en combinación con la armadura transversal es la reducción de la cuantía de armadura requerida por los códigos de diseño (e.g., [30], [11]). Sin embargo, las expresiones propuestas por los códigos no tienen en cuenta este efecto favorable de las fibras de acero (e.g., [18], [2]).

## 2. Materiales y proporciones

Los componentes materiales que se utilizan para la fabricación del concreto reforzado con fibras de acero son los mismos que se utilizan para el concreto convencional, lo que diferencia es la adición de la propia fibra metálica y el uso de un aditivo súper plastificante, para mejorar la trabajabilidad y ayudar a redistribuir las fibras en la masa del concreto.

Igualmente, se ha observado que para mejorar la eficacia de las fibras metálicas; la relación entre el tamaño máximo del árido grueso y la longitud de las fibras es importante, según [7], las fibras deberán envolver al árido. Los estudios indican que los resultados óptimos se consiguen cuando el tamaño máximo del árido es aproximadamente igual a la mitad de la longitud de la fibra [22]. Sin embargo, el tamaño máximo de árido grueso empleado no debe ser superior a 20mm [4]. También es importante señalar que en las investigaciones realizadas, el porcentaje de fibras máximo en base al volumen de concreto, ha sido de 3% aproximadamente; y esto se debe a la densidad que aporta dichas fibras a la masa del concreto, ya que durante su fabricación, se debe tener especial cuidado a la hora de tener una masa homogénea y fácil en su colocación [12].

Por otro lado, en la fabricación del concreto reforzado con fibras metálicas, se sugiere que el porcentaje de árido fino debe incrementarse respecto del concreto convencional; aumentando la relación *árido fino/árido grueso*.

La incorporación de las adiciones provoca una mejora de la impermeabilidad del concreto y por tanto su durabilidad; aumenta la cohesión del material y en consecuencia, también se incrementa la adherencia fibra - matriz, disminuyendo el riesgo de segregación [7].

En la tabla 1 se muestra el rango de proporciones según el tamaño máximo de árido [25], para la fabricación de un concreto reforzado con fibras metálicas, este rango coincide con la recomendación de la normativa [3].

Tabla 1. Rango de proporciones de componentes para la fabricación de concreto con fibras metálicas [25]

Componentes de mezcla		Tamaño máximo de árido (mm)		
		10	20	40
Cemento		350-600	300-530	280-415
Agua/Cemento		0.35-0.45	0.35-0.50	0.35-0.55
Porcentaje de árido fino grueso		45-60	45-55	40-55
Porcentaje del contenido de aire		4-8	4-6	4-5
Porcentaje del contenido de fibras	Fibras deformadas	0.4-1.0	0.3-0.8	0.2-0.7
	Fibras lisas	0.8-2.0	0.6-1.6	0.4-1.4

## 3. Propiedades mecánicas

La calidad de un concreto se define por sus propiedades mecánicas y por su durabilidad. A continuación se describen brevemente las características principales:

### 3.1 Resistencia a la tracción

Existen ensayos experimentales que caracterizan este parámetro. Para el ensayo de flexotracción, según la Norma [36], se fabrican probetas prismáticas de 300x300x600 (en mm); midiéndose principalmente la resistencia a la primera

fisura, la resistencia máxima y la resistencia residual. El incremento de la resistencia a la primera fisura es mínimo, y depende principalmente de la matriz, pero muy poco del contenido de fibras, de su tamaño y de las formas de ésta, y del tipo de aditivo que se emplee.

La adición de fibras metálicas, tiene como objetivo incrementar la capacidad de resistencia a tracción del concreto tras la fisuración. Al producirse las fisuras en la sección, las fibras trabajan como una costura por lo que se incrementa la capacidad de absorción de energía (Ver figura 2). Este comportamiento genera que las fibras aumenten su resistencia a la adherencia y que puedan actuar en parte, como un armado transversal.

Cabe mencionar que el aporte que realiza la adición de fibras metálicas en las expresiones de la literatura técnica, lo define como el índice de cuantía volumétrica de fibras metálicas  $RI_v = v_f \cdot L_f / \phi_f$ , donde  $v_f$  es el porcentaje en volumen de fibras, y  $L_f / \phi_f$  es la longitud y el diámetro de las fibras respectivamente.

La instrucción española [17] en el Anejo 14 sección 39.4; recoge recomendaciones específicas para el uso del concreto reforzado con fibras metálicas. No detalla el tipo de fibra, siempre que se trate de fibras estructurales.

En dicha norma se presentan dos diagramas de tensión-deformación, un diagrama rectangular (figura 3) y un diagrama multilíneal (figura 4), cuya aplicación dependerá de la situación a tratar. En el caso de cálculo en rotura (ELU) se aplica de manera general el diagrama rectangular y para casos particulares que requieran más precisión; como en el caso de pequeñas deformaciones en servicio (ELS), se utiliza el modelo simplificado bilineal (definidos por los puntos A-C-D-E). Este diagrama con la resistencia adicional que proporciona el pico A-B-C permite una mejor aproximación y mayor precisión. El diagrama de tensión ( $\sigma$ ) - deformación ( $\epsilon$ ) de la figura 4 está definido por la resistencia a tracción de cálculo  $f_{ctd}$  y las resistencias residuales a tracción de cálculo  $f_{ctR1,d}$  y  $f_{ctR3,d}$  asociadas a las deformaciones  $\epsilon_1$  y  $\epsilon_2$  en el rango de postpico.

Por otra parte, la normativa americana ACI 544.4R-1999 [5]; propone una expresión para obtener la resistencia a tracción en función de las características geométricas y mecánicas de las fibras (1).

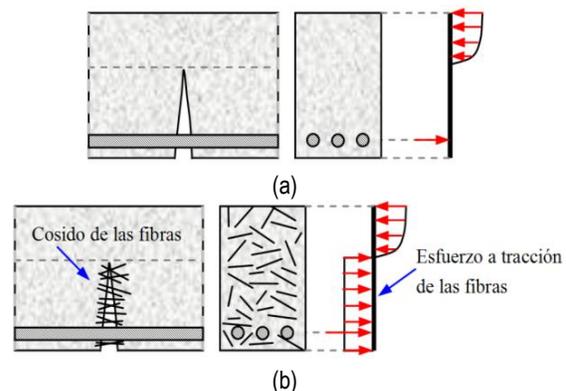


Figura 2. Distribución de tensiones [12]: (a) Concreto armado sin fibras de acero, (b) Concreto armado reforzado con fibras de acero.

$$\sigma_{cf} = 0.843f_m V_m + 425V_f / d_f \quad (1)$$

(Sistema inglés, Lb/plg<sup>2</sup>)

donde:

- $\sigma_{cf}$  resistencia a tracción de la primera fisura,
- $f_r$  esfuerzo a tracción (módulo de ruptura del mortero de concreto), se conoce también como  $f_L$ ,
- $V_m$  volumen en fracción del concreto =  $1 - V_f$ ,
- $V_f$  volumen de la fracción de fibras =  $1 - V_m$ ,
- $l/d_f$  relación de la longitud y diámetro de la fibra.

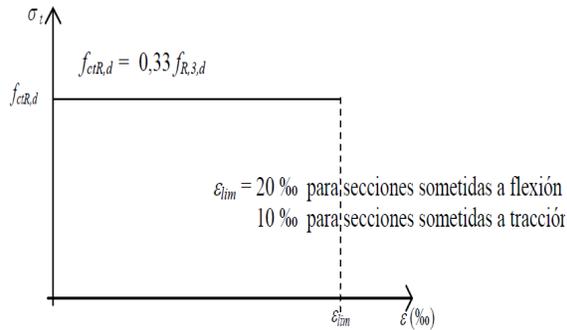


Figura 3. Diagrama de cálculo rectangular, [17].

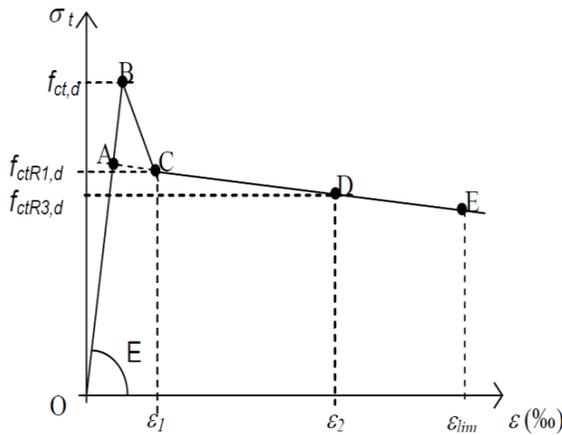


Figura 4. Diagrama de cálculo multilíneo, [17].

$$f_{ct,d} = 0,6 f_{ct,fl,d} \quad f_{ctR1,d} = 0,45 f_{R,1,d}$$

$$f_{ctR3,d} = k_1 (0,5 f_{R,3,d} - 0,2 f_{R,1,d}) \quad \epsilon_1 = 0,1 + 1000 * f_{ct,d} / E$$

$$\epsilon_2 = 2,5 / l_{cs}$$

donde:

- $f_{ct,d}$  resistencia a tracción de cálculo,
- $f_L$  tensión correspondiente al límite de proporcionalidad,
- $f_{ct,fl,d}$  resistencia a tracción de cálculo correspondiente al límite de proporcionalidad,
- $f_{ctR1,d}, f_{ctR3,d}$  resistencias residuales a tracción de cálculo, asociadas a  $\epsilon_1$  y  $\epsilon_2$  en la rama post-pico.
- $k_1$  1 para secciones sometidas a flexión y 0.7 para secciones sometidas a tracción,
- $\epsilon_{lim}$  20‰ para secciones sometidas a flexión y 10‰ para secciones sometidas a tracción,

$l_{cs}$  longitud crítica (en metros) del elemento calculado, que puede determinarse por la expresión  $l_{cs} = \min. (s_m, h - x)$ ; siendo  $x$  la profundidad del eje neutro y  $h - x$  la distancia del eje neutro al extremo más traccionado, y  $s_m$  la distancia media entre fisuras. Salvo que se disponga de datos justificados se podrá utilizar para  $s_m$  los valores de la tabla A.14.1 del Anejo 14 sección 39.4.

Es importante mencionar que la expresión de [24], posteriormente modificada por [13], propone la descripción de una curva tensión- deformación a tracción del concreto con fibras (2 y 3). Dicha expresión consta de tres partes lineales; inicia con una rama ascendente hasta llegar a la tensión de tracción máxima ( $f_{ctf}$ ), luego una segunda rama descendente conecta con el punto de tracción máxima hasta llegar a alcanzar una tensión residual que es constante ( $f_r$ ); teniendo en cuenta que aumentará al incrementar el porcentaje de volumen de fibras metálicas en su masa. Para concretos sin fibras metálicas no existe esa tensión residual (figura 5).

$$\sigma_t = \begin{cases} \epsilon_t \cdot E_{ctf}; \epsilon_t < \epsilon_{ctf} \\ (f_{ctf} - f_r) \cdot \left[ \frac{\epsilon_t - \epsilon_{ctf}}{\epsilon_{ctu} - \epsilon_t} \right] + f_r; \epsilon_{ctf} < \epsilon_t < \epsilon_{ctu} \\ f_r; \epsilon_t > \epsilon_{ctu} \end{cases} \quad (2)$$

$$\epsilon_{ctu} \cong 2 \cdot f_y \cdot \left( \frac{1}{E_s} + \frac{\rho_t}{E_0} \right) \quad (3)$$

donde:

- $f_{ctf}$  resistencia a tracción máxima,
- $f_r$  resistencia residual,
- $\epsilon_t$  deformación a tracción del concreto,
- $\epsilon_{ctf}$  deformación correspondiente a la resistencia de tracción máxima,
- $\epsilon_{ctu}$  deformación correspondiente a la resistencia residual,
- $E_{ctf}$  es el módulo de deformación a tracción.

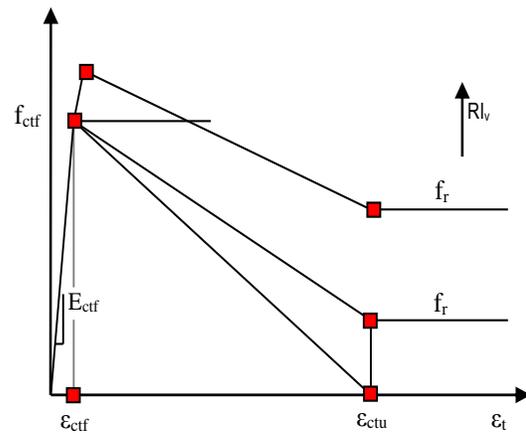


Figura 5. Curva tensión-deformación a tracción del concreto reforzado con fibras, [13].

Existen expresiones que calculan la  $f_r$ , (e.g., [13], [15]), en la que se determina una ecuación en función de las características de las fibras metálicas o la propuesta por [5].

$$f_r \cong 0.2 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot RI_v \quad (4)$$

$$f_r = 0.772 \cdot RI_v \quad (5)$$

Donde:

- $f_c$  resistencia a compresión del concreto,
- $RI_v$  índice de cuantía volumétrica de fibras metálicas.

### 3.2 Resistencia a compresión

Se puede llegar a obtener un incremento de la resistencia a compresión entre un 0% y un 15%, con un volumen de 1.5% de fibras en la masa del concreto [3].

Durante las últimas décadas, se ha incrementado el estudio del concreto convencional con la adición de fibras de acero [10]. A partir del análisis experimental de ensayos de probetas cilíndricas sometidas a compresión; se obtienen las típicas ecuaciones constitutivas tensión – deformación del concreto en compresión, donde la inclusión de fibras de acero mejora el comportamiento tanto en los valores de tensión pico, como en la rama de descenso; esto se refleja en un incremento de la energía total que absorbe el material antes de alcanzar la rotura. (e.g., [20], [19], [28], [1]) (Tabla 2).

Se modifica la expresión propuesta [19] y proponen una nueva expresión que genera la curva de tensión-deformación para concreto con fibras de acero, para concreto normal y de alta resistencia [16]. Plantean expresiones que relacionan el aporte de las fibras metálicas con respecto a la resistencia a compresión del concreto, a la deformación ocurrida en la resistencia máxima a compresión y el módulo de elasticidad del concreto (6).

$$f_{cf} = f_c + 3.5 \cdot RI_w; \quad \varepsilon_{of} = \varepsilon_o + 446 \times 10^{-6} \cdot RI_w; \quad E_{cf} = E_c + 3.105 \cdot RI_w \quad (6)$$

Los autores señalados, definen como índice de cuantía volumétrica de fibras metálicas ( $RI_w = w_f \cdot L_f / \phi_f$ ), en términos de fracción de peso en fibras ( $w_f$ ), que es aproximadamente igual a 3.25 veces en función de la fracción en volumen de fibras en la masa de concreto ( $RI_v$ ), ( $RI_w \cong 3.25 \cdot RI_v$ ).

Por otra parte, [14] utiliza la expresión propuesta por [31] (7 y 8), para el diagrama tensión-deformación y propone dos expresiones para tener en cuenta el efecto de las fibras de acero,  $\beta$  y  $\varepsilon_o$  (9); que se reemplazarán directamente a la expresión 7. Dichas expresiones son de aplicación en un concreto de resistencia normal.

$$\frac{\sigma_c}{f_c} = \frac{\beta \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_o} \right)}{\beta - 1 + \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_o} \right)^\beta} \quad (7)$$

$$\beta = \frac{E_c}{E_c - \frac{f_c}{\varepsilon_o}} \quad (8)$$

$$\varepsilon_o = 0.0016 + 0.00002 \cdot f_c; \quad \beta = 1.4276 \cdot e^{(0.0247 \cdot f_c)} \quad (9)$$

Donde:

- $f_c$  resistencia a compresión del concreto,
- $\varepsilon_c$  deformación del concreto,
- $E_c$  módulo de deformación tangente inicial,  
 $E_c = 6900 + 3320 \cdot \sqrt{f_c}$  (MPa), [32].

Para tener en cuenta en la expresión (8 y 9), el efecto de las fibras en la masa del concreto, se reemplaza en la ecuación de [31] los parámetros  $\beta$  por  $\beta_1$ ,  $f_c$  por  $f_{cf}$  y  $\varepsilon_o$  por  $\varepsilon_{of}$ , donde  $f_{cf}$  es la resistencia máxima a compresión del concreto reforzado con fibras metálicas y  $\varepsilon_{of}$  es la deformación correspondiente a la resistencia máxima a compresión.

En la tabla 2 se muestra un breve resumen de propuestas de algunos autores para caracterizar el concreto reforzado con fibras de acero para concreto convencional y de alta resistencia. Los autores modifican de la expresión principal propuesta por [31].

Tabla 2. Ecuaciones constitutivas en compresión sin confinar para hormigón reforzado con fibras de acero

Curva de hormigón	
$\frac{\sigma_c}{f_{cf}} = \frac{\beta_1 \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{of}} \right)}{\beta_1 - 1 + \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{of}} \right)^{\beta_1}} \quad \beta_1 = \frac{E_c}{E_c - \frac{f_{cf}}{\varepsilon_{of}}}$	
Autores	Propuestas
* (HC y HAR) [19]	$f_{cf} = f_c + 3.5 (RI_w) \text{ (MPa)}$ $\varepsilon_{of} = \varepsilon_o + 446 \times 10^{-6} (RI_w)$ $\beta_1 = 1.093 + 0.7132 (RI_w)^{-0.926}$
* (HC y HAR) [28]	$f_{cf} = f_c + 2.1604 (RI_w) \text{ (MPa)}$ $\varepsilon_{of} = \varepsilon_o + 0.0006 (RI_w)$ $\beta_1 = 0.5811 + 1.93 (RI_w)^{-0.926}$
* (HC y HAR) [37]	$f_{cf} = f_c + 2.35 (RI_w) \text{ (MPa)}$ $\varepsilon_{of} = \varepsilon_o + 0.0007 (RI_w)$ $\beta_1 = 0.71 (RI_v)^2 - 2.00 (RI_v) + 3.05$
* (HC) [14]	$f_{cf} = f_c + 6.913 \cdot RI_v$ $\varepsilon_{of} = \varepsilon_o + 0.00192 \cdot RI_v$ $\beta_1 = \beta + 0.175 \cdot RI_v$
Curva de hormigón	
$\sigma_c = f_{cf} \frac{\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{of}}}{(1-p-q) + q \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{of}} \right) + p \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{of}} \right)^{(1-q)/p}}$ $q = 1 - p - \frac{E_f}{E_c} \quad p + q \in ]0, 1[ \quad \frac{1-q}{p} > 0$ $E_c = 21,500 \left( \frac{f_{cf}}{10} \right)^{1/3} \text{ (MPa)}$ $E_f = \frac{f_{cf}}{\varepsilon_{of}}$	

*(HC y HAR) [1]	Para 05/30 de fibras:
	$\epsilon_{of} = \epsilon_o + 0.0002w_f$
	$\rho = 1.0 - 0.919\exp(-0.394w_f)$
	Para 08/60 de fibras:
	$\epsilon_{of} = \epsilon_o + 0.00026w_f$
	$\rho = 1.0 - 0.722\exp(-0.144w_f)$

\*HC y HAR: Hormigón convencional y hormigón de alta resistencia respectivamente.

$f_c$  y  $\epsilon_o$ : Es la resistencia a compresión del hormigón y la deformación correspondiente. Los autores sugieren usar 0.002 excepto [1] que propone un valor de 0.0022.

$RI_v$  y  $RI_w$  es el índice de cuantía de fibras en porcentaje de volumen y porcentaje en peso respectivamente.

### 3.3 Tenacidad

Esta propiedad depende principalmente de la adherencia de las fibras en la masa del hormigón. La tenacidad se define como el área bajo la curva de carga-flecha y está relacionada con la capacidad de absorber energía cuando el elemento está sometido a sollicitaciones de carga. A mayor tenacidad se tiene una mayor capacidad de disipar energía, es por ello que dependerá del contenido de fibras, tipo y esbeltez de estas.

### 3.4 Resistencia a cortante y torsión

La inclusión de fibras de acero puede mejorar la resistencia a cortante y torsión, aunque se indica que hay pocos datos referente a este tema al respecto [5]. Las fibras de acero en cantidad suficiente, dependiendo de la forma geométrica de la fibra, pueden aumentar la resistencia al cortante e impedir el fallo en la tensión diagonal forzando el fallo por flexión de la viga; lo cual se traduce en la posibilidad del empleo de las fibras de acero como elementos sustitutivos de estribos en vigas u otros elementos (e.g., [33]).

Por otro lado, [25] referencia que el comportamiento a cortante ha sido estudiado (e.g., [34], [8], [26], [27]). Además observa que en ensayos experimentales en vigas de hormigón reforzado en fibras de acero, se genera una fisuración más distribuida y además, se incrementa la capacidad de carga última a cortante.

Además, se indica que la resistencia por torsión crece de forma lineal en relación al porcentaje de fibras, dando como resultado un aumento considerable en la deformación por rotura [33]. Se da un efecto contrario si existe un menor volumen de fibras, ya que es inversamente proporcional al aumento de la resistencia. La influencia de la esbeltez de la fibra es fundamental, porque se ha observado que a mayor esbeltez la resistencia tiende a aumentar, al igual que se incrementa la deformación por rotura.

### 3.5 Módulo de elasticidad

Un volumen menor al 2% de fibras en la masa del hormigón, no presenta diferencia significativa, respecto a los hormigones que no contienen fibras metálicas [5].

### 3.6 Adherencia fibra matriz

Esta propiedad es fundamental para las fibras metálicas embebidas en el hormigón, ya que al producirse la fisuración; las fibras forman una especie de red, retrasando la rotura y haciendo más dúctil el agotamiento del material compuesto [25].

Por otro lado, se ha mostrado que existe una adherencia parcial de las fibras embebidas en la masa del hormigón; que se produce por la pérdida de la humedad durante la fabricación del hormigón, fraguado y retracción; así como también de las reacciones superficiales entre las fibras y la matriz; donde se generan tensiones internas del sistema [35].

Téngase en cuenta que existen dos tipos de adherencia: la física que consta de la combinación de adhesión, fricción y trabajo mecánico; y la química que se genera por reacciones superficiales entre la fibra y el hormigón. La primera se determina caracterizando la forma de la fibra, ya que puede aumentar la adherencia en el hormigón y así producir un fallo del material por rotura de la fibra y no por deslizamiento; tal como suele ocurrir en fibras lisas. Respecto a la adherencia química, se puede mejorar recubriendo la fibra con resina epoxi para poder evitar problemas de oxidación y galvanización.

### Consideraciones finales

- El aporte de las fibras metálicas en la masa del concreto, se ha venido incrementando en los últimos años; y este aporte se ha caracterizado tanto para concreto de resistencia normal como de alta; así como también en pilas de puentes, columnas sobre cargadas, losas de puentes peatonales, entre otros.
- Es posible evaluar el comportamiento del concreto no confinado reforzado con fibras metálicas a través de los métodos simplificados que evalúan la curva de tensión-deformación.
- Es importante saber que la adición de fibras metálicas a la masa de concreto, aumenta la resistencia a flexión, sin embargo se mantiene cuasi constante para la resistencia a compresión.
- La adición de fibras metálicas en la ingeniería estructural es un gran aporte, ya que al tener un soporte tradicional sometido a altos esfuerzos, este requiere de mayor cuantía de acero, por ende se traduce en un problema a la hora de vaciar el concreto, es por ello que autores recomiendan el uso de concreto autocompactable, y reemplazar parte de la armadura transversal por la adición de fibras metálicas en su masa.

### Referencias

- [1] ACI 116R-00, "Cement and Concrete Terminology," ACI Manual of Concrete Practice, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- [2] ACI 318-2011, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete", American Concrete Institute, Detroit, 2011, pp 471.
- [3] ACI. 544.1R (1996). "State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concret.", Farmington Hills, MI.
- [4] ACI. 544.3R (2008). "Guide for specifying, proportioning, and production of fiber-reinforced concrete.", Farmington Hills, MI.
- [5] ACI. 544.4R (1999). "Design considerations for steel fiber reinforced concrete.", Farmington Hills, MI.
- [6] Aoude, H.; Cook, W.D.; Mitchell, D.: "Axial Load Response of Columns Constructed with Fibers and Self-Consolidating Concrete" " ACI Structural Journal, Volume 106, Issue 03, May 1, 2009, pp 349-357.
- [7] Asencio Cuenca, E.; "Comportamiento a cortante de elementos constructivos fabricados con hormigón autocompactante y hormigón reforzado con fibras". Tesis de Máster, Universidad Politécnica de Valencia, España, Noviembre, 2008.
- [8] Barragán, B., (2002): "Failure and toughness of steel reinforced concrete under tension and shear", Doctoral thesis, Universitat Politècnica de Catalunya.

- [9] Barros, J.A.O.; Figueiras, J.A. (1999). Flexural Behavior of SFRC: Testing and Modeling, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 11(4):331-339.
- [10] Bentur, A. and Mindess, S. (1990). Fiber reinforced cementitious composites. UK: Elsevier.
- [11] Caballero K.E -Morrison, Bonet J.L, Juan Navarro-Gregori, Martí J.R -Vargas. "Behaviour of steel-fibre-reinforced normal-strength concrete slender columns under cyclic loading", *Engineering Structures* 39, (2012) PP.162-175.
- [12] Caballero K.E -Morrison. "Estudio teórico-experimental de soportes esbeltos de hormigón armado con fibras de acero sometidos a compresión y carga lateral cíclica", Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Valencia, España, (2015).
- [13] Campione, G., Mangiavillano, M.L., (2008). "Fibrous reinforced concrete beams in flexure: Experimental investigation, analytical modelling and design considerations". *Engineering Structures*, pp 2970-2980.
- [14] Campione, G.; Fossetti, M.; Papia, M.: "Behavior of Fiber-Reinforced Concrete Columns under Axially and Eccentrically Compressive Loads" *ACI Structural Journal*, Volume 107, Issue 03, May 1, 2010, pp 272-281.
- [15] Campione, G.; La Mendola, L.; and Mangiavillano, M. L., "Steel Fiber Reinforced Concrete Corbels: Experimental Behavior and Shear Strength Prediction," *ACI Structural Journal*, V. 104, No. 5, Sept.-Oct. 2007, pp. 570-579.
- [16] Carreira, D.J.; Chu, K.H. Stress-strain relationship for plain concrete in compression. *ACI Journal* 1985;82(6):797-804.
- [17] Comisión Permanente del Hormigón "Code on Structural Concrete EHE-08" Ministerio de Fomento. ([http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG\\_CASTELLANO/ORGANOS\\_COLEGIADOS/CPH/instrucciones/EHE08\\_INGLES/](http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/CPH/instrucciones/EHE08_INGLES/))
- [18] European Committee for Standardization: "Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings" EN 1998-1:2004 pp 232.
- [19] Ezzeldin, A. S.; Balaguru, P.N.: "Normal and high strength fibre reinforced concrete under compression" *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 4, No. 4, November 1992, pp. 415-429.
- [20] Fanella, D.A.; Naaman, A.E.: "Stress – strain properties of fibre reinforced mortar in compression" *ACI Journal*, 82 (4), 1985, pp 475-483.
- [21] Foster, S.J.: "On behaviour of high-strength concrete columns: cover spalling, steel fibers and ductility" *ACI Structural Journal*, Volume 98, Issue 04, 2001, pp 583-589.
- [22] J. S. C. E. (Japan Society of Civil Engineers, Earthquake Engineering Committee). 1988. *Earthquake Resistant Design for Civil Engineering Structures in Japan*. Tokio, Japón.
- [23] Lee, Jong-Han.: "Influence of concrete strength combined with fiber content in the residual flexural strengths of fiber reinforced concrete", *Elsevier, Composite Structures*, May 2017, Pages 216–225.
- [24] Mansur, M.A.; Ong KCG. Behaviour of reinforced concrete deep beams in shear. *ACI Struct J* 1991;88(1):98–105.
- [25] Mármol, P.; "Hormigones con fibras de acero, características mecánicas". Tesis de Máster, Universidad Politécnica de Madrid, España, Noviembre, 2010.
- [26] Meda, A., (2005): " Shear behaviour of steel fibre reinforced concrete beams", *Material and Structures*, Vol. 38 (277), pp. 343-351.
- [27] Minelly, F., and Plizzari, G. A.; (2008). "Shear design of FRC members with little or no conventional shear reinforcement", *Concrete information: International FIB Symposium: Tailor made concrete structures: new solutions for our society*, pp. 139.
- [28] Nataraja, M.C.; Dhang, N.; Gupta, A. P.: "Stress – strain curves for steel fiber reinforced concrete under compression" *Journal of Cement and Composites*, 21, 1999, pp 383-390.
- [29] Paultre, P.; Eid, R.; Langlois, Y.; Lévesque, Y.: "Behaviour of steel fiber-reinforced high-strength concrete columns under uniaxial compression" *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 136, No. 10, October 1, 2010, pp. 1225-1235.
- [30] Paultre, P.; Legeron, F.; Mongeau, D.: "Influence of concrete strength and transverse reinforcement yield strength on behavior of high-strength concrete columns" *ACI Struct J* 2001;98(4):490-501.
- [31] Popovics, S.; 1973. A numerical approach to the complete stress-strain curve of concrete. *Cement and Concrete Research*, 3(5): 583–599.
- [32] Razvi, S. R. and Saatcioglu, M.; 1999, "Confinement Model for High-Strength Concrete," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 125, No. 3, pp. 281-289.
- [33] Rodríguez López, F. and Prado Pérez-Seoane, D.: "Hormigón con la incorporación de fibras". *Revista de Obras Públicas*, Octubre 1984, pp. 779-796.
- [34] Serna, P., (2008): "Evolution of the flexural behaviour of precracked SFRC in marine environment", *Seventh International RILEM Symposium in fibre reinforced concrete: Design and Application*, pp. 595-605.
- [35] Swamy, R. N.; Mangat, P. S. and Rao, C. V. S. K. (1974). "The Mechanics of Fiber Reinforcement of Cement Matrices", *Fiber Reinforced Concrete ACI SP-44*, American Concrete Institute, Detroit, MI, 1-28.
- [36] UNE-EN 14651:2007: "Método de ensayo para hormigón con fibras metálicas. Determinación de la resistencia a la tracción por flexión (límite de proporcionalidad (LOP), resistencia residual". *Asociación española de normalización y certificación, AENOR*. Septiembre 2007.
- [37] Yu-Chen Ou, Mu-Sen Tai, Kuang-Yen Liu, and Kuo-Chun Chang: "Compressive Behavior of Steel-Fiber-Reinforced Concrete with a High Reinforcing Index". *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, February 2012, pp. 207-215.

# Diseño, funcionamiento y dinámica de los sistemas de gobierno de las embarcaciones

J. J. Prieto <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Doctor Ingeniero, Dpto. de Ingeniería Mecánica, Minera y Energética. Escuela Superior de Ingeniería – Universidad de Huelva. juan.prieto@dimme.uhu.es

**Resumen:** El timón es un mecanismo móvil adjunto del navío, enlazado al codaste o prolongación de la quilla mediante un par cinemático de rotación, que aprovechando las corrientes hidrodinámicas generadas en la mar y las corrientes de expulsión que proporcionan las hélices, varía con su movimiento el rumbo del buque. No siendo el único sistema mecánico que realiza esta imprescindible función, sí es la más operativa y de rápida aplicación. El presente artículo, pretende explicar, desde una perspectiva ingenieril, ese método de gobierno de las embarcaciones, analizando el diseño y funciones de diferentes sistemas de gobiernos usados en la actualidad, así como, aspectos generales de su dinámica.

**Palabras claves:** Navegación, ingeniería, transferencia tecnológica, timón.

**Title:** Design, function and dynamics of governance systems of vessels

**Abstract:** The rudder is attached movable mechanism of the vessel, aft of the stern, taking advantage of the hydrodynamic currents generated at sea and current ejection providing propellers, varies with its movement path of the ship. Not being the only mechanical system that performs this essential function, yes it is, the more operational and rapid implementation. This article seeks to explain, from an engineering perspective, as a method of government of vessels, analyzing the design and functions of different systems governments used today and general aspects of its dynamics.

**Key words:** Navigation, engineering, technology transfer, rudder.

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 19 de febrero de 2016

Fecha de aceptación: 12 de junio de 2017

## 1. Introducción

El timón es un mecanismo móvil adjunto del navío, enlazado al codaste o prolongación de la quilla mediante un par cinemático de rotación, que aprovechando las corrientes hidrodinámicas generadas en la mar y las corrientes de expulsión que proporcionan las hélices, varía con su movimiento el rumbo del buque. No siendo el único sistema mecánico que

realiza esta imprescindible función, sí es la más operativa y de rápida aplicación.

Según Bjöm Landström [1], teniendo en cuenta su estructura podemos encontrar timones de plancha sencilla, plancha doble, huecos y currentiformes. Los dos primeros los encontraremos normalmente en los buques de vela, en los mercantes hoy en día casi todos son currentiformes. De acuerdo al tipo de montaje se pueden clasificar en soportados, semisuspendidos y en los suspendidos (o colgantes). Y en lo que respecta a la distribución de su área con respecto a su eje de giro, se pueden clasificar en timones sin compensar, timones compensados y en timones semicompensados (figuras 1 y 2).



Figura 1. Tipos de timones en buques mercantes.

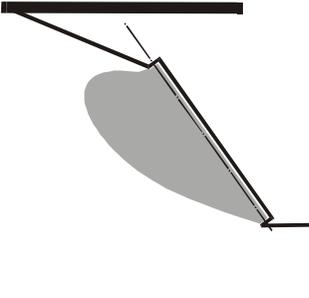
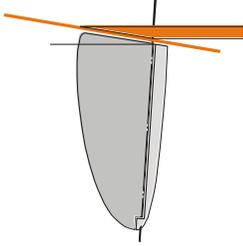
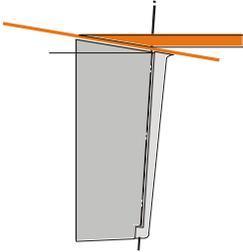
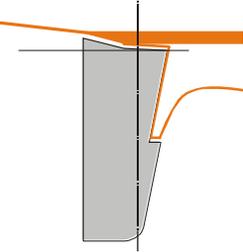
	
Timón abisagrado a la quilla siendo una extensión a popa de la misma	Timón elíptico independiente de la quilla soportado
	
Timón trapezoidal independiente de la quilla y soportado	Timón independiente de la quilla y semicomensado

Figura 2. Tipos de timones en barcos de vela.

Como se ve a simple vista en los esquemas anteriores, las diferencias entre los timones son notables, no en cuanto a montaje y a la distribución del área con respecto a su eje de giro, que pueden ser similares, sino a las formas, tamaños (no se observa en el esquema), ángulo que forma el eje de giro con el eje del palo y la sutileza del pie de codaste entre otras cuestiones. Aparte de las formas del timón que se diseñan en función al resto de las formas del casco, la superficie de este es proporcionalmente mucho mayor en los veleros que la superficie del timón en un buque mercante. Las razones de esta desproporción son debidas a varios factores: menor velocidad, falta de la corriente de expulsión incidente en el timón (cuando se navega a vela) y la escora del velero (con lo que actúa la proyección del timón con respecto a la marcha).

## 2. Funcionamiento del timón

El funcionamiento del gobierno de un buque está centralizado en la acción de la pala o timón, que interactúa con el flujo de agua producido por la hélice en el empuje (mediante su área efectiva), dando la direccionalidad adecuada a la

embarcación. Las palas o timones de gobierno funcionan de la siguiente manera:

Al momento en que se genera el flujo de agua de empuje (por parte de la hélice propulsora), interactúa con el flujo generado por el paso del casco del buque, para luego hacer mover al mismo hacia una dirección determinada. Dicha dirección se puede cambiar por medio de los timones, ya que al momento que se giran a un determinado ángulo, los filetes o flujos de empuje actúan en el área efectiva del timón, en donde la fuerza resultante perpendicular a dicha área es la que desvía a la embarcación a una banda, ya sea que el giro de las palas sea anti-horario, el buque cae en la banda de estribor, y si dicho giro es horario, cae en la banda de babor.

El control de giro de los timones se da mediante el funcionamiento del sistema mecánico-hidráulico de gobierno (o servomotor), el cual permite generar el torque y ángulo de palas respectivos. Se debe tener en cuenta que no se puede girar las palas por mucho tiempo ya que reducen el avance de la embarcación (por la "asimetría del casco" parcialmente generada). Se tiene en cuenta que el elemento principal del gobierno de un buque es la pala de timón, sin embargo, se hace también una consideración a los acoples, bridas, ejes de pala, etc. Todo el conjunto será accionado por un servomotor hidráulico (steering gear), cuya selección se debe hacer en base a los parámetros de diseño de la pala (con su perfil hidrodinámico adecuado) y la disposición de ésta junto al sistema propulsor (de acuerdo a normas de clasificación de buques).

Ahora bien, con respecto al rumbo que toma el buque en marcha de avance o marcha atrás, se considera el efecto del mismo sistema de gobierno y el movimiento de guiñada o yaw (que es el movimiento rotacional del buque en el eje perpendicular a su cubierta principal, que se origina por la interacción del buque con las corrientes y olas del medio marino). El estudio de la disposición de la fuerza generada por el sistema de gobierno del buque, y sus efectos posteriores, fue realizado por Crane [2].

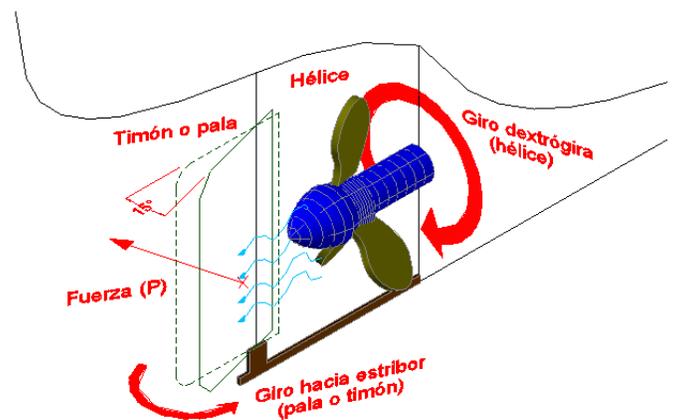


Figura 3. Esquema de operación del timón en el rumbo hacia estribor del buque.

En la figura 4, se muestran los efectos de la fuerza lateral generada por el gobierno del buque y el momento de guiñada. Para la instalación del sistema de gobierno en la popa (referido a la pala), el efecto mencionado se da con la guiñada añadida en el ángulo de deriva. El ángulo de deriva se define como el ángulo de rumbo que sigue el buque cuando se controla el gobierno y su maniobrabilidad, siendo distinto del ángulo de escora o balanceo en los costados del buque, que depende más de la distribución de masas del casco que del diseño de la pala.

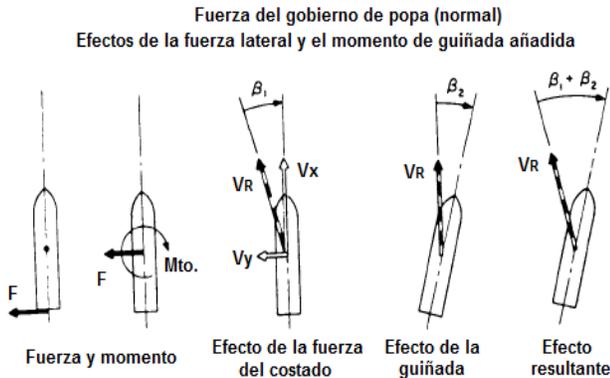


Figura 4. Efectos de la fuerza generada por el gobierno instalado en la popa.

La mencionada velocidad del flujo que llega a las palas de gobierno, es una función del tipo del sistema propulsivo y su disposición en la embarcación, y no está relacionado directamente con el diseño de las palas del gobierno.

### 3. Su dinámica, aspectos generales

Desde tiempos antiguos, el hombre se vio en la necesidad de emplear a los líquidos como fuerzas motrices para desarrollar diversas actividades. Los más antiguos vestigios históricos muestran que los sistemas como las bombas y norias eran empleados en épocas más antiguas, pero la rama de la Hidráulica comenzó a desarrollarse a partir del siglo XVII, por medio de la Ley de Pascal que como sabemos, consiste en que la presión aplicada a un fluido confinado se transmite en todas las direcciones siempre y cuando dicho líquido sea prácticamente incompresible. Su aplicación notoria fue en la famosa prensa hidráulica (desarrollada por el ingeniero Joseph Bramah).

Se sabe que esta prensa desarrolla mayor fuerza sobre un área grande a partir de una fuerza y área pequeña, y este principio se puede comparar con el de la palanca mecánica. No obstante, si por principio de conservación de energía, una fuerza pequeña da origen a una fuerza grande a través de la presión, la velocidad de avance para la fuerza grande es menor que el de la fuerza pequeña, debido a que el desplazamiento o distancia recorrida es inversamente proporcional al área de contacto de cada fuerza. En pocas palabras, lo que se gana en fuerza, se pierde en velocidad (Ver figura 5).

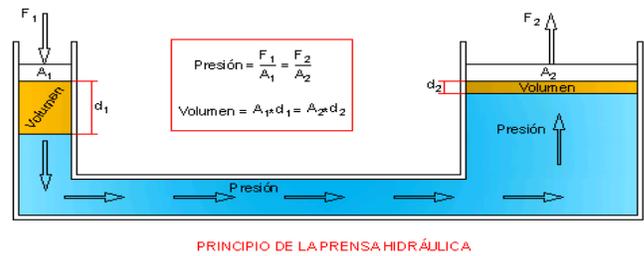


Figura 5. Principio de la palanca mecánica.

Desde el punto de vista hidrodinámico, las consideraciones básicas en el diseño de la pala de gobierno son las siguientes: La pala de gobierno se puede determinar en base a una tabla de relación de compensación (que es el cociente entre el área de contra-balance y el área total de la pala) con respecto al coeficiente de bloque del buque (CB), según tabla 1. Para la navegación en zonas gélidas del planeta, se emplean las famosas palas suspendidas (llamados rudder horn), cuyo costo estructural es accesible según la disposición y/o forma que posean estas palas.

Tabla 1: Valores de relación de compensación en función al coeficiente de bloque del buque

Coefficiente de bloque (CB)	Relación de contra balance
0.60	0.250 a 0.255
0.70	0.256 a 0.260
0.80	0.265 a 0.270

Una adecuada área de pala para una forma dada del casco, puede ser seleccionada para satisfacer los ángulos deseados en la estabilidad dinámica y desempeño de la maniobrabilidad en aguas calmas. Para cascos llenos (de mayor volumen), la determinación final del área de la pala, debe reflejar el factor que relaciona a las palas largas que posean mayor desempeño sobre las condiciones adversas en la navegación, como el viento y las olas del medio marino.

Los momentos flectores, fuerzas cortantes y fuerzas de reacción de las palas de timón, ejes y acoples deben ser calculados de acuerdo al tipo de pala de timón respectivo. Los momentos y fuerzas de las palas de timón, con perfiles hidrodinámicos variados, son calculados usando métodos alternativos y deben ser especialmente considerados. A continuación se van a mostrar los cálculos realizados para los componentes del sistema de gobierno, cuya fundamentación

proviene de las normas de la ABS (American Bureau of Shipping).

Fuerza cortante: La fuerza de corte lateral  $V(z)$ , en una sección horizontal de la pala a "z" metros por encima del fondo de IR, es dado por la siguiente ecuación:

$$V(z) = \frac{zC_R}{A} \left[ C_\ell + \frac{z}{2\ell_R} (C_\mu - C_\ell) \right] \quad [\text{kN}]$$

donde:

z = Distancia desde el fondo de IR hacia la sección horizontal por encima (en m).

CR = Es la fuerza que actúa en la pala de timón (en kN).

A = Es el área de la pala del timón (en m<sup>2</sup>).

cl, cu y IR son dimensiones que se definen en la figura 6 (en m).

La fuerza que actúa sobre el timón, depende de varias variables: Dimensionado, perfil y secciones de la pala, velocidad del buque y ángulo de metida. Otro factor influyente es la velocidad de gobierno, que se define como la velocidad mínima para que la acción del timón sea eficaz, la cual varía según las características de cada buque. Por ejemplo, los buques lentos disponen de un timón de grandes dimensiones que les permite maniobrar a muy baja velocidad, mientras que los buques rápidos llevan timones pequeños que exigen una velocidad mucho mayor para que el timón sea efectivo. La velocidad de gobierno depende también de otras circunstancias tales como intensidad y dirección de la corriente [3].

Hay diferentes fórmulas para el cálculo de la fuerza del timón, pero una de las más utilizadas, que se ajusta a unidades métrica, es la de Baker and Bottomley [4] para timón en el centro y a popa de la hélice. La ecuación es la siguiente:

$$F = 18 \times A \times V^2 \times \theta \quad (\text{Newtons}).$$

siendo:

A = Área del timón en m<sup>2</sup>.

V = Velocidad en ms-1.

θ = Grados de metida de timón.

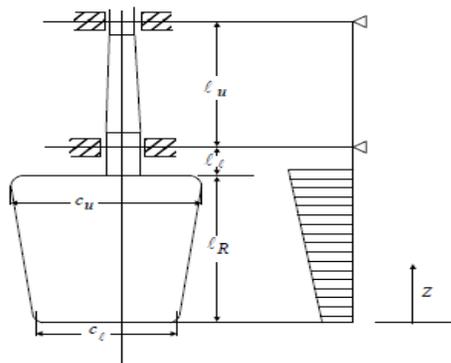


Figura 6. Diagrama de momentos en la pala sin zapata de timón.

Si pretendemos mantener la misma fuerza, podemos observar que, si reducimos la velocidad elevada al cuadrado, hay que aumentar considerablemente la superficie. En los veleros, el timonel tiene que compensar la guiñada residual con la que no haya podido la quilla. Por ello, es necesario un timón efectivo dentro de una gama de velocidades, y que la retro-respuesta sea la mínima. Hoy en día, se construyen timones compensados perfectamente proporcionados y perfilados que cumplen completamente estas exigencias. El posible efecto negativo de una retro-respuesta en un timón convencional siempre existe, siendo además muy dura en el rango de las velocidades altas. Especialmente, al correr temporales de cierta intensidad, esta circunstancia se convierte en un serio problema.

El proyectista, y a su vez el constructor, deben poner mucha atención en la resistencia del sistema debido a las descomunales fuerzas que aparecen, se acumulan y deben ser disipadas en el casco. En ocasiones se habla del *skeg*, o soporte perfilado anterior al timón (una especie de pié de codaste) como la panacea, aún a pesar de sus desventajas para remediar esta situación en timones compensados o semi-compensados.

Por otro lado, es cuestión importante que la pala del timón quede bien sumergida y, cuanto más a popa esté montada, de más longitud conviene que sea por dos razones fundamentales: Primero, por el peligro de la inversión con mucha escora y fuerte cabeceo. Segundo, por la corriente favorable de superficie en la cresta de la ola, que desaparece a uno o dos metros de profundidad y donde la respuesta a la pala mejora [5].

Finalmente cabe señalar, que existe reglamentación oficial para la construcción, el comportamiento y la estabilidad del timón en el Solas de 1974 y en las reglamentaciones de las Sociedades de Clasificación (IACS). En particular, en la Regla 29 del Capítulo II-1 del Solas [6] se incluye, entre otras disposiciones, que la eficacia del timón, en cuanto a su construcción se refiere, estará en función de la totalidad del área de la pala, la ubicación respecto a las hélices del buque, el número de timones y las formas del codaste. Por su parte, en los últimos 35 años, las IACS han desarrollado unas 200 reglas unificadas que hacen referencia a muchos factores técnicos: resistencia longitudinal mínima, directrices sobre la carga y descarga, utilización de distintos tipos de acero para la construcción de un casco, etc. Esas Sociedades de Clasificación nacieron fruto de las necesidades del mercado asegurador marítimo en los siglos XVII y XVIII.

#### 4. Conclusión

Podemos concluir, por tanto, que están claras muchas cuestiones relacionadas con la funcionalidad, evolución, y logros del timón de codaste, aunque subsisten incógnitas por resolver. No obstante, la importancia del avance tecnológico que supuso el timón de codaste no radica en sus iniciadores, dado que pudieron ser los chinos, los árabes o los vikingos. Ese hecho no cambia sustancialmente nada. Pero sí es cierto que Occidente dio un impulso al timón de codaste en cuanto a su progreso y desarrollo tecnológico. Por ello, más allá de su origen

cronológico y geográfico, cabría plantearnos los conocimientos que lo propiciaron y lo hicieron una realidad.

Consideramos que este logro de la humanidad puede estar basado en la observación y comprensión del movimiento y dinámica de direccionalidad, mediante su cola, de los grandes cetáceos y peces, como los tiburones. Por lo cual, la esencia del timón de codaste estaría basada en el resultado de una observación de la naturaleza, aplicada a una necesidad, que dio resultados óptimos y sentaron las bases para el progreso y avance tecnológico. Dejamos abierto este campo de investigación, basada en la relación naturaleza-mecanismos, que el invento del timón de codaste nos hace plantear.

## Referencias

- [1] Bjöm Landström: El Buque. Editorial. Juventud, 1983.
- [2] Crane, C. L., 1966, "Studies of Ship Maneuvering – Response to Propeller And Rudder Actions". In: Ship Control Systems Symposium, Annapolis, U.S.A.
- [3] Gabriel Sánchez Sorondo. Magallanes y Elcano: travesía al fin del mundo. Editorial: Nowtilus 2006.
- [4] Pierre Gutelle. The Design of Sailing Yachts. Editor: Intl Marine Pub Co1984.
- [5] R. Munro-Smith. Ship & Naval Architecture. Edition: New Edition, 2004.
- [6] Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar o SOLAS (acrónimo de la denominación inglesa del convenio: "Safety of Life At Sea"). Publicación de la OMI. Edición refundida de 2001.

# Estudio de láminas delgadas de diamantes policristalinos: estructura cristalina, enlace químicos de átomos de carbono y efectos en la concentración de portadores de cargas eléctricas

Elida de Obaldía<sup>1</sup>, Jesús J. Alcantar-Peña<sup>2</sup>, Murry Gans<sup>3</sup> y Orlando Auciello<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad Tecnológica de Panamá;

<sup>2</sup>Department of Material Science, University of Texas- Dallas; <sup>3</sup>SEM

Laboratory, Eastfield College; <sup>4</sup>Departments of Material Science and

Bioengineering, University of Texas-Dallas.

elida.deobaldia@utp.ac.pa

**Resumen:** Las películas delgadas de diamantes no solo exhiben las propiedades del diamante cristalino, también se pueden utilizar para desarrollar dispositivos electrónicos. Este estudio hace una comparación de tres diferentes estructuras cristalinas de láminas delgadas de diamantes que fueron producidas utilizando métodos de deposición con vapor químico con plasma producido por microondas o con filamentos calientes y la concentración de cargadores eléctricos. La estructura de enlaces químicos de los átomos en las muestras se analizó utilizando espectroscopía de Raman y la concentración de los portadores de cargas eléctricas se midió utilizando un sistema del efecto de Hall. La data muestra que hay una relación entre la estructura cristalina y los enlaces químicos de los átomos de carbono en las láminas con la concentración de portadores de cargas eléctricas. Las láminas que exhiben una estructura de diamante nanocristalino muestran alta concentración de portadores de cargas eléctricas. En el otro extremo, la lámina que exhibe una estructura de diamante microcristalino tiene la menor concentración de portadores de carga eléctrica. Las láminas llamadas ultra-nanocristalinas UNCD están compuestas de granos de diamantes cristalinos de 2 a 5 nm y contiene una amplia red de bordes de grano con átomos de carbono unidos en la configuración de sp<sup>2</sup>. Estas láminas de UNCD exhiben la mayor concentración de portadores eléctricos del orden de 10<sup>18</sup>. Estas películas de UNCD potencialmente pueden ser desarrolladas en dispositivos electrónicos alternos de alta potencia eléctrica y alta temperatura.

**Palabras Claves:** diamante, películas delgadas, nano materiales, estructura cristalina, portadores de cargas eléctricas, efecto Hall.

**Title:** Study of Polycrystalline diamond films: crystalline structure, chemical bonds of carbon atoms and their effects and electrical carriers concentration.

**Abstract:** Polycrystalline diamond films not only exhibit properties similar to crystalline diamond, but can also be used to develop diamond based electronic devices. This study makes a comparison of three different crystal structures of polycrystalline diamond films that were produced using methods of microwave plasma chemical vapor deposition (MPCVD) and hot filament chemical vapor deposition (HFCVD). The chemical bonding of carbon atoms was analyzed using Raman spectroscopy and the carrier concentration was measured using a Hall effect system. The data shows that there is a relationship between the crystal structure and chemical bonds between carbon atoms in the films and the concentration of electrical carriers. The film that shows the Raman spectra characteristic of ultrananocrystalline diamond (UNCD) exhibits the highest concentration of electric carriers. At the other extreme, the film that exhibits the Raman spectra characteristics of microcrystalline diamond has the lowest carrier concentration.

The UNCD films composed of crystalline diamonds grains (2 to 5 nm) and a larger network of sp<sup>2</sup> bonded carbon grain boundaries exhibits the higher concentration of electrical carriers on the order of 10<sup>18</sup>. These UNCD films can potentially be developed for alternative high power and high temperature electronic devices.

**Key Words:** diamond, thin film, nano materials, crystalline structure, carrier concentration, Hall effect.

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 2 de septiembre de 2016

Fecha de aceptación: 13 de junio de 2017

## 1. Introducción

Láminas formadas por átomos de carbono exhiben propiedades físicas, químicas y eléctricas que dependen de la forma en que los átomos de carbono se ligan entre sí. El diamante, el material más duro conocido, está formado por átomos de carbono ligados en forma tetragonal (sp<sup>3</sup>). El grafito está formado por capas de átomos de carbono distribuidos en los vértices de redes de hexágonos entrelazados (sp<sup>2</sup>). Las estructuras cristalinas del diamante y el grafito se repiten en las tres dimensiones del espacio. (Hay otras formas del carbono como el grafeno, los tubos de nanocarbono y las bolas de carbono, pero no son el tema de este artículo). Se han detectado tres tipos de estructuras dependiendo del tamaño de los granos: diamantes microcristalino (MCD por sus siglas en inglés) con granos de 0.5 a 100 μm, diamantes nanocristalino (NCD por sus siglas en inglés) con granos de 10nm a 500nm, y

diamantes ultrananocristalinos con granos de 2 a 10 nm. (UNCD por sus siglas en inglés). [1]

Una gran cantidad de propiedades se han medido en las láminas delgadas de diamantes de todas dimensiones [1,2], como su dureza extremada, gran conductividad térmica, banda electrónica prohibida grande, gran tolerancia a voltajes eléctricos y resistencia a reacciones químicas. Las películas delgadas de diamantes policristalinos no sólo exhiben las propiedades del diamante cristalino, también se puede dopar introduciendo átomos de diferentes materiales para desarrollar dispositivos electrónicos. [3] Entre todas las láminas delgadas de diamantes estudiadas hasta ahora, UNCD tiene el mejor potencial de incorporar la mayoría de estos beneficios en diferentes aplicaciones técnicas por la planaridad de la capa y el hecho que sus propiedades físicas son muy parecidas al diamante cristalino. Por ejemplo, ha sido demostrado [4] que el recubrimiento de implantes médicos con una capa de UNCD reduce la posibilidad de rechazo, ya que el carbono es ignorado por agentes defensores del cuerpo. UNCD puede también ser utilizado para producir dispositivos electrónicos basados en las técnicas utilizadas en semiconductores, ya que UNCD se puede dopar con portadores de carga positivos [5] y negativos [6]. Estos dispositivos basados en películas de diamantes policristalinos pueden facilitar el desarrollo de una nueva generación de dispositivos electrónicos de alta temperatura y voltaje electrónico basados en diamantes.

Este trabajo relaciona la estructura cristalina y enlaces químicos de los átomos de carbono de láminas de diamante policristalino con la concentración de portadores de cargas eléctricas.

## 2. Materiales y métodos

Las láminas delgadas de diamante fueron producidas por dos métodos diferentes. Las láminas A y C fueron producidas utilizando el método de deposición de vapor químico con filamentos de alta temperatura (HFCVD por sus siglas en inglés), descrito en publicaciones previas [8,9]. La lámina B fue producida utilizando el método de deposición de vapor químico con plasma de microondas (MPCVD por sus siglas en inglés). Los diferentes tamaños de granos de diamantes en las diferentes muestras presentadas en este artículo se obtienen se utilizando diferente mezcla de gases CH<sub>4</sub>, Ar y H<sub>2</sub> a temperaturas determinadas. La siguiente tabla muestra las condiciones de crecimiento de las muestras.

Este proceso está descrito en detalle en publicaciones previas [1,7]. Para las tres muestras presentadas en este trabajo se utilizó sustratos de silicio cristalino. Las muestras B y C fueron posteriormente procesadas con Oxígeno (B) y Nitrógeno (C). Este procedimiento ayuda producir portadores de carga eléctrica en los bordes de grano debida a que átomos de carga eléctrica en los bordes de grano debida a que átomos de nitrógeno u oxígeno se enlazan químicamente con enlaces

Tabla 1. Condiciones de crecimiento de las películas de diamantes policristalinos

Muestra	A	B	C
Estructura cristalina	UNCD	NCD	MCD
Temperatura	650	600	600
Ar (cm <sup>3</sup> /min)	90	25	-
CH <sub>4</sub> (cm <sup>3</sup> /min)	2	2	3
H <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> /min)	10	75	200
Proceso con N <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> /min)	-	10	-
Proceso con O <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> /min)	-	-	10
Espesor	250 nm	300 nm	1200 nm

químico abiertos en átomos de carbono y en el proceso provee electrones como portadores de cargas eléctricas que se desplazan a través de los bordes de granos [1,6].

Las imágenes de barrido electrónico de las muestras fueron caracterizadas usando el sistema ZEISS SUPRA-40. El espesor fue medido usando un corte transversal y el microscopio de barrido electrónico. La información de los enlaces químicos de los átomos de carbono fue obtenida utilizando espectroscopia de Raman, que mide el cambio de la longitud de onda de un láser (532nm) cuando interactúan con uno de los modos de vibración del enlace entre los átomos de carbonos que componen la película de diamante. El sistema utilizado es un DXR Raman Microscope manufacturado por Thermo Fisher Scientific. Con este modelo se puede hacer un mapeo cristalino del ejemplar, ya que tiene una resolución de 50  $\mu$ m.

La descomposición de los picos del espectro Raman se realizó utilizando la herramienta de ajuste (fit) de la data proporcionada por Origin Lab™. Para medir las propiedades eléctricas de los ejemplares, se fabricaron muestras de 1 cm<sup>2</sup> de superficie a las que se depositaron contactos de oro a las 4 esquinas utilizando una máscara física. Se depositaron 40 nm de oro utilizando una evaporadora de Kcell. Las propiedades eléctricas de las muestras se obtuvieron utilizando un sistema de medición del efecto de Hall. (Hall Effect- LakeShore 8400 Series HMS). Este sistema utiliza un imán de alta potencia para crear una corriente en el material de prueba que se puede medir en las terminales óhmicas. La concentración de portadores de cargas eléctricas es uno de los parámetros que se determinan utilizando este sistema.

## 3. Resultados

Las morfologías de la superficie de las láminas estudiadas se muestran en la figura 1. Las características de las muestras están relacionadas al tamaño de grano. No es posible determinar con certeza el tamaño del grano para UNCD con esta técnica, pero la uniformidad de la muestra y las

características de Raman son típicas de películas delgadas de UNCD.

Los espectros Raman muestran la intensidad de la señal contra la diferencia del número de onda (espacio recíproco de la longitud de onda). Teóricamente el mejor ajuste para la data debe ser una combinación de Gausianas.

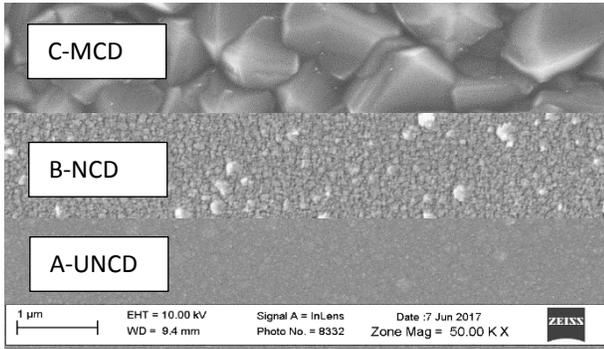


Figura 1. Morfología de las muestras A, B, C que corresponden a UNCD, NCD y MCD respectivamente.

Los resultados del análisis Raman presentados en la Figura 2 muestran los espectros característicos de UNCD (A), NCD (B) y MCD (C). Varios estudios [10, 11,12] han mostrado análisis e interpretación de la posición de los picos encontrados en los espectros del Raman y lo han relacionado con el tipo de enlace químico de átomos de carbono en MCD, NCD y UNCD. La relación fue realizada [13] utilizando difractómetro de Rayos X y Microscopio de Trasmisión de Barrido Electrónico equipado con un difractor de Rayos X. La tabla 2 muestra una recopilación de los picos del número de onda en un espectro de Raman y su interpretación de enlace químico.

Tabla 2. Interpretación de los picos de Raman

Wave number [1/cm]	Band	Configuración de Enlace Químico	Descripción
1150	T		segmentos traspolyacetylene en las fronteras de granos
1332	Diam	sp3	pico de diamante bruto
1350	D	sp2	grafito (areomatico) desordenado
1450	T		segmentos traspolyacetylene en las fronteras de granos
1580	G	sp2	Ligamentos de átomos de carbono abiertos

Como se puede apreciar en la figura 2, la lámina C muestra el espectro Raman característico de diamante micro cristalino (MCD) en el cual los granos de dimensiones  $\geq 1\mu\text{m}$  (ver figura 1C) producen el pico de diamante a  $1332\text{ cm}^{-1}$  parámetro de

onda. Estos micro diamantes varían en tamaño de  $0.5\mu\text{m}$  a  $2\mu\text{m}$ . La muestra A presenta una combinación de las bandas D y G predominantemente y T de enlace químico de átomos de carbono. El pico de diamante a  $1332\text{cm}^{-1}$  no se puede ver con espectros visible de Raman en UNCD. Solo se puede ver usando espectroscopía ultra violeta Raman con láser de  $\lambda=244\text{ nm}$ . La estructura de UNCD solo se puede ver con microscopía electrónica de trasmisión de alta resolución [1, 8, 13] La muestra B exhibe una combinación de las bandas T, D, and G e inconclusamente la banda de diamante también inmersa en la banda D.

El pico D tiene inmerso la información de la estructura de diamante caracterizada por el pico a  $1332\text{ cm}^{-1}$ (el cual se ve bien definido en el espectro Raman de MCD (C), pero que no se ve en láminas con la estructura UNCD-para ver el pico de diamante en UNCD se tiene que usar UV (244 nm) Raman) [9].

El pico G provee información de los átomos de carbono enlazados con ligaduras sp2 en los bordes de grano. El pico T representa la ligadura de átomos de carbono en la estructura transpolyacetylene.

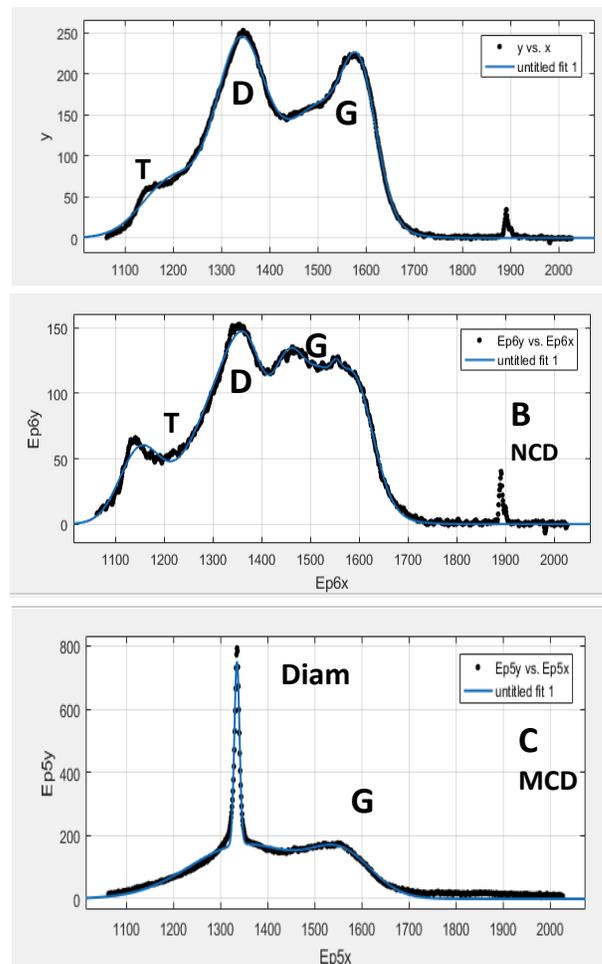


Figura 2. Resultados de la espectroscopía de Raman para las muestras A, B y C.

La concentración de portadores de cargas eléctricas se midió utilizando un sistema del efecto de Hall. Básicamente, la muestra es sometida a un campo magnético de alta magnitud (1.75 T) que induce una corriente eléctrica en la muestra. Dependiendo de la naturaleza de los portadores de carga, electrones (-) o huecos (+), se determina tipo N o tipo P, respectivamente. Las medidas se realizaron a temperatura ambiente durante un periodo de 2 horas. La figura 3 muestra el promedio de los resultados de la medición de concentración de hoja de portadores de carga eléctrica de hoja tomados en 5 direcciones geométricas.

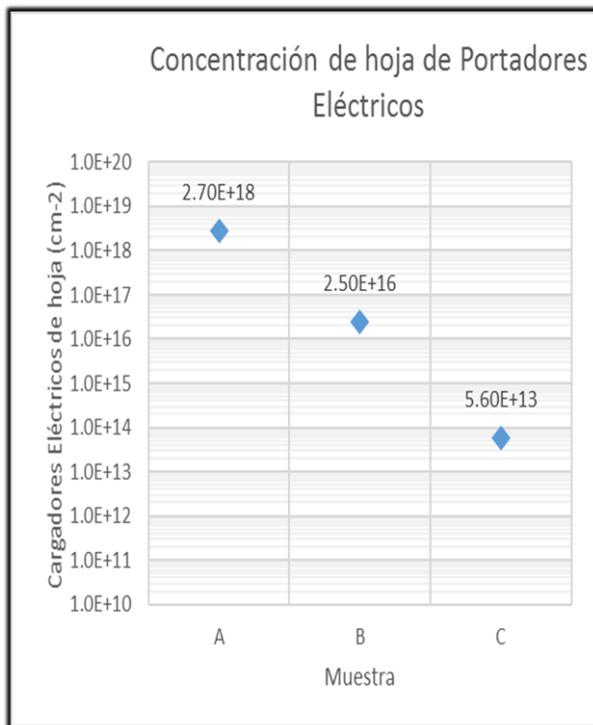


Figura 3. Concentración de hoja de portadores de cargas eléctricas medidos a temperatura ambiente en un sistema del efecto de Hall.

Como se puede apreciar en la gráfica de la figura 3, la lámina A exhibe la concentración de portadores de cargas eléctricas más alta entre las tres láminas analizadas, por más de cuatro órdenes de magnitud.

#### 4. Discusión

Este estudio sugiere que existe una correlación entre la estructura cristalina de las películas de diamante y los enlaces químicos de los átomos de carbón en correlación a la concentración de portadores de cargas eléctricas. La lámina A-UNCD en la figura 1 muestra que el pico Raman G, en la figura 2, que corresponde a carbono con enlace sp<sup>2</sup> en los bordes de grano, es el más grande, lo cual corresponde a una mayor proporción de átomos de carbono con enlaces químicos

que favorecen la conducción eléctrica a través de los bordes de granos. La lámina C prácticamente compuesta de granos de diamantes microcristalinos y una cantidad de bordes de granos de órdenes de magnitud inferior a la de UNCD, se comporta más como material de baja conductividad eléctrica. Cabe destacar que el diamante cristalino, por su alto nivel de banda prohibida es considerado también aislante eléctrico.

Dadas las características del diamante cristalino, que es aislante eléctrico, se especula que la conducción de portadores de cargas eléctricas ocurre en las fronteras de los granos y no a través del diamante mismo. [12]. Sin embargo, para poder aprovechar los beneficios del diamante, se requiere tener granos de diamantes en las muestras. El entendimiento de la relación entre la estructura cristalina y los enlaces químicos de átomos de carbono con la concentración de portadores de cargas eléctricas es importante para el avance de la tecnología de dispositivos eléctricos basados en películas de diamantes.

El estudio sistemático realizado por Hu et al [3], incorporando oxígeno como dopante en la producción de láminas de UNCD y calentando las muestras para cambiar la estructura física, demostró concentraciones de portadores de carga eléctricas similares a las medidas en las láminas de UNCD en este trabajo. Sin embargo, la estructura física de las láminas de UNCD en nuestro trabajo es diferente, como lo muestran las gráficas de la espectroscopía de Raman [3], ya que utilizaron una metodología diferente para la producción de las láminas de UNCD.

#### 5. Conclusiones

Este estudio muestra que existe una relación entre la estructura física de las películas de diamante y los ligamentos de los átomos de carbono con la concentración de portadores de cargas eléctricas.

El conocimiento básico de como ajustar el nivel de portadores de cargas eléctricas positivos y negativos en las películas de diamante es esencial para poder utilizarlas como base en dispositivos electrónicos de alto voltaje y alta temperatura.

Esta tecnología se presta para el desarrollo de industrias de alta tecnología de dispositivos electrónicos de alto voltaje y alta temperatura basados en películas de diamantes.

#### Agradecimientos

Agradecemos al Dr. Manuel Queveda (UTD) por proporcionar acceso y apoyo con los equipos de medición de portadores de carga en su laboratorio. Este trabajo fue financiado en parte por la Universidad Tecnológica de Panamá y por el grant de Endowed Chair del Professor O. Auciello en UTD.

## Referencias

- [1] O. Auciello, A.V. Sumant, Status review of the science and technology of ultrananocrystalline diamond (UNCD™) films and applications to multifunctional devices, *Diamond and Related Materials* **19**(2010) 699.
- [2] J.K. Yan, Li Chang Chemical vapor deposition of uniform and high-quality diamond films by bias-enhanced nucleation method. *Thin Solid Films* **498** (2006) 230.
- [3] X.J. Hu, J.S. Ye, H.J. Liu, Y.G. Shen, H. Hu n-type conductivity and phase transition in ultrananocrystalline diamond film by oxygen ion implantation and annealing. *J. of Appl. Phys.* **109** (2011) 053524-1
- [4] O. Auciello, P. Gurman, M. B. Guglielmotti, D.G. Olmedo, A. Berra and M. J. Saravia, "Biocompatible Ultrananocrystalline Diamond Coatings for Implantable Medical Devices". *MRS Bulletin*, vol. **39** (07) (2014) 621.
- [5] T. Tsubota, T. Fukui, T. Ito. Surface morphology and electrical properties of boron-doped diamond films synthesized by microwave-assisted chemical vapor deposition using trimethylboron on diamond (100) substrate. *Diamond and Related Materials* **9** (2000) 1362.
- [6] J. Birrell, J.E. Gerbi, O. Auciello, J.M. Gibson, D.M. Gruen, J.A. Carlisle. Bonding structure in nitrogen doped ultrananocrystalline diamond. *J. of Appl. Phys.* **93** (2003) 5606.
- [7] Y. Chu, Y. Tzeng, O.Auciello, Microwave Plasma enhanced chemical vapor deposition of nanocrystalline diamond films by bias-enhanced nucleation and bias-enhanced growth. *J. of App Phy* **115** (2014) 024308.
- [8] T.Wang, H.W. Xin, Z.M. Zhang, Y.B. Dai, H.S. Shen, The fabrication of nanocrystalline diamond films using hot filament CVD, *Diamond and Related Materials* **13** (2004) 6.
- [9] E.M.A. Fuentes-Fernandez, J.J. Alcatar-Peña, G. Lee, A. Boulom, H.Phan, B. Smith, T. Nguyen, S. Sahoo, F. Ruiz-Zepeda, M.J. Arellano-Jimenez, Pablo Gurman, C.A. Martinez-Perez, M.J. Yacaman, R.S. Katiyar, O. Auciello, Synthesis and characterization of microcrystalline diamond to ultrananocrystalline diamond films via Hot Filament Chemical Vapor Deposition for scaling to large area applications. *Thin Solid Films* **603** (2016) 62.
- [10] T. Zhang, X. Liu, F. Sun, Z. Zhang. The deposition parameters in the synthesis of CVD microcrystalline diamond powders optimized by the orthogonal experiment. *J. Cryst. Growth* **426** (2015) 15.
- [11] D.C. Barbosa, P. Hammer, V.J. Trava-Airoldi, E.J. Corat *Diamond Relat. Mater.* **23** (2012) 112.
- [12] D. Knight, W. White, Characterization of diamond films by Raman spectroscopy. *J. Mater. Res.* **4** (1989) 385.
- [13] S. Pecoraro, J.C. Armault, J. Werckmann, BEN-HFCVD diamond nucleation on Si(111) investigated by HRTEM and nanodiffraction. *Diamond and Related Materials.* **14** (2005) 137.

# Luteína y $\beta$ -caroteno como principales antioxidantes acumulados en la microalga *Dunaliella salina*

Cindy Mayorga<sup>1</sup>, Enrique Murillo<sup>2</sup> y Leopoldo Manso<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, <sup>2</sup>Universidad de Panamá  
cindy.mayorga@utp.ac.pa, emurillo29@hotmail.com, leopoldo.manso@utp.ac.pa

**Resumen:** *Objetivo:* En este estudio se llevó a cabo la identificación y cuantificación de los carotenoides acumulados por la microalga *Dunaliella salina* en un cultivador de tipo "raceway" en condiciones de laboratorio.

*Materiales y Métodos:* La biomasa fue obtenida primariamente con sulfato de aluminio como floculante, centrifugada y secada. Los carotenoides se identificaron mediante la técnica de HPLC en la biomasa húmeda y seca.

*Resultados:* Se encontró que los carotenoides principalmente acumulados por *D. salina* en las condiciones de laboratorio usadas fueron la luteína y el  $\beta$ -caroteno, carotenoides conocidos por su actividad antioxidante. En las muestras secas se mantienen los mismos carotenoides, pero con ligeras pérdidas con respecto a las muestras húmedas.

*Conclusiones:* La presencia de estos carotenoides permite el uso de la biomasa algal en suplementos alimenticios encapsulados beneficiosos a la salud.

**Palabras claves:** microalga, *Dunaliella salina*, carotenoides, suplementos alimenticios,  $\beta$ -caroteno, luteína.

**Title:** Lutein and  $\beta$ -carotene as the main antioxidants accumulated in the microalgae *Dunaliella salina*.

**Abstract:** *Objective:* In this study we identified and quantified the carotenoids accumulated by the microalgae *Dunaliella salina* in a raceway system in indoor conditions.

*Materials & Methods:* The biomass was obtained primarily using aluminium sulphate, centrifuged and dried. The carotenoids were identified by the HPLC method in wet and dry biomass.

*Results:* We found that the main carotenoids accumulated by *D. salina* in indoor conditions were lutein and  $\beta$ -carotene, carotenoids well-known by their antioxidant activity. The dry samples kept almost the same amount of carotenoids as in wet samples, with only a small loss.

*Conclusions:* The presence of these carotenoids allows the possible use of their algae biomass in healthy food supplements.

**Key words:** microalgae, *Dunaliella salina*, carotenoids, food supplements,  $\beta$ -carotene, lutein.

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 2 de agosto de 2016

Fecha de aceptación: 27 de mayo de 2017

## 1. Introducción

Las microalgas son organismos microscópicos fotosintéticos que crecen en ambientes de agua salada o dulce. Su mecanismo fotosintético es similar a las plantas terrestres, pero debido a su estructura celular simple y entorno acuoso donde tienen un acceso eficiente al agua, CO<sub>2</sub> y otros nutrientes, son generalmente más eficientes en convertir la luz solar en biomasa [1].

La primera evidencia científica de la existencia de las microalgas se remonta a 1838, cuando el científico francés Félix Dunal constata la presencia de un alga flagelada pequeña en los pantanos salados de las costas mediterráneas francesas; posteriormente, el botánico rumano Emanoil Teodoresco describió el hábitat de un nuevo género de alga unicelular halofílica *Dunaliella* en 1905 y nombrada por éste, en honor a Dunal [2].

Las microalgas pueden ser utilizadas para la elaboración de un rango amplio de metabolitos valiosos como proteínas, lípidos, carbohidratos, carotenoides o vitaminas para la salud, alimentos, cosméticos y producción de energía [3]. Estos compuestos y sus productos derivados han sido utilizados para un número de aplicaciones específicas como: suplementos nutricionales, aditivos alimentarios, piensos, cosméticos y biocombustibles [4].

El potencial de las microalgas como nuevas fuentes de valiosos productos químicos y otros productos, recientemente ha recuperado gran interés [5]. En las microalgas, los pigmentos son considerados como los productos de mayor potencial de éxito comercial. Los tres mayores grupos de pigmentos que se encuentran en las microalgas son las clorofilas (verde), los carotenoides (rojo, anaranjado y amarillo) y las ficobilinas (rojo y azul) [6].

## 2. Microalga *Dunaliella salina*

*Dunaliella salina* (figura 1) es una microalga verde encontrada principalmente en ambientes de agua salada y que es conocida por su actividad antioxidante protegiendo contra los radicales libres; debido a su habilidad de acumular carotenoides como el  $\beta$ -caroteno, luteína y zeaxantina, es utilizada en la industria de alimentos para la elaboración de suplementos alimenticios [7].



Figura 1. Observación microscópica de la cepa de *Dunaliella salina* aislada en Panamá.

Cuando las células de *Dunaliella salina* se estresan, comienzan a producir carotenoides protectores en las células [8], especialmente  $\beta$ -caroteno, cambiando el color de sus células de verde a anaranjado o rojo debido a que se encuentran en condiciones extremas como salinidad alta, radiación solar alta y bajos niveles de nitrógeno [9]. Hoy en día se sabe que *Dunaliella salina* es la mejor fuente comercial de  $\beta$ -caroteno natural, entre todos los organismos en el mundo [10].

El  $\beta$ -caroteno ayuda a disminuir los efectos dañinos de los radicales libres, los cuales se asocian a varias formas de cáncer. La luteína y la zeaxantina se relacionan a la disminución del riesgo de enfermedades crónicas como cataratas, la degeneración macular, la arteriosclerosis y también en la prevención del cáncer [11].

El objetivo de esta investigación es identificar y cuantificar mediante la técnica de HPLC, los carotenoides acumulados por la biomasa de una cepa panameña de *Dunaliella salina* cultivada a nivel de laboratorio en un cultivador tipo "raceway".

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1 Condiciones de cultivo

Se utilizó una cepa de *Dunaliella salina* aislada en la Cooperativa Salinera Marín Campos (figura 2) en Aguadulce, Provincia de Coclé, Panamá y mantenida en los laboratorios del Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales de la Universidad Tecnológica de Panamá (CEPIA).

Se llevó a cabo un cultivo semi-continuo en condiciones de laboratorio de *D. salina* en un cultivador de tipo "raceway" (figura 3) de 0.43 m<sup>2</sup> que contaba con una paleta giratoria a motor y un prototipo para la inyección de CO<sub>2</sub>. Para la iluminación, se colocaron sobre el cultivador lámparas fluorescentes blancas y focos de luces tipo LED azules y rojas aportando una densidad de flujo fotones PAR total de 84.49  $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Para el control de pH se utilizó un sistema ON-OFF con registro automático cada 10 s utilizando un potenciómetro conectado a un controlador Arduino Uno. Como actuador se utilizó una bomba peristáltica adaptada a un caudal de 15 mL/min de KOH 1M para el ajuste de pH en un rango de 8.00-9.00. Se cultivó para un volumen de 45 litros con el medio de cultivo de Borowitzka [12] a una salinidad del 12-13%. El cultivo semicontinuo se llevó a cabo durante 15 días.



Figura 2. *Dunaliella salina* en desagüe de salinera.



Figura 3. Cultivo de *Dunaliella salina* en cultivador "raceway".

El uso de luces fluorescentes, luces rojas y azules permiten un espectro de luz más completo y una mejor absorción por parte de los pigmentos fotosintéticos.

El medio de cultivo de Borowitzka contiene todos los nutrientes requeridos para el crecimiento de *D. salina*. Los niveles de pH en un rango de 8.00-9.00 y salinidad por arriba del 12-13% se establecieron por ser las condiciones selectivas para el crecimiento de *Dunaliella salina*.

#### 3.2 Obtención de biomasa

La biomasa del alga se cosechó a razón de un volumen de 20 L cada tres días en los días 9, 12 y 15 que corresponden a los días con mayor acumulación de biomasa. La concentración primaria se realizó por floculación con 0.5 g de sulfato de aluminio por cada litro, obteniendo una biomasa concentrada húmeda. Posteriormente, la biomasa se centrifugó a 2500 rpm durante 3 minutos para su obtención en pasta y finalmente, colocada en refrigeración a 10 °C durante 3 días para obtener la biomasa seca (figura 4).

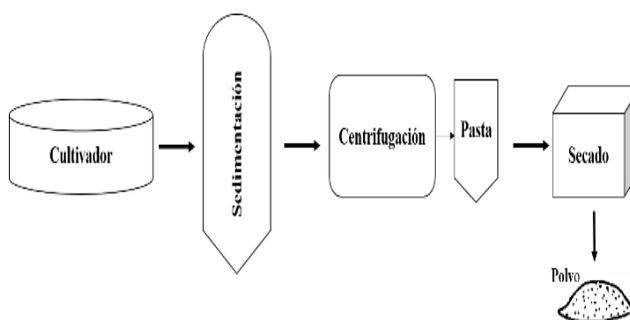


Figura 4. Diagrama de flujo para la obtención de biomasa.

Para cada 20 L cosechados en los días 9, 12 y 15, se obtuvo 1000 mL de biomasa húmeda aproximadamente en cada una de las cosechas. Posteriormente, una vez la biomasa húmeda se centrifugó y secó, se obtuvieron 10.0 g aproximadamente de biomasa en polvo al final del proceso.

### 3.3 Identificación y cuantificación de carotenoides por HPLC

La determinación de carotenoides se llevó a cabo con la cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) para identificar y cuantificar los carotenoides acumulados por la microalga en las condiciones bajo techo utilizadas; ya que, la composición de los carotenoides de forma individual es importante para conocer cuáles se encuentran principalmente y en qué cantidades.

Se realizaron tres repeticiones para la biomasa húmeda (figura 5) y la biomasa seca (figura 6).

#### 3.3.1 Extracción y remoción de agua y solventes

Se colocaron 3 muestras de 5 mL de biomasa húmeda en morteros distintos. Para la biomasa seca se pesaron 3 muestras de 0.5000 g colocándolas en morteros distintos y se añadieron 10 mL de agua destilada a cada muestra para rehidratar, dejándola en reposo durante 30 mins. Con la ayuda de un pilón se unificó la suspensión acuosa de la biomasa con 50 mL de acetona para la extracción de pigmentos. Se retiró la parte sobrenadante y se repitió varias veces la adición de acetona hasta que la solución sobrenadante fuera incolora.

Luego, junto a la solución de pigmentos se añadieron 100 mL de éter en hexano 1:1 y 100 mL de agua en un embudo separador para separar los pigmentos del agua y la acetona. Finalmente, la solución de pigmentos se transfirió a un balón y los solventes se eliminaron por evaporación a presión reducida [13.]



Figura 5. Biomasa de *Dunaliella salina* húmeda.



Figura 6. Biomasa de *Dunaliella salina* seca.

#### 3.3.2 Saponificación

La solución de pigmentos obtenida anteriormente, se añadió a un tubo de ensayo con 10 mL de NaOH al 5% en metanol. La mezcla se agitó y se envolvió el tubo de ensayo con papel aluminio para evitar la degradación de los carotenoides por la luz, colocándolo en un lugar oscuro. Se permitió la reacción de saponificación en reposo durante 2 horas.

Por último, a la solución en el tubo se le añadieron una mezcla 50:50 v/v de 100 mL de éter y agua en un embudo separador. Se observó una separación en 2 fases: una solución amarilla con los carotenoides en la parte superior y una solución verde con la clorofila en la parte inferior (figura 7). Se decantó la parte inferior y se guardó la solución de carotenoides en un tubo para su análisis [14].

#### 3.3.3 Análisis de carotenoides

Se midieron los carotenoides totales de la solución a 450 nm en un espectrofotómetro UV-VIS. Luego, se analizaron las muestras con alícuotas de 20  $\mu$ L de carotenoides en el equipo de HPLC Hewlett Packard Series 1050 utilizando los solventes metil-tert-butil-éter y metanol de grado HPLC en una proporción 75:25 v/v.

La identificación de los carotenoides se realizó con los picos cromatográficos que se analizaron comparando los tiempos de retención con los estándares. El cromatógrafo conectado a una computadora presentó un cromatograma y valores de porcentaje de área bajo la curva para su cuantificación individual a través del software Agilent 1050. El tiempo de análisis de las muestras fue de aproximadamente 40 mins [13].

El cálculo de los carotenoides totales (CT) en las muestras húmedas y secadas en frío se llevó a cabo con la siguiente ecuación:

$$CT \left( \frac{\mu\text{g}}{\text{g}} \text{ m.s.} \right) = \frac{4 \times V \times A \times FD}{P} \quad (1)$$

donde: V: volumen total, A: absorbancia, FD: factor de dilución y P: peso inicial.

Posteriormente, se llevó a cabo la cuantificación de los carotenoides de manera específica.



Figura 7. Obtención de carotenoides.

El cálculo de los carotenoides específicos (CE) está dado por la siguiente ecuación:

$$CE \left( \frac{\mu\text{g}}{\text{g}} \text{ m.s.} \right) = \frac{CT \times \% ABC}{100} \quad (2)$$

donde: CT: carotenoides totales y ABC: área bajo la curva.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1 Carotenoides totales y composición de carotenoides

La concentración de carotenoides totales fue calculada en  $\mu\text{g/g}$  m.s. Para las muestras húmedas se obtuvo un promedio de 3,468.52  $\mu\text{g/g}$  m.s. y para las muestras secas se obtuvo en promedio 2,928.69  $\mu\text{g/g}$  m.s. Estos datos permiten el cálculo de los carotenoides específicos.

La identificación de los carotenoides para las muestras húmedas y secas se muestran en el cromatograma de la figura 8 y 9 respectivamente. Los cromatogramas muestran 13 picos con los carotenoides e isómeros identificados con los patrones disponibles.

El análisis de las muestras en la biomasa húmeda y seca se realizó para comparar si el proceso de secado en frío mantenía la misma composición de carotenoides.

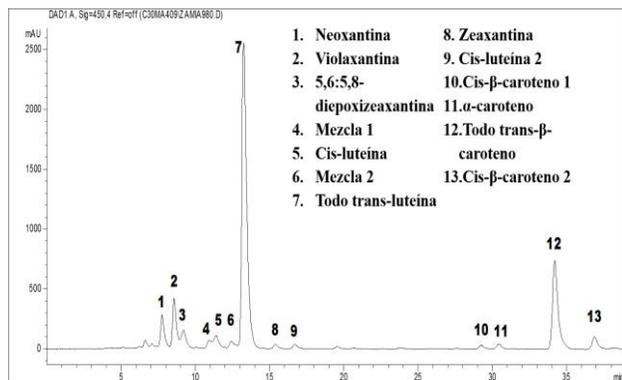


Figura 8. Cromatograma de HPLC de carotenoides extraídos en muestras húmedas.

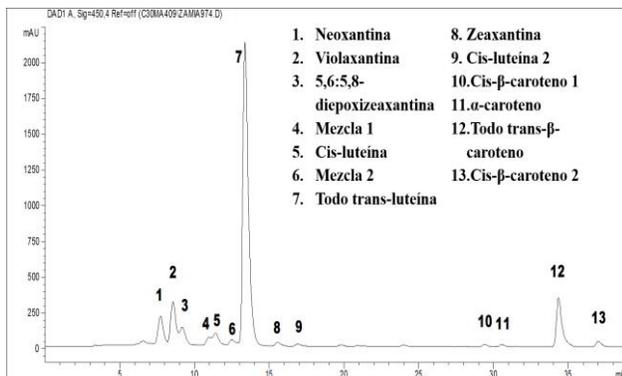


Figura 9: Cromatograma de HPLC de carotenoides extraídos en muestras secas.

Tanto para las muestras húmedas como para las secadas en frío se encontraron los mismos carotenoides, por lo que el proceso de secado permite mantener la composición de los carotenoides en la biomasa seca. La tabla 1 presenta la cuantificación promedio de los carotenoides en las muestras húmedas y secas.

La luteína y el β-caroteno fueron encontrados en más cantidad en esta microalga. Las mezclas 1 y 2 son una mezcla de carotenoides sin identificar debido a que sus características espectrales y datos de tiempo de retención no correspondían con los estándares disponibles.

Se encontró que el carotenoide más acumulado fue la luteína con 1,920.18  $\mu\text{g/g}$  m.s. en muestras húmedas y 1,806.10  $\mu\text{g/g}$  m.s. en muestras secadas en frío, seguido del β-caroteno con 615.29  $\mu\text{g/g}$  m.s. en muestras húmedas y 295.15  $\mu\text{g/g}$  m.s. en muestras secadas en frío.

Estos resultados corresponden con lo reportado por Kleinegris et al. [15] para un cultivo de *Dunaliella salina* sin estrés, mostrando que en el perfil de carotenoides se produce una mayor acumulación de la luteína seguido del β-caroteno; así también de los carotenoides violaxantina y neoxantina.

Tabla 1. Cuantificación de carotenoides específicos en muestras húmedas y secas

Carotenoides Específicos	Muestras Húmedas ( $\mu\text{g/g}$ m.s.)	Muestras Secas ( $\mu\text{g/g}$ m.s.)
Neoxantina	157.03	163.35
Violaxantina	229.48	247.47
5,6:5,8 Diepoxizeaxantina	110.15	112.78
Mezcla 1	34.44	37.78
Cis-luteína 1	101.92	80.50
Mezcla 2	43.24	38.92
Todo trans-luteína	1,920.18	1,806.10
Zeaxantina	24.36	21.38
Cis-luteína 2	27.11	13.13
Cis-β-caroteno 1	24.84	12.97
α-caroteno	32.09	11.05
Todo-trans-β-caroteno	615.29	295.15
Cis-β-caroteno 2	86.01	33.12

Se observó que los valores de los carotenoides en las muestras húmedas y las secadas en frío son similares. Además, se puede evidenciar que hay ligeras diferencias en los carotenos (cis-β-caroteno, α-caroteno y todo trans-β-caroteno) en las muestras húmedas con respecto a las muestras secadas en frío,

debido a que los carotenos son más sensibles e inestables que las xantofilas (neoxantina, violaxantina, cis-luteína, todo trans-luteína y zeaxantina). A pesar que la biomasa seca fue procesada en frío, hay ligeras pérdidas de los carotenos.

### 3. Conclusiones

En un cultivo masivo de *Dunaliella salina*, en las condiciones bajo techo utilizadas, se acumula principalmente luteína y  $\beta$ -caroteno, así también otros carotenoides en menor concentración como la zeaxantina, neoxantina, violaxantina y  $\alpha$ -caroteno.

El proceso de secado ayuda a mantener la misma composición de carotenoides en la biomasa seca sin sufrir grandes pérdidas con respecto a la biomasa húmeda.

Estos carotenoides que son conocidos por su capacidad antioxidante y anticancerígena, permiten la elaboración de suplementos alimenticios beneficiosos a la salud.

La principal limitante fue no poder llevar a cabo más repeticiones para la cuantificación de carotenoides y hacer un análisis estadístico para evaluar las muestras húmedas y secas.

En estudios futuros, se realizarán cultivos a cielo abierto de esta cepa de *D. salina* con aporte de la luz solar para lograr una mayor acumulación de carotenoides, principalmente del  $\beta$ -caroteno y comparar la acumulación de carotenoides en condiciones de laboratorio y de cielo abierto.

### Agradecimiento

Se agradece al Ingeniero Jorge Serrano por su apoyo en los sistemas de control para llevar a cabo el cultivo de la microalga. Al Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales por facilitar sus instalaciones para el desarrollo de esta investigación.

### Referencias

- [1] A. Carlsson, J. Beilen, R. Moller and D. Clayton, Micro and Macro-algae: utility for industrial applications. UK: EPOBIO, pp. 1-68, 2007. [http://www.biofuelstp.eu/downloads/epobio\\_aquatic\\_report.pdf](http://www.biofuelstp.eu/downloads/epobio_aquatic_report.pdf)
- [2] A. Oren. "A hundred years of Dunaliella research: 1905–2005", Saline Systems, vol. 1(2), pp. 1-14, Jul. 2005.
- [3] I. Priyadarshani and B. Rath B. "Commercial and industrial applications of micro algae", Journal Algal Biomass, vol. 4, pp. 89-100. 2012.
- [4] R. Shields, K. Flynn, B. Lovitt, C. Greenwell, I. Ratcliffe, P. Facey and R. Jarvis, "A Technology Review and Roadmap for Microalgal Biotechnology in Wales", Centre for Sustainable Aquaculture Research, Swansea University, United Kingdom, pp. 2-49, 2010.
- [5] M. Borowitzka, "High-value products from microalgae-their development and commercialization", Journal of Applied Phycology, vol. 25(3), pp. 743-756, 2013.
- [6] M. Koller, A. Muhr and G. Brauneegg, "Microalgae as versatile cellular factories for valued products", Algal Research, vol. 6, pp. 52-63, 2014.
- [7] S. Mokady, A. Abramovici and U. Cogau, "The safety evaluation of Dunaliella bardawil as a potential food supplement", Food Chemistry Toxicology, vol. 27, pp. 221–226, 1989.
- [8] D. Kleinegris, M. van Es, M. Janssen, W. Brandenburg and R. Wijffels, "Carotenoid fluorescence in Dunaliella salina", Journal of Applied Phycology, vol. 22, pp. 645-649, 2010.
- [9] T. Abu Rezaq, S. Al-Hooti, D. Jacob, M. Al-Shamali, A. Ahmed and N. Ahmed, "Induction and extraction of  $\beta$ -carotene from the locally isolated Dunaliella salina", Journal Algal Biomass, vol. 1(4), pp. 58-83, 2010.
- [10] A. Hosseini Tafreshi and M. Shariati, "Dunaliella biotechnology: methods and applications", Journal of Applied Microbiology, vol. 107(1), pp. 4-35, 2009.
- [11] E. Jin, B. Feth and A. Melis, "A mutant of the green alga Dunaliella salina constitutively accumulates zeaxanthin under al growth conditions" Biotechnology Bioengineering, vol. 81, pp.115-124, 2003.
- [12] M. Borowitzka, "The mass culture of Dunaliella salina", FAO Regional seafarming development and demonstration project, 1990. <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB728E/AB728E00.htm#TOC>
- [13] G. Britton, S. Liaaen-Jensen and H. Pfander, Carotenoids Handbook, 2nd ed., Berlin, Germany: Birkhauser, 1995.
- [14] L. Nollet, Food Analysis by HPLC, 2nd ed., New York, USA: Marcel Dekker, 2000.
- [15] D. Kleinegris, M. Janssen, W. Brandenburg and R. Wijffels, "The Selectivity of Milking of Dunaliella salina", Marine Biotechnology, vol. 12, pp.14-23, 2010.

# Metodología para el desarrollo de una distribución GNU/Linux para computación paralela

Huriviades Calderón-Gómez<sup>1</sup>, Miguel Vargas-Lombardo<sup>2\*</sup>

GISSES - Universidad Tecnológica de Panamá  
huriviades.calderon@utp.ac.pa, miguel.vargas@utp.ac.pa

**Resumen:** En este artículo se presentan las diferentes etapas de desarrollo para una distribución Linux adaptada a las necesidades de cómputo paralelo enfocada a un entorno académico y científico. Se hace especial énfasis en las metodologías de compilación cruzada y enjaulamiento root (Chroot Jail) utilizando código fuente de los paquetes GNU, permitiendo adecuar la distribución para que realice tareas de alto rendimiento como: proyectos MPI, minería de datos y de simulación enfocados en las ciencias básicas e ingenierías. Se desarrolla la distribución SpicaxOS bajo licenciamiento MIT con el propósito de demostrar las etapas que conlleva desarrollar una distribución GNU/Linux a la medida y las ventajas de ejecutar aplicaciones bajo el paradigma de la programación paralela en base a los resultados de esta investigación.

**Palabras claves:** compilación cruzada, distribuciones GNU/Linux, programación paralela, SpicaxOS, construcción de distribuciones Linux, Kernel.

**Title:** Methodology for the development of a GNU/Linux distribution for parallel computing

**Abstract:** This article presents the different stages of development for a Linux distribution, adapted to the needs of parallel computing, focused on the academic and scientific environment. Special emphasis is placed on cross-compilation methodologies and Chroot Jail by using source code of the GNU packages, allowing the distribution to run high tasks performance processes, such as: MPI projects, data mining and simulation focused on the basic sciences and engineering. The SpicaxOS distribution is developed under MIT licensing with the purpose to demonstrate the stages involved in developing of customized GNU/Linux distribution and the advantages of running applications under the paradigm of parallel programming based on the results of the research.

**Key words:** cross compile, GNU/Linux distributions, parallel programming, SpicaxOS, Construction of Linux distributions, Kernel.

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 24 de agosto de 2016

Fecha de aceptación: 7 de junio de 2017

## 1. Introducción

La popularidad de los sistemas multinúcleo ha hecho que la programación paralela llegue a ser una tarea de vital importancia para explotar de forma efectiva el hardware y aumentar el rendimiento de las aplicaciones [1].

Una distribución Linux es un conjunto de paquetes GNU desarrollada por grupos de personas, investigadores o empresas para satisfacer determinadas necesidades de sus usuarios [2].

En este trabajo describimos los pasos que seguimos para la construcción una distribución Linux que nosotros denominamos SpicaxOS, basándonos en el estudio de la documentación "Linux From Scratch" [3] y el comportamiento de otras distribuciones bajo el entorno de Linux [4], [5]. Se elabora el esquema de desarrollo para SpicaxOS, cuyo aporte principal es el soporte para la computación científica en paralelo.

La distribución SpicaxOS se fundamenta en seis características las cuales son:

- Un Kernel Linux modificado de la versión 4.4.13.
- Implementación del System V para administrar el proceso de arranque de la distribución.
- Integración del modelo ACL para la gestión de control de acceso de los usuarios [6].
- Implementación *udev* de *udev*, para la gestión de los periféricos *hotplug* y sus firmwares.
- Interfaz de escritorio denominada KDE (bajo Xorg).
- Entorno *Eclipse Parallel Tools Platform* (PTP).

La distribución SpicaxOS vincula dentro del paradigma de la programación paralela importantes implementaciones como: Open MPI [7], [8]. Esta distribución se centra en fortalecer las bases de la programación paralela en el contexto científico, permitiendo abstraerse de configuraciones e instalaciones complejas facilitando la pronta puesta en marcha de proyectos y cursos avanzados de computación científica.

Las problemáticas de diversidad de repositorios (*apt-get*, *yum*, *pacman* y entre otros) traen consigo muchas versiones de un mismo paquete GNU (estable, inestable y modificados), provocando corrupción de la variable de entorno (*path*). Además, la mayoría de las distribuciones GNU/Linux traen consigo diversos paquetes innecesarios o entornos gráficos de mucho consumo (GNOME), causando pérdidas en el rendimiento al momento de compilar y ejecutar aplicaciones MPI [5]. Se propone y desarrolla SpicaxOS para ofrecer mayor compatibilidad a las aplicaciones paralelas y realizar configuraciones avanzadas de los periféricos. Además, en el contexto científico se incluyen librerías completas para álgebra lineal, multiproceso, procesamiento de imágenes, expresiones regulares y de pruebas unitarias para GCC [9], [10].

Actualmente, existen muchos puntos a considerar sobre la construcción de una distribución a la medida de los desarrollos científicos actuales [5], [11], [12]. Debido a esto, hemos decidido delimitarlo a cuatro secciones, para así explicar la importancia del tema y las razones que justifican su estudio:

En la sección 2, se describen las etapas de desarrollo de la distribución. En la sección 3 se implementa la distribución con un entorno MPI. Luego, en la sección 4, se presentan los resultados

en base a la interacción con algoritmos en paralelo. En la última sección compartimos nuestra conclusión y contribución al realizar esta investigación.

## 2. Discusión sobre esta investigación

La presente investigación surge de la necesidad de desarrollar una distribución compacta, flexible y segura dentro de las líneas de investigación (sistemas distribuidos) del grupo afiliado. Sin duda la necesidad principal entre los integrantes eran las siguientes interrogantes: ¿Cómo interactúa el kernel del sistema entre sus diversas capas?, ¿Desde dónde partimos en el desarrollo de la distribución GNU/Linux a nuestra medida?

Sobre las bases de las ideas expuestas, se analizaron los problemas más significativos al ejecutar computación paralela en distribuciones enfocada al usuario final:

- Diversidad de versiones de un mismo paquete GNU entre los repositorios.
- Modificaciones a la estructura del árbol de directorios, según el estándar *Filesystem Hierarchy Standard* (FHS) [13].
- Integración de paquetes secundarios o innecesarios para el enfoque del paralelismo.
- Poco soporte al paralelismo, algunas distribuciones traen consigo versiones de paquetes MPIs obsoletos. En consecuencia, se presentan vulnerabilidades de seguridad, o falta de paquetes complementarios para un mayor rendimiento [14]-[18].

La búsqueda de evidencias en países europeos, y en especial en España en las administraciones autonómicas han fomentado la creación de sus propias distribuciones de GNU/Linux para facilitar el acceso a servicios de TIC en el terreno de las gestiones públicas como en las dependencias municipales y en el educativo, y con ello no invertir en el pago de licencias para sistemas y aplicaciones propietarias. Por ejemplo: la Comunitat Valenciana, ha desarrollado Lliurex para facilitar el acceso a las tecnologías de la información y las comunicaciones dentro del ámbito educativo [19], [20].

Como complemento a esta investigación, mencionaremos las distribuciones GNU/Linux desarrolladas para específicas necesidades enmarcada al modelo de programación paralela [21]-[24]:

- PelicanHPC
- KestrelHPC
- ABC GNU/Linux
- Rocks

De las evidencias anteriores, señalaremos las ventajas de construir distribuciones GNU/Linux:

- Integración de código fuente bajo software libre y/o open Source.
- Flexibilidad de la distribución para adaptarse a las necesidades demandas por los desarrolladores.
- Adquisición de bajo costo.
- Independencia con proveedores y/o grupo de desarrolladores de las distribuciones principales de GNU/Linux.

Si bien es cierto al contar con la independencia de proveedores, las distribuciones construidas requieren de un

grupo de desarrolladores especializados para el mantenimiento y soporte de la misma. Por ello se hace necesario un mínimo de tres desarrolladores enfocado en *Shebang* bajo entorno Linux.

## 3. Descripción de la distribución SpicaxOS

El kernel Linux es el componente central de una distribución GNU/Linux. Un kernel se encarga de manejar los recursos hardware como CPU, memoria, dispositivos *Hotplug*, los discos duros, y proporciona abstracciones que le dan a las aplicaciones una visión consistente de esos recursos [25]. SpicaxOS se construye en base a la versión 4.4.13 del kernel Linux (modificado) únicamente para 64 bits. Se utiliza *busybox* para iniciar la imagen de la distribución mediante RAM, cuyo paquete depende de un gestor de arranque del sistema (*Syslinux* o *Grub2*), paquetes GNU (Bash, Util-Linux, Make, GCC...) y entre otros. Todos estos componentes trabajan en conjunto desde la carga inicial de la imagen de kernel a través de *Initial Ram disk* (*initrd*) [26], [27] hasta la ejecución del entorno gráfico en KDE (ver figura 1).

Proponemos crear una partición dedicada bajo el formato "ext4" para la construcción de la distribución, en conjunto con los códigos fuentes de los paquetes GNU y en *scripts* desarrollados dentro de la investigación [3], [25], [28] en las siguientes subsecciones procedemos a explicar las diferentes etapas requeridas para el desarrollo de la distribución.

### 3.1 Construcción del sistema temporal mediante compilación cruzada (etapa 1)

El desarrollo de experimentos, bajo la arquitectura (x86-64) genera código ejecutable para una arquitectura diferente (x86, x86-64, ARM o PowerPC), cuyo concepto se denomina compilación cruzada. Mediante este método se requiere combinar elementos de recursos de hardware y de librerías que establezcan un ambiente óptimo para llevar a cabo esta tarea [29].

En el método de compilación cruzada, existen dos categorías:

- Huésped: es la distribución GNU/Linux (Gentoo, CentOS, Ubuntu, Mint, Slackware y entre otros), donde se realiza la compilación del sistema a construir (SpicaxOS). El cual utiliza sus propias librerías y enlace simbólico del directorio tools.

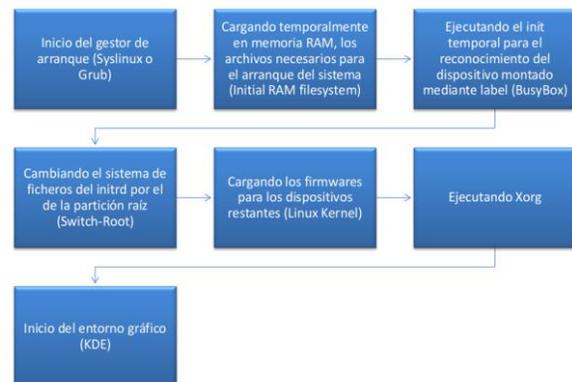


Figura 1. Diagrama del proceso "initrd" en spicaxos.

- **Objetivo:** es la partición de un disco (comúnmente separado del huésped), donde se ejecuta el sistema.

Durante esta etapa inicial, SpicaxOS es dependiente del sistema huésped; debido a que debe utilizar las librerías de huésped como base, y pueda compilarse a sí mismo, así puede ser adaptado a nuevas arquitecturas fácilmente (ver figura 2).

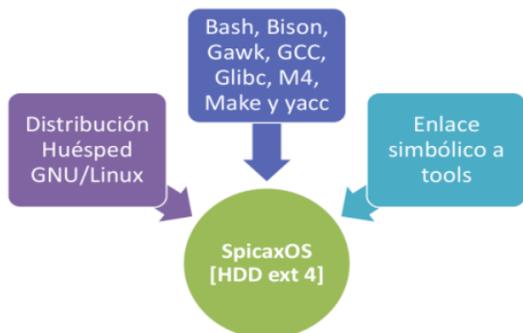


Figura 2. Diagrama de compilación cruzada para desarrollar SpicaxOS.

Además, para llevar a cabo esta metodología de compilación, se debe crear un nuevo usuario bajo un entorno controlado (definiendo reglas en el archivo de inicio del bash, `~/.bashrc`), y que no tenga privilegio (*non-root*); por consiguiente, si no se cumplen estas condiciones, puede causar daños irreversibles al huésped y/o al sistema a construir.

### 3.2 Construcción del sistema persistente a partir del sistema temporal bajo chroot (etapa 2)

El *chroot* (*change root*) es un proceso utilizado en sistemas operativos tipo UNIX, cuya función es intercambiar el fichero de raíz y sus procesos actuales en ejecución (sistema huésped) a un directorio (*Chroot Jail*) determinado en el sistema temporal (SpicaxOS) [30]. Este cambio se hace comúnmente para el mantenimiento del sistema, instalación de un gestor de arranque o configuración del mismo Kernel.

En el caso de SpicaxOS, esta etapa se realiza los siguientes cambios:

- Creación de directorios esenciales (Bin, Boot, Etc, Usr, Tmp y entre otros directorios), según FHS.
- Creación de ficheros y enlaces simbólicos esenciales (desvinculación con el sistema huésped mediante el directorio *tools*) [31].
- Instalación de los paquetes esenciales de GNU (Bash, Coreutils, Ncurses, Make y entre otros), cuya compilación e instalación se realiza con el código fuente del mismo.
- Configuración, compilación e Instalación de las cabeceras del Kernel a SpicaxOS.

Antes de entrar al entorno *chroot*, se debe tener presente que solo estarán disponibles las librerías, enlace simbólico y ficheros del **sistema objetivo**; por consiguiente, todos los directorios dentro de Spicax OS, deben seguir el estándar FHS. Teniendo

en cuenta, lo anteriormente expuesto se explicará un ejemplo de enjaulamiento:

Si en el sistema huésped se está utilizando **vim** (editor de texto) para editar ficheros de configuración de los paquetes GNU, y procedemos al enjaulamiento del sistema objetivo, no se podrá acceder al editor de texto del sistema huésped; debido a que el *chroot* ejecuta los procesos bajo un directorio raíz simulado; por consiguiente, de ser necesario el paquete **vim**, éste se deberá instalar dentro del sistema objetivo (SpicaxOS).

Con referencia al ejemplo planteado, el entorno *chroot* es vital en el desarrollo de una distribución GNU/Linux; debido a que el proceso ejecutado en el sistema objetivo, no pueda acceder a los archivos fuera de ese directorio (sistema huésped), esto se da para evitar daños en ambos sistemas (ver figura 3).

### 3.3 Instalando el kernel y sus módulos en el sistema persistente (etapa 3)

El kernel de Linux está escrito en el lenguaje de programación C, con una pequeña cantidad de lenguaje ensamblador [28]. Una de las características de este kernel, es su flexibilidad; debido a que cuenta con la integración de módulos, cuya cantidad de código puede superar a los siete millones de líneas [28].

Por otra parte, este kernel puede ser ejecutado en una gran gama de dispositivos, desde un microordenador hasta supercomputadoras.

Ninguna distribución GNU/Linux, proporciona un kernel exacto para satisfacer todas las necesidades de la mayoría de los usuarios. Por ello, se habilita la personalización del kernel (*kernel hacking*); por consiguiente, si un usuario adquiere un dispositivo nuevo, este podrá agregarlo al kernel y utilizarlo [3], [28].

Para la realización de una construcción y/o configuración del kernel, solo se requiere de tres paquetes:

- **Compilador:** se requiere del compilador de GCC, cuyo paquete en su mayoría son incluidos en las distribuciones GNU/Linux.
- **Enlazador:** no todo el trabajo es realizado por el compilador. También, es requerido un conjunto de herramientas adicionales (*binutils*), cuya función es de vincular y montar los códigos fuente.
- **Make:** es una herramienta que recorre el árbol de código fuentes del kernel para determinar los ficheros que necesitan ser compilados, y luego llama al compilador y otras herramientas de generación para hacer el trabajo en la construcción del kernel.

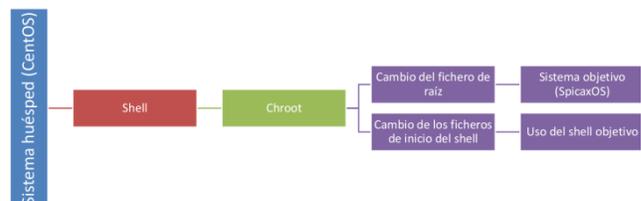


Figura 3. Diagrama del enjaulamiento root del sistema huésped para desarrollar a SpicaxOS.

Para llevar a cabo, la instalación del kernel y sus módulos en conjunto con los paquetes mencionados (GCC, Binutils y Make) dentro de la distribución, es necesario realizar las configuraciones de las listas de opciones del kernel mediante un gestor de menú [32]. Existen diferentes menús para realizar la configuración, teniendo en cuenta si la distribución en su momento cuenta con una interfaz gráfica (GNOME, KDE o XFCE):

- Menú basado en texto: no requiere interfaz gráfica, pero se necesita responder a todas las opciones y no es posible acceder a las opciones en un orden distinto al que se muestran [32].
- Menú pseudográfico basado en Ncurses: mediante el modo texto se ejecuta un menú pseudográfico navegable, solamente por teclado, para seleccionar las opciones deseadas.
- Menú gráfico basado en Qt4 o GTK+: mediante el uso de una interfaz gráfica se invoca un formulario de opciones, utilizando el teclado o ratón, para seleccionar las opciones deseadas.

Antes de entrar en consideración, existen tres formas de configurar las secciones del kernel (seguridad, dispositivos, kernel hacking y entre otros), bajo las siguientes categorías:

- *Built it* (construido)
- *Module* (módulo)
- *Excluded* (excluido)

Por ejemplo, para habilitar automáticamente la gestión de los periféricos *hotplug*, requerido para soportar LiveUSB, es necesario “construir” a *udev* dentro del kernel. Otro ejemplo, los dispositivos de puerto paralelo (impresora) se puede habilitar manualmente por el usuario como “módulo” o simplemente “excluirlo” dentro del kernel.

### 3.4 Integrando el gestor de arranque en el sistema persistente (etapa 4)

Este es un programa sencillo, encargado exclusivamente de preparar todo lo que necesita el sistema operativo para iniciar [33]. Esta integración se ha dejado a decisión del usuario, cual gestor de arranque requiera habilitar en el sistema (Grub y Syslinux), bajo la categoría de etiquetas de disco mediante *initramfs*. Esto se utiliza para indicarle el directorio raíz estable al fichero *fstab*, cuya función es determinar dónde se encuentran los sistemas de archivos para ser montados por defecto, en qué orden, y que deben ser controladas (por errores de integridad) antes del montaje en el sistema [31].

### 3.5 Instalando la interfaz de escritorio de KDE en el sistema persistente (etapa 5)

Antes de habilitar KDE en la distribución, se requiere de la configuración del entorno del sistema X Windows (Xorg), cuya función es proporcionar una interfaz de Hardware-Desktop Environment para la manipulación y configuración de la infraestructura de ventanas gráficas de entrada y video [31], [34].

KDE es un entorno de escritorio basado en el framework Qt, cuya ventaja es la flexibilidad de configuración gráfica. Debido a esta ventaja, se elige KDE para ser instalado dentro de SpicaxOS en base a otras investigaciones [35], [36].

## 4. Implementación el entorno adecuado para programación en paralela

MPI (Message Passing Interface) es una interfaz de biblioteca de paso de mensajes especificado, se ocupa primordialmente de paso de mensajes de los datos para ser movido desde el espacio de direcciones de un proceso a otro, mediante el uso de operaciones de cooperativas en cada proceso [37].

Si bien es cierto, MPI no exige una determinada implementación del mismo; por consiguiente, es importante dar al desarrollador una colección de funciones para que éste diseñe su aplicación, sin que tenga necesariamente que conocer el hardware sobre el que se va a ejecutar, ni la forma en la que se han implementado las funciones que emplea [5], [37]. A causa de esto, hay una amplia variedad de implementaciones MPI. Algunas de las implementaciones más populares son: Open MPI, Open MP y entre otras.

Por otra parte, en la distribución SpicaxOS se integra a Open MPI, como compilador MPI estándar. Este proyecto, tiene la capacidad de combinar los conocimientos, tecnologías y recursos de toda la comunidad de computación de alto rendimiento (académica, de investigación y de la industria) con el fin de crear una mejor biblioteca MPI [38]. Para instalar Open MPI (v.1.8.4) en una distribución GNU/Linux se debe contar con algunas dependencias (ver tabla 1).

Tabla 1. Requisito de paquetes para Open MPI

Nombre	Versión	Dependencias
GCC	5.3.0	si
Boost	1.60.0	si
Libatomic_ops	7.4.2	no
OpenSSH	7.1	si

De igual manera, para un soporte óptimo de las colecciones de compiladores modulares, reutilizables y de enlazadores. Se agrega el paquete completo LLVM – v.3.7.1 en SpicaxOS, cuyas bibliotecas de bajo nivel ofrecen un optimizado compilador independiente, junto con el apoyo de generación de código para muchos CPUs populares e igualmente el soporte para algunos menos comunes [3].

## 5. Resultados y discusión

Las pruebas realizadas a SpicaxOS permitieron determinar la eficiencia de desarrollar una distribución GNU/Linux a medida, se utilizó como primer parámetro la métrica *Standard Build Unit* (SBUs) [39]. Esta métrica da un tiempo estimado de compilar e instalar un paquete (GCC, Boost u Open MPI) en la distribución, se utiliza la función *time* del *bash* (no se debe incluir el tiempo

para descomprimir el paquete) y mediante un archivo de registro “log” se determina el tiempo utilizado para instalar el paquete [39]. Por ejemplo, el paquete Boost tiene un estimado de 5.5 SBUs equivalente a 16 minutos aproximadamente en ejecución con una computadora moderna.

El resultado de este parámetro en SpicaxOS, utilizando un procesador Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU @ 2.20GHz y memoria RAM de 8192MB fue de 5.35 SBUs; mientras que en Ubuntu fue de 5.37 SBUs, nuestra hipótesis basándose en la documentación de la comunidad LFS [3] era de 5.48 ~ 5.6 SBUs. Otro parámetro utilizado es el tiempo de finalizar una tarea MPI con 4 cores, se tuvo que configurar un entorno controlado bajo las siguientes condiciones:

- La distribución GNU/Linux debe contar con la versión 4.4.x del Kernel.
- El paquete GCC con una versión superior a la 5.2.
- Es obligatorio ejecutar las pruebas bajo el modo **prompt** del Shell y en el mismo equipo (Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU @ 2.20GHz y memoria RAM de 8192MB).

Además, se desarrolló un algoritmo bajo la sintaxis MPI-C [38], cuya función es **paralelizar** una lectura de un archivo de texto plano, con una gran cantidad de datos numéricos, para concatenar una suma generalizada de esta lectura. A continuación, los resultados obtenidos (ver tabla 2).

Tabla 2. Resultado de las muestras

Distribución	Muestra 1. Tiempo en ejecución (segundos)	Muestra 2. Tiempo en ejecución (segundos)	Muestra 3. Tiempo en ejecución (segundos)	Muestra 4. Tiempo en ejecución (segundos)
Ubuntu 16.04	1.61673	1.22363	1.17181	1.20945
Fedora 23	1.23124	1.30247	1.16236	1.21751
Rocks 6.2	1.20500	1.21904	1.15053	1.20945
SpicaxOS	1.20568	1.19812	1.20669	1.23292

La hipótesis basándose en la ejecución del algoritmo en el clúster de GISES fue de 0.45305 segundos; por consiguiente, se determinó un rango de aceptación de 1.0 ~ 1.5 segundos, todas las distribuciones, incluyendo a SpicaxOS, se encuentra dentro del rango de aceptación.

Un hallazgo importante obtenido fue que a medida que se integraba el soporte a varios dispositivos como: sonido, red y tarjeta de video bajo la categoría de construcción en el kernel, la carga inicial de la distribución sufría una ralentización. Para evitar esto, las distribuciones GNU/Linux utilizan módulos dentro del kernel, cuyo llamado se realiza manualmente por el usuario; por consiguiente, se reduce considerablemente el peso y la carga en el Kernel. Por ello, se optó que los dispositivos

adicionales (bluetooth y tarjetas inalámbricas), se integren al Kernel como módulos [3], [5], [28]. Adicionalmente, se optó Busybox en conjunto con un *script bash* para la creación de LiveUSB.

Además, se realizó la integración de un pequeño gestor de paquetes llamado *spicax*, al igual que la distribución construida, con la capacidad de gestionar paquetes y/o módulos propios al sistema.

Otra tarea prioritaria del gestor de paquete *spicax* es realizar las configuraciones PATHs para el funcionamiento de los paquetes MPIS instalados en el sistema.

Como complemento a los resultados de esta investigación, compartiremos el url (<http://www.gisespanama.org/distro.html>) que aloja la versión beta de SpicaxOS.

## 6. Conclusiones

Con el desarrollo del presente estudio se logró completar el objetivo propuesto, obtener una distribución estable y modificable según las necesidades del entorno científico y académico con soporte a la computación en paralelo.

Al mismo tiempo, se logró demostrar todos los pasos involucrados en la construcción de una distribución GNU/Linux y de permite a los usuarios desarrollar sus módulos, repositorios o utilizar a SpicaxOS, como sistema huésped para crear sus variantes o propias distribuciones.

Como trabajos futuros se tiene contemplado el soporte para sistemas embebidos y de clúster. Además, sería de interés implementar versiones más recientes del kernel (4.9.9), que incluye el soporte a OrangeFS y USB 3.1 [40].

## 7. Agradecimiento

Este trabajo fue apoyado en parte por el grupo de investigación en salud electrónica y supercomputación (GISES) de la Universidad Tecnológica de Panamá y al programa Sistema Nacional de Investigación (SNI) de la SENACYT, el cual uno de los dos autores es miembro.

## Referencias

- [1] J. González, “UPCBLAS: a numerical library for unified parallel C with architecture-aware optimizations,” La Coruña, España, 2012.
- [2] J. Esteve y R. Suppi, Administración de Sistemas GNU/Linux, 4 ed., 2014.
- [3] G. Beekmans y B. Dubbs, Linux From Scratch, 2016, p. 364.
- [4] W. J. Shotts, The Linux Command Line: A Complete Introduction, 1 ed., No Starch Press, 2012, p. 480.
- [5] H. Calderón y L. Dominguez, “Desarrollo De Una Distribución Linux Para La Implementación De Aplicaciones Paralelas Científicas De Código Abierto,” Panamá, 2015.
- [6] I. Arenaza, “Proyecto escomposlinux: Uso de Listas de Control de Acceso (ACLs) en Linux,” 28 Marzo 2004. [En línea]. Available: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.escomposlinux.org/iarenaza/articulo-acls/acls-linux-samba.html>. [Último acceso: 23 Agosto 2016].
- [7] E. Fernández, “mpi-start and MPI-Utils,” CSIC, 2013.
- [8] S. Alexander y Y. Artem, The Parallel Universe: 20 Years of the MPI Standard, Intel, 2014.
- [9] B. Schäling, The Boost C++ Libraries, 2 ed., 2014.

- [10] K. Ahnert y M. Mulansky, "Odeint – Solving ordinary differential equations in C++," de *Numerical Analysis and applied mathematics: ICNAAM 2011*, 2011.
- [11] J. Hall, "crear distribuciones a medida," *Linux magazine*, p. 90, 2013.
- [12] D. Herrera, S. Lambert, Y. Fernández, M. Albalat, J. Castillo, H. Baranda y R. Mejías, "Estado actual de los sistemas de construcción de paquetes en diferentes distribuciones de GNU/Linux," *REVISTA CUBANA DE CIENCIAS INFORMÁTICAS*, vol. 6, nº 2, p. 17, 2012.
- [13] Linux Foundation, "Linux Foundation: FHS," 3 Junio 2015. [En línea]. Available: <https://wiki.linuxfoundation.org/en/FHS>. [Último acceso: 31 Julio 2016].
- [14] Ubuntu, "Change log for openmpi package in Ubuntu," 11 Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://launchpad.net/ubuntu/+source/openmpi/+changelog>. [Último acceso: 27 Abril 2017].
- [15] D. Jansen, "Red Hat Bugzilla: Bug 1301533 - mpif90 fails to locate mpi.mod," 25 Enero 2016. [En línea]. Available: [https://bugzilla.redhat.com/show\\_bug.cgi?id=1301533](https://bugzilla.redhat.com/show_bug.cgi?id=1301533). [Último acceso: 27 Abril 2017].
- [16] Open MPI, "Open MPI: Version Timeline," 21 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.open-mpi.org/software/ompi/versions/timeline.php>. [Último acceso: 27 Abril 2017].
- [17] Open MPI, "Open MPI: Version Number Methodology," 27 Julio 2016. [En línea]. Available: <https://www.open-mpi.org/software/ompi/versions/>. [Último acceso: 27 Abril 2017].
- [18] Open MPI, "FAQ: Running MPI jobs - 2. What ABI guarantees does Open MPI provide?," 2016 Julio 21. [En línea]. Available: <https://www.open-mpi.org/faq/?category=running>. [Último acceso: 27 Abril 2017].
- [19] C. V. Albalat, "Musicogrames mitjançant les TIC del sistema operatiu LliureX," Repositori Universitat Jaume I, Valenciana, 2015.
- [20] Comunitat Valenciana, "Proyecto LliureX," Comunitat Valenciana, [En línea]. Available: <http://mestreacasa.gva.es/web/lliurex/proyecto>. [Último acceso: 26 Abril 2017].
- [21] PelicanHPC, "PelicanHPC: Features," Michael Creel, [En línea]. Available: <http://www.pelicanhpc.org/index.html>. [Último acceso: 27 Abril 2017].
- [22] KestrelHPC, "What is KestrelHPC?," [En línea]. Available: <http://kestrelcluster.github.io/index.html#About>. [Último acceso: 17 Abril 2017].
- [23] I. Castanos, "ABC GNU/Linux," [En línea]. Available: <http://www.ehu.es/AC/ABC.htm>. [Último acceso: 27 Abril 2017].
- [24] Rocks, "Rocks: About," University of California, [En línea]. Available: [http://www.rocksclusters.org/wordpress/?page\\_id=48](http://www.rocksclusters.org/wordpress/?page_id=48). [Último acceso: 27 Abril 2017].
- [25] D. Bovet y M. Cesati, *Understanding the Linux Kernel*, 3 ed., O'REILLY, 2005, p. 944.
- [26] W. Almesberger, "Booting Linux: The History and the Future," de *Proceedings of the Ottawa Linux Symposium*, 2000.
- [27] J. Rajasekhar y R. Venkatesh, "Efficient initial RAM disk creation". Estados Unidos Patente US 8468334 B1, 18 Junio 2013.
- [28] G. Kroah-Hartman, *Linux Kernel in a Nutshell*, O'Reilly, 2006, p. 202.
- [29] E. López, "GNU/Linux embebido: Compilación cruzada," 2013. [En línea]. Available: <http://linuxemb.wikidot.com/tesis-c3>. [Último acceso: 30 Julio 2016].
- [30] L. McFearn, *Encyclopedia of Cryptography and Security: Chroot Jail*, Springer, 2011.
- [31] D. Morril, *Configuración de sistemas Linux*, España: Anaya Multimedia, 2002.
- [32] Gentoo, "Núcleo/Configuración," 24 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <https://wiki.gentoo.org/wiki/Kernel/Configuracion/es>. [Último acceso: 23 Agosto 2016].
- [33] P. Calleja, I. Miguel y J. Carmona, "Linux embebido en FPGA para sistemas de monitoreo industrial," *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 7, nº 1, p. 11, 2013.
- [34] R. Sánchez, "Estado del arte de los gestores de ventanas en GNU/Linux," Universitat Oberta de Catalunya, España, 2013.
- [35] T. Drilling, "Justo Antes de las 5: compilación de software KDE 4.10," *Linux magazine*, 2013, pp. 24-27.
- [36] R. Suvorov, M. Nagappan, A. Hassan, Y. Zou y B. Adams, "An empirical study of build system migrations in practice: Case studies on KDE and the Linux kernel," de *Software Maintenance (ICSM), 2012 28th IEEE International Conference on*, Trento, 2012.
- [37] B. Barney, "Message Passing Interface (MPI)," Lawrence Livermore National Laboratory, 30 Junio 2016. [En línea]. Available: <https://computing.llnl.gov/tutorials/mpi/>. [Último acceso: 31 Julio 2016].
- [38] Open MPI, "Open MPI v.1.8.8 documentation," Open MPI, 27 julio 2016. [En línea]. Available: <https://www.open-mpi.org/doc/v1.8/>. [Último acceso: 1 agosto 2016].
- [39] B. Dubbs, "About SBUs," *Linux From Scratch*, 1 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.linuxfromscratch.org/~bdubbs/about.html>. [Último acceso: 23 Agosto 2016].
- [40] Linux Foundation, "The Linux Kernel Archives," 16 Agosto 2016. [En línea]. Available: <https://cdn.kernel.org/pub/linux/kernel/v4.x/ChangeLog-4.6.7>. [Último acceso: 17 Agosto 2016].

# Mildred Dresselhaus: la reina del carbono

**Guadalupe G. González**

Universidad Tecnológica de Panamá  
Facultad de Ingeniería Eléctrica  
guadalupe.gonzalez@utp.ac.pa

**Resumen:** este artículo presenta la vida de Mildred Dresselhaus, profesora emérita de Física e Ingeniería Eléctrica del MIT, cuyas contribuciones se encuentran en los campos de la ingeniería eléctrica y física, específicamente siendo investigadora pionera en las propiedades del carbono y las nano-estructuras. Tristemente la reina del carbono, como se le apodaba cariñosamente, falleció el 20 de febrero de 2017 a los 86 años de edad.

**Title:** Mildred Dresselhaus: the queen of carbon

**Abstract:** this article presents the life of Mildred Dresselhaus, professor emeritus of Physics and Electrical Engineering of the MIT, whose contributions are in the fields of electrical engineering and physics, specifically being pioneer researcher on the properties of carbon and nanostructures. Sadly, the queen of carbon, as she was kindly nicknamed, passed away on February 20<sup>th</sup>, 2017 being 86 years old.

## Introducción

En esta edición de Tecno Historia me complace escribir sobre una mujer que dedicó su vida a la ciencia, así como a promover que más mujeres formen parte de profesiones en STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, STEM por sus siglas en inglés). Siendo yo miembro senior del IEEE me conmueve el saber que la Dra. Dresselhaus ha sido la primera y única mujer en 100 años que lleva este prestigioso instituto entregando la Medalla de Honor en recibir este reconocimiento en el 2015 por su liderazgo y contribuciones a lo largo de diversos campos en la ciencia e ingeniería. Definitivamente que la Dra. Dresselhaus es un ejemplo a seguir, sus investigaciones en superconductividad, las propiedades electrónicas del carbono, termoelectricidad y la física a nano-escala han ayudado al desarrollo de numerosos descubrimientos científicos.

## Sus inicios

Mildred (Millie) Dresselhaus (née Spiewak), de origen judío cuya familia provenía de Polonia, nació el 11 de noviembre de 1930 en Brooklyn, Estados Unidos, y fue criada con escasos recursos en el barrio del Bronx. Gracias a su hermano Irving, quien era un prodigio de la música, pudo atender una buena escuela secundaria, Hunter College High School y seguir en el sistema universitario del Hunter College donde recibió su título de Licenciatura en Ciencias en 1951. Ganó una beca Fulbright para realizar estudios en el Newnham College de la Universidad de



Fuente: University of Pennsylvania - Department of Physics

Cambridge por un año y al regresar a Estados Unidos asistió al Radcliffe College de la Universidad de Harvard donde obtuvo su maestría en 1953. Su doctorado lo recibió de la Universidad de Chicago en 1958 donde estudió bajo el Nobel Laureate Enrico Fermi. De 1958 a 1960, Dresselhaus formó parte del programa postdoctoral de la Universidad de Cornell auspiciada por la National Science Foundation de los Estados Unidos [1, 2].

Es importante resaltar que en la década de los 40's a las mujeres se les recomendaba estudiar para ser maestras de escuela, secretarias o enfermeras. Su maestra de física, Rosalyn Yalow quien luego ganó el Premio Nobel en Fisiología o Medicina en 1977, reconoció su talento y la motivó a explorar más a fondo su interés en la ciencia [1].

En 1958 se casó con su colega, el físico teórico, Gene Dresselhaus a quien conoció en Chicago mientras trabajaban en el área de semiconductores. En vista de que esta área de investigación estaba en boga, ambos tuvieron la oportunidad de unirse como profesores al MIT en 1960; sin embargo, Millie decidió moverse al área de investigación sobre materiales basados en carbono ya que estaba asociada a la electrónica de estado sólido, pero era menos competitiva y le permitía criar tranquilamente a sus hijos: Maryann, Carl, Paul y Elliot [2].

## Su vida profesional

La Dra. Dresselhaus trabajó toda su vida profesional como profesora e investigadora en el MIT. Comenzó su carrera en el Laboratorio Lincoln en la División de Estado Sólido donde migró de hacer investigación en superconductividad a magneto-óptica y desarrolló una serie de experimentos que llevaron a la comprensión básica de la estructura electrónica de semi-metales, específicamente, grafito [3]. En 1967 se unió como profesora al Departamento de Ingeniería Eléctrica, en 1983 al Departamento de Física y se convirtió en la primera mujer en el MIT en alcanzar el título de Profesora Tiempo Completo (*full, tenured professor*) de Ingeniería Eléctrica y Física en 1985 [4].

Millie fue reconocida por sus investigaciones en las propiedades electrónicas de materiales bidireccionales. Su trabajo incluye la exploración de “buckyballs”, las cuales son moléculas esféricas, huecas compuestas de átomos de carbono que pueden utilizarse como lubricantes, filtros, catalizadores y para medio para entrega de fármacos. Su trabajo más sobresaliente se enfocó en descubrir las propiedades eléctricas de los nanotubos de carbono, así como mejorar las propiedades termoeléctricas de los nano-cables [5, 6].

Ella concibió la idea de rodar una hoja de una sola capa de átomos de carbono en un tubo hueco, una noción finalmente realizada como el nanotubo: una estructura versátil con la fuerza de acero, pero sólo una décima y la anchura de un cabello humano. Trabajó en cintas de carbono, semiconductores, monocapas no planas de sulfuro de molibdeno y los efectos de dispersión y vibración de pequeñas partículas introducidas en cables ultra finos [6].

A lo largo de su carrera, Mildred fue coautora de 8 libros y publicó más de 1700 artículos. Sus investigaciones han influenciado todo a nuestro alrededor, los autos que manejamos, la energía que generamos, en fin, en todos los aparatos electrónicos que están presentes en nuestra vida [6, 7].

## Roles de liderazgo

Más allá de su servicio en la universidad, la Dra. Dresselhaus desempeñó varios cargos de liderazgo incluyendo el servir como presidente de la Sociedad de Física Americana en 1984 y tesorera de la Academia Nacional de Ciencias de 1988 a 1992. También fungió como presidente de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia en 1997 y Directora de la Oficina de Ciencia del Departamento de Energía de los Estados Unidos en el 2000. Del 2003 al 2008, fue presidente de la Junta Directiva del Instituto de Física Americano [4].

## Honores y logros

A lo largo de su carrera la Dra. Dresselhaus obtuvo los siguientes reconocimientos:

- Título honorario como Doctor en Ciencias de la ETH Zurich, 2015.
- Medalla de Honor del IEEE (primera mujer en recibirla), 2015
- Inducción al Salón de la Fama de los Inventores Nacionales, 2014.
- Medalla Presidencial de la Libertad, 2014.
- Título honorario como Doctor en Ciencias de la Universidad Politécnica de Hong Kong, 2013.
- Premio Von Hippel de la Sociedad de Investigación de Materiales, 2013.
- Premio Kavli en Nano ciencias, 2012.
- Premio Enrico Fermi (segunda mujer en ganarlo), 2012.
- Premio Vannevar Bush (segunda mujer en ganarlo), 2009.
- Premio ACS, 2009.
- Premio Oliver E. Buckley de la Sociedad de Física Americana, 2008.
- Medalla Oersted, 2007.
- Premio L'Oreal-UNESCO, 2007.

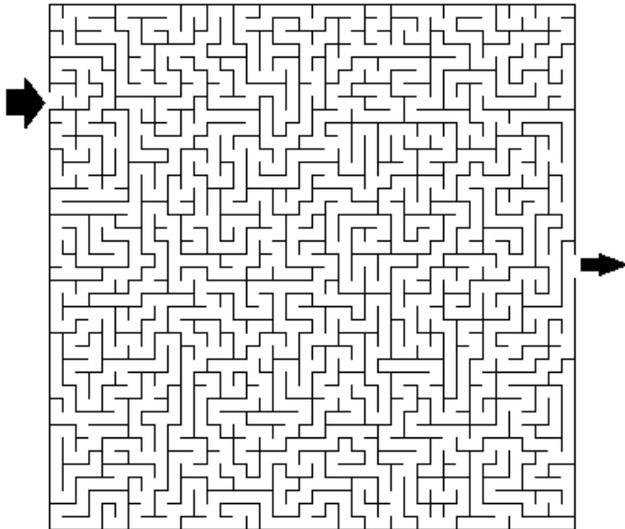
- Premio Heinz, 2005.
- Ganadora de la Medalla de Fundadores de IEEE, 2004.
- Medalla Karl Taylor Compton del Instituto Americano de Física, 2001.
- Medalla de Logros en Ciencia y Tecnología del Carbono, Sociedad Americana del Carbono, 2001.
- Miembro Honorario del Ioffe Institute, Academia de Ciencias Rusa, 2000.
- Premio Nacional al Avance de Materiales de la Federación de Sociedades de Materiales, 2000.
- Doctorado Honorario de la Universidad Católica de Leuven, Bélgica, 2000.
- Medalla Nicholson, Sociedad de Física Americana, 2000.
- Premio Carbono SGL, Sociedad Americana del Carbono, 1997.
- Medalla Nacional de la Ciencia, 1990.
- Premio al Logro de la Sociedad de Mujeres en Ingeniería, 1977.

## Referencias

- [1] Oficina de noticias del MIT, “Institute Professor Emerita Mildred Dresselhaus, a pioneer in the electronic properties of materials, dies at 86”, MIT News Office. Publicado: 21 de febrero de 2017. Consultado: 23 de mayo de 2017. [Online]. Disponible en: <http://news.mit.edu/2017/institute-professoremeritamildreddresselhausdies860221>
- [2] C. Cookson, “Mildred Dresselhaus, physicist, 1930-2017”, Financial Times. Publicado: 3 de marzo de 2017. Consultado: 23 de mayo de 2017. [Online] Disponible en: <https://www.ft.com/content/c111fc28ff9311e68d8ea5e3738f9ae4>
- [3] DOE R&D Accomplishments, “Mildred (Millie) Dresselhaus and Her Impacts on Science and Women in Science”, Research and Development of the US Department of Energy, Publicado: 9 de marzo de 2017. Consultado: 21 de febrero de 2017 [Online]. Disponible en: <https://www.osti.gov/accomplishments/dresselhaus.html>
- [4] A. Davis, “Mildred Dresselhaus is the First Woman to Receive the IEEE Medal of Honor”, The Institute: The IEEE news source. Publicado: 13 de marzo de 2015. Consultado el 28 de mayo de 2017. [Online]. Disponible en: <http://theinstitute.ieee.org/resources/ieee-news/mildred-dresselhaus-is-the-first-woman-to-receive-the-ieee-medal-of-honor>
- [5] R. Gaal, “Mildred Dresselhaus: 1930-2017”, APS News. Publicado: 21 de febrero de 2017. Consultado: 28 de mayo de 2017. [Online]. Disponible en: <https://www.aps.org/publications/apsnews/updates/mildred.cfm>
- [6] N. Angier, “Mildred Dresselhaus, the Queen of Carbon, Dies at 86”, The New York Times. Publicado: 23 de febrero de 2017. Consultado: 28 de mayo de 2017. [Online]. Disponible en: [https://www.nytimes.com/2017/02/23/science/mildreddresselhausdeadqueenofcarbon.html?\\_r=0](https://www.nytimes.com/2017/02/23/science/mildreddresselhausdeadqueenofcarbon.html?_r=0)
- [7] M. Anderson, “Mildred Dresselhaus, the Queen of Carbon”, IEEE Spectrum. Publicado: 28 de abril de 2015. Consultado: 28 de mayo de 2017. [Online]. Disponible en: <http://spectrum.ieee.org/geeklife/profiles/mildred-dresselhaus-the-queen-of-carbon>

“El mayor peligro para la mayoría de nosotros no es que nuestra meta sea demasiado alta y no la alcancemos, sino que sea demasiado baja y la consigamos” Miguel Ángel Buonarroti.

### LABERINTO



Tienes que completar todas las casillas existentes teniendo en cuenta que no pueden coincidir dos números iguales en la misma fila o en la misma columna, o dentro de un mismo cuadrante 3 x 3. Tan solo puedes usar números del 1 al 9.

6			1	3			2	
	1				5			
					8			9
7	5		2			6		
	4		9		7			8
	8		5	4		3		
		4	7			5	3	
	3			6			1	7

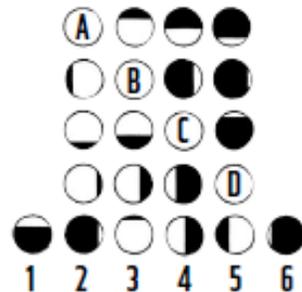
### MATHEMA GRID

#### Instrucciones

Complete la malla con los números faltantes.  
 Los números son enteros entre 0 y 9.  
 Los números en cada fila suman el total de la derecha.  
 Los números en cada columna suman el total de la última fila.  
 Las diagonales también suman el total de la derecha.

									38	
5			9		4		3	2	8	50
2						7		7	0	46
	9		1		9	7			2	44
	8		4	8			5	4		54
1	1	7	1				0			23
		1	6	4	0					29
4	5	2	4				2	1	5	39
			4			7	0	3		28
1	5	8		5			1			49
	4		1		3			7	0	36
24	53	44	39	47	41	59	24	41	26	38

¿Cuál de los círculos enumerados pertenece a A, B, C y D?



¿Cuáles son los valores de A, B, C y D?

1	2	8	7
5	7	6	9
17	13	33	27
14	16	31	29
6	9	A	B
2	3	C	D

### SUDOKU

#### Instrucciones

# Instrucciones para los autores

## Formato de los artículos

### PRISMA Tecnológico

Editorial Tecnológica  
[prisma@utp.ac.pa](mailto:prisma@utp.ac.pa)



**PRISMA Tecnológico** (ISSN 2076-8133) es una publicación anual de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) que se realiza a través de la Editorial Universitaria. Es una revista abierta que ofrece artículos de contenido tecnológico y científico multidisciplinarios, cuyo objetivo es divulgar conocimiento técnico-científico, comunicar temas de ingeniería y ciencias básicas y exactas, y presentar temas sociales desde una perspectiva técnica-científica, a profesionales y estudiantes de las diversas áreas de la ingeniería, así como al público en general, de manera comprensible y amena, con claridad, amplitud y responsabilidad.

PRISMA Tecnológico es una revista de divulgación tecnológica-científica de carácter general, cuyos artículos o ensayos deben tener un carácter, forma y nivel científico, pero también deben mantener un perfil y redacción tales que permitan su lectura e interés a un público nacional e internacional, de personas interesadas en la tecnología y la ciencia. Los artículos no son del tipo de una revista científica altamente especializada o teórica. La revista está dirigida a profesionales del área tecnológica, estudiantes universitarios de carreras tecnológicas, docentes universitarios, investigadores y público en general.

PRISMA Tecnológico es una revista abierta a todos los interesados en publicar, es decir, que los autores de los artículos no tienen que ser miembros de la Universidad Tecnológica de Panamá. Además, son bienvenidos los trabajos, en particular, de estudiantes universitarios de pregrado y postgrado con la orientación y colaboración de un docente tutor.

Cualquier aportación técnico-científica relacionada con algún área de la ingeniería en sus múltiples disciplinas es, en principio, susceptible de ser publicada en PRISMA Tecnológico.

### 1. Requisitos generales

Para cualquier trabajo científico remitido a PRISMA Tecnológico el Comité Editorial entiende que:

- Los trabajos no han sido publicados previamente ni enviados al mismo tiempo a otras revistas.
- Cumple con los criterios internacionales de autoría (véase el apartado de «Autorías»).
- No existen conflictos de intereses por parte de los autores, salvo que éstos lo hayan notificado convenientemente en el apartado correspondiente (véase el apartado de «Conflicto de intereses»).

- Los autores deben tener un perfil en ORCID.  
<https://orcid.org/>
- Se ajusta a la estructura de la sección de PRISMA a la que se envía el trabajo y cumple las instrucciones para los autores referentes a los trabajos enviados a la revista. En el caso de que esto no fuese cierto, el trabajo se devolvería sin revisar, o se mantendría fuera del circuito editorial hasta que los defectos fueran subsanados.
- Los comentarios y opiniones vertidos en sus páginas, siempre que no provengan del Comité editorial de forma colegiada, son los de los autores y no los del Comité por lo que PRISMA rechaza cualquier responsabilidad derivada de ellos. Además, los autores deben acatar el principio de libre acceso en revista científicas. Por lo tanto, todos los contenidos deben estar disponibles gratuitamente al público, con el objetivo de fomentar un intercambio de conocimiento científico-académico internacional mediante nuestra plataforma Open Journal System (OJS).
- Cada artículo será evaluado mediante el método de “**revisión por pares**” para conocer su calidad técnica, la originalidad, la contribución científica, entre otros criterios relevante. La revisión por pares se rige por el método de “**doble ciego**” para garantizar un proceso de evaluación libre de sesgo o conflicto de interés. Los dictámenes finales serán emitidos por el Comité Editorial de Prisma Tecnológico.
- Una vez atendida la opinión de los revisores, el Comité Editorial se reserva el derecho de rechazar los trabajos que no juzgue apropiados, así como de proponer las modificaciones de los mismos que considere necesarias.

### 2. Política de acceso abierto y cesión por licencia

Los autores que publican en PRISMA Tecnológico, revista de la Universidad Tecnológica de Panamá, están de acuerdo con los siguientes términos:

Los autores conservan los derechos de autor y garantizan a la revista el derecho de ser la primera publicación del trabajo, al igual que licenciado bajo [Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) que permite a otros compartir el trabajo con un reconocimiento de la autoría del trabajo y la publicación inicial en esta revista.

Los autores pueden establecer por separado acuerdos adicionales para la distribución no exclusiva de la versión de la obra publicada en la revista (por ejemplo, situarlo en un repositorio institucional o publicarlo en un libro), con un reconocimiento de su publicación inicial en esta revista y no se use para fines comerciales.

Los contenidos e imágenes que se incluyen en los artículos son responsabilidad del autor/es, la Revista Digital Prisma Tecnológico no se hace responsable de la información incluida en ellos.

Los autores están de acuerdo con la licencia de uso utilizada por la revista, con las condiciones de autoarchivo y con la política de acceso abierto.

Se permite a los autores difundir electrónicamente (por ejemplo, en repositorios institucionales o en su propio sitio web) la versión publicada de sus obras, ya que favorece su circulación

y difusión más temprana y con ello un posible aumento en su citación y alcance entre la comunidad académica.

En caso de reutilización de las obras publicadas, debe mencionarse la existencia y especificaciones de la licencia de uso, además de mencionar la autoría y fuente original de su publicación.

### 3. Conflicto de intereses

Los autores deben describir cualquier relación financiera o personal que tengan con otras personas u organizaciones y que pudieran dar lugar a un conflicto de intereses en relación con el artículo que se remite para publicación.

### 4. Autorías

En la lista de autores deben figurar únicamente aquellas personas que han contribuido sustancialmente al desarrollo del trabajo. Recuerde que autor es quien:

- Ha contribuido en la concepción y diseño del estudio, en la obtención de los datos, o en su análisis e interpretación.
- Ha intervenido en la redacción del trabajo o en su revisión crítica, haciendo aportaciones intelectuales relevantes.
- Ha dado su aprobación final a la versión que se envía para publicar.

En ningún caso puede considerarse autor a quien haya intervenido únicamente en la obtención de financiación, la recogida de los datos o la supervisión general del equipo de investigación. Este tipo de participación podrá ser reconocida en la sección de agradecimientos.

### 5. Secciones de la revista

PRISMA Tecnológico es una revista de divulgación técnico-científica multidisciplinaria enfocada en las diversas ramas de la ingeniería, dirigida no solo a profesionales de estas áreas sino a estudiantes universitarios y público en general. Por esto, PRISMA se ha diseñado con varias secciones que permiten incluir artículos de diversos tipos, desde escritos de opinión a ensayos técnicos y artículos originales con resultados de investigaciones o proyectos. Las secciones de artículos que incluye PRISMA son: Impacto, Tecnología y Sociedad, Actualidad Tecnológica, Tecnología a Fondo, Tecno I+D y Tecno-Historia.

El artículo de la sección Tecno-Historia será responsabilidad de un editor especial invitado.

Para los artículos de las secciones Tecnología y Sociedad, Actualidad Tecnológica, Tecnología a Fondo y Tecno I+D, la forma de evaluación es la revisión por al menos dos expertos externos de forma anónima – peer review.

#### Impacto

Se trata de ensayos sobre una tecnología cuyo impacto en la evolución de la sociedad ha sido trascendental. Estos artículos deben incluir algo de la historia o evolución de la tecnología en cuestión, el impacto de la misma en los diversos aspectos de la sociedad, prospectiva, etc. Deben incluir aportaciones que reflejen la opinión del autor sobre el tema. La longitud máxima es de seis (6) páginas. Se espera que sean artículos

interesantes y orientados a lectores inteligentes y con formación científica pero no expertos en un área en particular. Pueden incluir figuras y deben incluirse referencias.

#### Tecnología y Sociedad

Incluye artículos sobre temas de tecnología, educación o investigación, relacionados con problemáticas o realidades sociales. Deben incluir aportaciones que reflejen la opinión del autor sobre el tema. Deben tener carácter, forma y nivel científico (no tipo diario/periódico) – estar basado en estudios, datos, área de experticia del autor y deben incluir referencias. La longitud máxima es de seis (6) páginas. Pueden incluir figuras, tablas y gráficas y deben incluirse referencias.

#### Actualidad Tecnológica

Se trata de ensayos técnicos descriptivos sobre tecnologías actuales – se incluyen estudios del estado del arte, tutoriales o artículos de visión general (survey). Estos trabajos no son una publicación de investigaciones y no incluyen resultados de investigaciones. La cantidad de fórmulas matemáticas debe mantenerse al mínimo posible. La longitud máxima es de seis (6) páginas.

#### Tecnología a Fondo

Se trata de artículos técnico-científicos que describen en forma bastante detallada un aspecto relacionado con una tecnología pero tratando de mantener el enfoque en la explicación de la esencia de una idea, estudio, experimento o tecnología, más que en los detalles matemáticos o de ejecución. La cantidad de fórmulas matemáticas debe mantenerse al mínimo posible. La longitud máxima es de seis (6) páginas.

#### Tecno I+D

Incluye artículos que describen los resultados originales derivados de investigaciones teóricas, experimentales y de desarrollo tecnológico, así como resultados derivados de trabajos de grado de estudiantes universitarios. Los trabajos están limitados a seis (6) páginas.

#### Tecno-Historia

Encierra dos tipos de trabajos: biografías de científicos importantes o ensayos sobre la historia de alguna tecnología. Las biografías y los ensayos están limitados a tres (3) páginas. En ambos casos deben incluirse figuras y referencias.

### 6. Presentación de los trabajos

Todos los artículos para las secciones: Tecnología y Sociedad, Actualidad Tecnológica, Tecnología a Fondo y Tecno I+D, se deben enviar a través de la plataforma de recepción de artículos en la dirección:

[www.revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma](http://www.revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma)

Para acceder a estas páginas, el autor podrá hacerlo directamente o por medio de la página Web de la UTP: [www.utp.ac.pa](http://www.utp.ac.pa)

El trabajo se redactará en español y se incluirá una traducción al inglés del título, el resumen y las palabras claves. Se evitará el uso de abreviaturas o iniciales, salvo que se expliquen previamente en el texto o sean unidades de medida, en cuyo caso se expresarán preferentemente en Unidades del Sistema Internacional.

Antes de su entrada en el circuito editorial el editor jefe y el editor adjunto harán una evaluación preliminar. Tras ésta el artículo podrá ser rechazado o incluido en el circuito, en función de que se ajuste o no a la línea editorial de la revista. Alternativamente, el trabajo podrá ser devuelto, o mantenido en espera mientras no se ajuste a las «Instrucciones para los autores» de la revista. PRISMA Tecnológico pide a los autores que sean rigurosos con el cumplimiento de las instrucciones, con el objetivo de no retrasar el proceso de revisión de sus trabajos. La fecha oficial de recepción del trabajo será la de entrada en el circuito. Una vez en él, la valoración científica será como se indicó en «Secciones de la revista». Para que la revisión de un artículo sea lo más objetiva posible, los autores evitarán introducir en el texto y en las imágenes del artículo su centro de trabajo o cualquier otra referencia que permita reconocerlos. Por el mismo motivo, cuando hagan alusión a citas bibliográficas que correspondan a su grupo de investigación, los autores procurarán que, al hacerlo, no queden claramente identificados.

## 7. Estructura de los trabajos

Escriba el documento en página tipo carta (21.9 cm x 27.94 cm). Todo material impreso, incluyendo texto, ilustraciones, gráficas y ecuaciones, debe mantenerse dentro de un área de impresión de 17.52 cm de ancho, por 22.86 cm de alto, con márgenes de 2.54 cm superior e inferior y de 2.03 cm a izquierda y derecha. No escriba o imprima nada fuera de esta área de impresión. Todo texto debe estar en un formato de dos columnas completamente justificado. Las columnas deben ser de 8.36 cm de ancho, con una separación entre ellas de 0.8 cm.

### Tipos de letra y estilos

Utilice Word con el tipo de letra Arial Narrow. Por favor evite el uso de “bit-mapped fonts”. Caracteres True-Type 1 son preferidos.

### Título principal

El título principal debe iniciar en la primera columna, justificado a la izquierda, en Arial Narrow, 20 puntos, tipo negrita. Ponga en mayúscula solamente la letra inicial y aquellas de nombres propios o siglas. Si tiene subtítulo, éste debe ir a continuación, justificado a la izquierda, en Arial Narrow 16 puntos, tipo negrita. Incluya a continuación una línea en blanco de 12 puntos.

El título debe expresar claramente el tema en el que se centra el artículo, de modo que el lector pueda extraer, con sólo leerlo, una idea de lo que va a encontrar después. Los autores procurarán no incluir en él abreviaturas salvo que éstas

sean de uso generalizado (WCDMA, OFDM, etc.). En caso de duda, no las incluya.

### Nombre(s) de autor(es) y afiliación(es)

Los nombres de los autores deben estar justificados a la izquierda justo debajo del título (o subtítulo) en Arial Narrow, 12 puntos, negrita. Cuando son múltiples autores deben mostrarse uno, seguido de otro. Use un subíndice seguido del nombre del autor para indicar el primer autor (a) y el autor de correspondencia (b). Para indicar la afiliación de cada autor use un superíndice numerado después del nombre de cada autor. Debajo, coloque el superíndice y la afiliación correspondiente en Arial Narrow 8 puntos. De forma similar, coloque debajo de las afiliaciones en el orden de los autores el correo electrónico de los mismos, también en Arial Narrow 8 puntos. Incluya a continuación una línea en blanco de 12 puntos.

Se entiende por primer autor (a) la persona que lidera la organización y escritura del artículo, y por autor de correspondencia (b) a la persona responsable de la comunicación oficial del artículo, de la organización y dirección del grupo de trabajo.

El siguiente ejemplo ilustra el formato de nombres de autores y afiliaciones.

Ejemplo:

C. Babel<sup>a1</sup>, B. Chan<sup>1</sup>, J. Bernal<sup>b2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Centro Experimental Internacional

<sup>1</sup>{carlos.babel, benito.chan}@utp.ac.pa

<sup>2</sup>juan.bernal@cei.org

Incluir en cada artículo la licencia Creative Commons, utilizada por la revista como icono debajo de la información de autores:



### Resumen

El resumen debe ser escrito en texto completamente justificado y en itálica, en la parte superior de la columna izquierda, debajo de la información del autor. Utilice la palabra “Resumen” como título, en Arial Narrow 12 puntos, tipo negrita, no itálica, justificada a la izquierda relativa a la columna, con mayúscula inicial y seguida de dos puntos. A continuación, inicie el resumen, el cual debe estar escrito en Arial Narrow 10 puntos, espacio sencillo, itálica y puede ser hasta 7.62 cm de largo. Deje una línea (tamaño 10) en blanco después del resumen, luego incluya una lista de palabras claves.

Todos los tipos de artículo deben acompañarse de un resumen, con excepción de los trabajos en la sección Tecno-Historia. El resumen debe recoger los aspectos más destacados del trabajo, de modo que éste sea comprensible sin tener que leer el resto del artículo.

Para los artículos de Tecno I+D el resumen debe ser estructurado conteniendo objetivos, métodos, resultados y conclusiones. Para todas las otras secciones, el resumen no se estructurará. Nunca se incluirán citas bibliográficas en el

resumen. En el caso del resumen estructurado deberán seguirse las siguientes recomendaciones:

- **Objetivo.** Hará constar el propósito fundamental del estudio y la hipótesis principal si la hubiera.
- **Material y métodos.** Mencionará los procedimientos para su realización, describiendo modelos, esquemas, herramientas, equipos, así como los métodos de modelado, simulación, observación y analíticos.
- **Resultados.** Hará constar los resultados más relevantes del estudio, incluyendo la magnitud de los efectos y su importancia.
- **Conclusiones.** Debe mencionar sólo aquellas que se sustentan directamente en los datos, junto con su aplicación.

### Palabras claves

Utilice la expresión “Palabras claves” como título, en Arial Narrow 12 puntos, tipo negrita, no itálica, justificada a la izquierda relativa a la columna, con mayúscula inicial y seguida de dos puntos. A continuación, incluya de 3 a 7 palabras claves en Arial Narrow 10 puntos itálicos a espacio sencillo. Seguido de los dos puntos la primera letra debe ir en minúscula, salvo excepciones (nombres propios, siglas, otras).

### Sección en inglés

Después de las palabras claves deben aparecer el título, el resumen y las palabras claves en inglés en el formato anterior, indicando cada uno como se muestra a continuación.

**Title:** ...

**Abstract:** ...

**Key words:** ...

### Texto principal

Escriba su texto principal en Arial Narrow 10 puntos, a espacio sencillo. No use doble espacio. Todos los párrafos deben tener una sangría de 0.5 cm. Asegúrese que el texto está completamente justificado, es decir, raso a la izquierda y a la derecha. Por favor no agregue ninguna línea en blanco entre párrafos.

### Cabeceras de primer nivel

Los títulos de primer nivel, por ejemplo, “1. Introducción”, deben estar en Arial Narrow 12 puntos negrita, con mayúscula inicial, a la izquierda de la columna con una línea en blanco antes. Utilice un punto (“.”) después de la numeración, no una coma. Como en el título, use mayúscula sólo para la primera letra, nombres propios o siglas.

### Cabeceras de segundo nivel

Los títulos de segundo nivel, por ejemplo, “1.1 Antecedentes”, deben estar en Arial Narrow 11 puntos, negrita, sólo la primera letra en mayúscula, y una línea en blanco antes.

### Cabeceras de tercer nivel

Los títulos de tercer nivel, por ejemplo, “1.1.1 Secciones”, no se recomiendan. Sin embargo, de ser necesarios, use Arial Narrow de 10 puntos, negrita, sólo la primera letra en mayúscula, y una línea en blanco antes.

### Viñetas

Las viñetas deben ir justificadas a la izquierda y a espacio sencillo. La posición de la viñeta con respecto a la columna del texto debe ser cero (0) cm, y las posiciones de la tabulación y la sangría del texto de la viñeta deben ser 0.3cm.

### Diseño de la última página

Si la última página de su documento está sólo parcialmente llena, arregle las columnas para que estén igualmente balanceadas si es posible, en lugar de tener una sola columna larga.

### Enumeración de páginas y encabezados

No enumere automáticamente las páginas en el procesador, y no utilice ningún tipo de encabezado (header or footer).

### Figuras y tablas

Todas las figuras y tablas deben ocupar el ancho completo (en lo posible) de una columna. Figuras y tablas muy grandes pueden ocupar ambas columnas, pero procure usar estas figuras y tablas de dos columnas de ancho solo cuando sea absolutamente necesario. Las leyendas de figura se colocan debajo de las figuras, y los títulos de las tablas se colocan centrados sobre las tablas. Las figuras y tablas deben enumerarse separadamente y en forma consecutiva usando números arábigos. Por ejemplo: “Figura 1. Esquema de modulación”, “Tabla 1. Datos de entrada”. Las leyendas de figuras y tablas deben ser Arial Narrow de 10 puntos. Use mayúscula inicial sólo para la primera palabra de cada leyenda de figura o título de tabla. Para el contenido de las tablas use Arial Narrow de 8 puntos. Localice las tablas y figuras lo más cerca posible a la primera referencia de las mismas, al inicio o final de cada columna; evite colocarlas en el medio de las columnas. A continuación, se presenta un ejemplo de formato correcto para las tablas y figuras en la figura 1 y la tabla 1.



Figura 1. Ejemplo de imagen con resolución aceptable.

Tabla 1. Ejemplo de una tabla.

Sectores	N	%
Arriba	10	14.5
Abajo	13	60.2

Fuente: Adaptado de [2]

Todas las figuras (gráficas, ilustraciones, fotos) deben estar centradas, inclusive el título. Los artes (figuras, etc.) deben estar en su sitio dentro del artículo (preferiblemente como parte del texto en lugar de pegados). Procure utilizar ilustraciones, gráficas y fotos de alta calidad, mínimo 300 dpi, para evitar que se distorsionen si se amplían o reducen. Una vez se apruebe su artículo, se le solicitará que envíe las imágenes en formato JPG o PNG y las tablas o fórmulas en formato PDF de ser necesario.

### Ecuaciones y símbolos

Para las ecuaciones, utilice el editor de ecuaciones de Microsoft y asegúrese de utilizar tipo Arial Narrow 10 puntos para las variables, números y texto en general. Para el formato de la ecuación (Format Object) seleccione "in line with text" y asegúrese que la numeración correspondiente queda alineada a la derecha y la ecuación queda centrada, como se ilustra a continuación

$$\int_0^r F(r, \varphi) \, dr \, d\varphi \quad (1)$$

Enumere las ecuaciones en forma consecutiva en paréntesis. Para hacer las ecuaciones más compactas puede utilizar el solidus (/), la función exp, o exponentes apropiados, y use paréntesis para evitar ambigüedades en los denominadores, como en

$$\int_0^{r_2} F(r, \varphi) \, dr \, d\varphi = [\sigma r_2 / (2\mu_0)] \cdot \int_0^\infty \exp(-\lambda |z_j - z_i|) \lambda^{-1} J_1(\lambda r_2) J_0(\lambda r_i) \, d\lambda \quad (2)$$

Asegúrese que los símbolos en su ecuación se han definido antes que aparezca la ecuación o inmediatamente después de la ecuación. Utilice tipo itálica para los símbolos (así por ejemplo, T para referirse a una temperatura, mientras que T para la unidad Tesla). Refiérase a "(1)" no a "ec. (1)" ni "ecuación (1)".

Confine las ecuaciones a una columna y de ser necesario, divídalas en los símbolos algebraicos apropiados (como en (2)).

Con respecto a los símbolos matemáticos, letras griegas u otros elementos gráficos asegúrese que se muestran e imprimen correctamente, y que están incluidos en los tipos de letras (font packages) disponibles regularmente en MS Word.

### Pies de página

Procure no utilizar pies de página. Si se utiliza colóquelo en la parte inferior de la columna de la página en la cual se hace referencia. Use Arial Narrow 8 puntos, espacio sencillo. Para facilitar la lectura, evite el uso de pies de página e incluya las observaciones necesarias en el texto (entre paréntesis, si se prefiere, como se ilustra aquí).

### Secciones más comunes

Las siguientes secciones son las más usuales (pero no están limitadas a éstas) en un artículo resultado de una investigación o proyecto de aplicación.

**Introducción:** debe ubicar al lector en el contexto del trabajo.

La introducción debe contener:

- La naturaleza del problema cuya solución o información se describe en el documento.
- El estado del arte en el dominio tratado (con sus respectivas referencias bibliográficas).
- El objetivo del trabajo, su relevancia y su contribución en relación al estado del arte.
- La descripción de la forma como el documento está estructurado.

**Materiales y métodos:** es importante presentar el diseño y tipo de investigación, pasos de la investigación, métodos y materiales. Además, también deben incluirse los criterios de selección del material tratado, los controles, estudios planeados y realizados.

**Resultados y discusión:** se recomienda presentar los resultados en orden lógico acorde a la metodología planteada. Usar tablas y figuras cuando sea posible para presentar los resultados de forma clara y resumida.

- Deben indicarse claramente los hallazgos más significativos.
- Posterior a la presentación de los resultados, se destacarán y discutirán los aspectos más importantes del trabajo. Toda afirmación debe estar avalada por los resultados obtenidos. Y por último, comparar los resultados obtenidos con estudios previos
- Se evitará repetir la enumeración de los resultados o los conceptos que se presentan en la introducción. Los autores expondrán el significado y trascendencia de los resultados obtenidos, su concordancia o no con estudios similares ya realizados, las limitaciones de su trabajo y la continuación lógica de éste.
- Se recomienda extremar la síntesis evitando repeticiones innecesarias.
- Tenga mucho cuidado en el texto del artículo al usar porcentajes o estadísticas con un pequeño número de muestras. Es incorrecto: "El sesenta por ciento (3/5) de las muestras X y el 20% (1/5) de Y han demostrado resistencia a los medicamentos." Es correcto: "Tres de cada cinco ejemplares de X y 1 de cada 5 ejemplares de Y han demostrado resistencia a los medicamentos."
- Cuando un número empieza una oración entonces debe escribirlo en letras. Además, utilice numerales cuando las cifras sean mayores que 10.

**Conclusión:** las conclusiones deben ser enunciadas con claridad y deberán cubrir:

- Las contribuciones del trabajo y su grado de relevancia.
- Las ventajas y limitaciones de las propuestas presentadas.
- Referencia y aplicaciones de los resultados obtenidos.

- Recomendaciones para trabajos futuros.
- Impacto sobre la comunidad científica

Es importante indicar que no se requiere una sección de conclusión, pero que si se incluye debe cuidar que, aun cuando una sección de conclusión pueda resumir los puntos principales del artículo o ensayo, no debe duplicar el resumen en la conclusión. Una conclusión, como se ha indicado, debe elaborarse sobre la importancia del trabajo o sugerir aplicaciones y extensiones del mismo.

Los otros tipos de artículos tendrán estructura libre.

## Apéndices (Anexos)

Los apéndices o anexos, de ser necesarios, aparecen antes del agradecimiento.

## Agradecimiento

Podrán incorporarse, cuando se considere necesario, las personas, centros o entidades que hayan colaborado o apoyado la elaboración del trabajo, sin que ello justifique la calidad de autor. Debe especificarse la naturaleza de la ayuda.

Utilice el término en singular en el encabezado, aun cuando pueda tener muchos agradecimientos. Evite expresiones tales como “Uno de nosotros (S.A.M) agradece...”. En lugar de esto, escriba “S. A. M. agradece ...”. El reconocimiento de apoyo a algún patrocinador o de apoyo financiero va en esta sección, por ejemplo, “Este trabajo fue financiado o apoyado en parte por la Secretaría Nacional bajo el acuerdo BS12345”.

## Referencias

La sección de Referencias va al final del documento y no debe estar enumerada. En ella debe listar y enumerar todas las referencias bibliográficas en Arial Narrow 8 puntos, espacio sencillo. Utilice los estilos Regular e Itálica para distinguir entre los diferentes campos como se muestra en los ejemplos de esta sección.

Las referencias bibliográficas aparecerán seguidas de la última sección del texto, o de los agradecimientos, sin cambiar de hoja.

En el texto, enumere los elementos consecutivamente (en orden de aparición) en paréntesis cuadrados (e.g., [1]). Cuando se refiera a un elemento de la referencia, simplemente use el número de referencias, como en [2]; no use “Ref. [2]” o “Referencia [2]”, excepto al inicio de una oración, e.g., “En [2] se muestra que...”. Múltiples referencias se deben enumerar cada una con paréntesis separados (e.g., [1], [2], [4]-[6]).

A continuación se ilustran diferentes categorías con su formato que incluyen: libro [1], libro en una serie [2], artículo de revista (journal) [3], artículo en revista electrónica con DOI [4], artículo de conferencia [5], patente [6], sitio web [7], página web [8], hoja de datos [9], libro de datos como un manual [10], tesis de maestría o doctorado [11], reporte técnico [12], estándar [13].

- [1] S. M. Metev and V. P. Veiko, *Laser Assisted Microtechnology*, 2nd ed., R. M. Osgood, Jr., Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1998.
- [2] J. Breckling, Ed., *The Analysis of Directional Time Series: Applications to Wind Speed and Direction*, ser. Lecture Notes in Statistics. Berlin, Germany: Springer, 1989, vol. 61.
- [3] S. Zhang, C. Zhu, J. K. O. Sin, and P. K. T. Mok, “A novel ultrathin elevated channel low-temperature poly-Si TFT,” *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 20, pp. 569–571, Nov. 1999.
- [4] M. Gonçalves, E. Fox, & L. Watson, “Towards a digital library theory: a formal digital library ontology,” *International Journal on Digital Libraries*, vol. 8, no. 2, pp. 91-114, 2008. <http://doi:10.1007/s00799-008-0033-1>
- [5] M. Wegmuller, J. P. von der Weid, P. Oberson, and N. Gisin, “High resolution fiber distributed measurements with coherent OFDR,” in *Proc. ECOC’00*, 2000, paper 11.3.4, p. 109.
- [6] R. E. Sorace, V. S. Reinhardt, and S. A. Vaughn, “High-speed digital-to-RF converter,” U.S. Patent 5 668 842, Sept. 16, 1997.
- [7] (2002) The IEEE website. [Online]. Disponible en: <http://www.ieee.org/>
- [8] M. Shell. (2002) IEEEtran homepage on CTAN. [Online]. Disponible en: <http://www.ctan.org/tex-archive/macros/latex/contrib/supported/IEEEtran/>
- [9] “PDCA12-70 data sheet,” Opto Speed SA, Mezzovico, Switzerland.
- [10] FLEXChip Signal Processor (MC68175/D), Motorola, 1996.
- [11] A. Karnik, “Performance of TCP congestion control with rate feedback: TCP/ABR and rate adaptive TCP/IP,” M. Eng. thesis, Indian Institute of Science, Bangalore, India, Jan. 1999.
- [12] J. Padhye, V. Firoiu, and D. Towsley, “A stochastic model of TCP Reno congestion avoidance and control,” *Univ. of Massachusetts, Amherst, MA, CMPSCI Tech. Rep. 99-02*, 1999.
- [13] *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification*, IEEE Std. 802.11, 1997.





# Portal de REVISTAS ACADÉMICAS UTP



INICIO ACERCA DE ÁREA PERSONAL BUSCAR

Inicio > Portal de Revistas Académicas UTP

## Portal de Revistas Académicas UTP

Bienvenido al Portal de Revistas académicas (Investigación, Cultural, Profesional) de la Universidad Tecnológica de Panamá. Este sitio nace como una iniciativa del proyecto del Repositorio Institucional (UTP-Ridda2) para mostrar la producción de docentes, investigadores y estudiantes, proyecto desarrollado por la Vicerrectoría de Investigación, Postgrado y Extensión, la Dirección de Comunicación Estratégica y Editorial Universitaria, con el apoyo de las principales autoridades de nuestra Universidad.

ABCDEFGHIJKLMNÑOPQRSTUVWXYZ Todo



### I+D Tecnológico

Desde 2002 se propuso la edición de la Revista de I+D Tecnológico (P-ISSN 1680-8894 & E-ISSN 2219-6714), con el propósito de promover la labor de investigación en el ámbito nacional e internacional.

La Revista de I+D Tecnológico (RIDTEC) es una revista abierta (OA) evaluada por pares (doble ciego) con publicación semestral de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), especializada en las áreas de las ciencias básicas e ingeniería y otras áreas del conocimiento.

[VER REVISTA](#) | [NÚMERO ACTUAL](#) | [REGISTRARSE](#)



### Prisma

Prisma Tecnológico (P-ISSN 2076-8133 & E-ISSN 2312-637X)

Es una publicación anual de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) que se realiza a través del Departamento de Editorial Universitaria, bajo el sello Editorial Tecnológica. Es una revista abierta indexada a LATINDEX, que ofrece artículos de contenido tecnológico y científico multidisciplinarios, cuyo objetivo es divulgar conocimiento técnico-científico, comunicar temas de ingeniería y ciencias básicas y exactas, y presentar temas sociales desde una perspectiva técnica-científica, a profesionales y estudiantes de las diversas áreas de la ingeniería, así como al público nacional e internacional, de manera comprensible y amena, con claridad, amplitud y responsabilidad.

[VER REVISTA](#) | [NÚMERO ACTUAL](#) | [REGISTRARSE](#)



### Revista de Iniciación Científica

RIC (P-ISSN 2412-0464 & E-ISSN 2413-6786), es una revista abierta a la difusión, a los intercambios y a los debates de interés de la comunidad universitaria, esencialmente a nivel de pregrado con el objetivo de promover la creación, la expresión y la diseminación de trabajos novedosos y empíricos. En la RIC se publican, prioritariamente trabajos originales relacionados con los temas de ciencias, tecnología e ingeniería, desarrollados por estudiantes de licenciatura, en español, portugués o en inglés, incluyendo resultados de trabajos de términos de grado y otros trabajos de investigación desarrollados en pregrado.

[VER REVISTA](#) | [NÚMERO ACTUAL](#) | [REGISTRARSE](#)

OPEN JOURNAL SYSTEMS

Servicio de ayuda de la revista

**USUARIO/A**

Ha iniciado sesión como...  
**dannym**

- Mis revistas
- Mi perfil
- Cerrar sesión
- Cerrar sesión de usuario/a

**IDIOMA**

Escoge idioma

Spanish Entregar

**CONTENIDO DE LA REVISTA**

Buscar

Ámbito de la búsqueda

Todo ▼

Buscar



UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA  
DE PANAMÁ

El **Portal de Revistas Académicas UTP**, es un componente del proyecto **UTP-RIDDA2** (Repositorio institucional de acceso abierto de la Universidad Tecnológica de Panamá).

### Componentes del Repositorio Institucional

- Portal de Revistas
- Repositorio de Investigación
- Repositorio de Tesis
- Repositorio de Organizacional
- Repositorio de Académico

### Objetivo General del Portal de Revistas

Mejorar la visibilidad de las publicaciones científicas de la Institución a nivel nacional e internacional a través del uso de un sistema de gestión, de información y de consulta ágil y de uso internacional.

Visítenos en:

<http://www.revistas.utp.ac.pa>

No es necesario registrarse para tener acceso a los contenidos de las revistas

**Camino a la excelencia a través del mejoramiento continuo**



**Universidad Tecnológica de Panamá**  
Campus Universitario Dr. Víctor Levi Sasso,  
Edificio de Postgrado, Planta Baja.  
Teléfono: (507) 560-3703 | Telefax: (507) 560-3442  
Correo electrónico: [editorial@utp.ac.pa](mailto:editorial@utp.ac.pa)  
Web: [www.utp.ac.pa](http://www.utp.ac.pa)  
Apartado Postal 0819-07289 El Dorado,  
Panamá, República de Panamá.