

# PRISMA Tecnológico

ISSN 2076-8133 | Volumen 6, n.º 1 | 2015 | Edición anual

**Entrevista con la Dra. Carmenza Spadafora**

**Estándares actuales de televisión digital**

**Artificial Mussel: Una herramienta complementaria para el monitoreo de la contaminación por elementos traza en zonas**

**Implementación de un sistema de control de acceso basado en reconocimiento facial**

Revista indexada en

**latindex**  
www.latindex.unam.mx



## Editorial



Bienvenidos a Prisma. En este editorial quiero tratar un tema que tal vez no sea nuevo, pero sí toma cada vez mayor importancia – la formación de jóvenes en ingeniería, asunto que resulta indispensable y esencial para la sociedad y la economía. Actualmente, los conocimientos y habilidades de los ingenieros están en alta demanda en una

gran diversidad de sectores, desde medio ambiente y medicina a manufactura y servicios financieros, incluyendo prácticamente todos los aspectos de la vida moderna y áreas del saber.

La ingeniería es el conjunto de conocimientos científicos aplicados a la creación, perfeccionamiento y utilización de técnicas en complemento con el estudio de todas las ciencias básicas de la vida para la resolución de problemas que afectan directamente a los seres humanos, y satisfacer todas sus necesidades. El ingeniero no solo se limita al diseño e implementación de un dispositivo, estructura o sistema, sino que, desde una perspectiva más completa de los problemas, integra elementos sociales, económicos y ambientales, para proponer las soluciones más eficientes y seguras con los medios y las tecnologías disponibles.

La ingeniería en su largo proceso evolutivo ha sido parte de la existencia de la humanidad, permitiendo el avance de la civilización al contribuir con la creación de inventos, nuevas técnicas de producción y aprovechamiento de los recursos naturales y humanos, y creando nuevas oportunidades de desarrollo social y económico; todo ello para lograr una vida más confortable, productiva y satisfactoria, atendiendo a las necesidades de la sociedad y buscando un futuro mejor.

Actualmente existen grandes desafíos como el cambio climático, la globalización, el agotamiento de los recursos naturales, la contaminación y la mayor demanda de servicios debido al crecimiento y flujo demográfico, que las sociedades no deben ignorar. Para enfrentarlos, resulta necesario invertir en infraestructuras y tecnologías que provean un incentivo duradero para las economías, y permitan mantener una base sólida para el crecimiento sostenible futuro. Hay, sin embargo, diversos obstáculos críticos, siendo el más importante la falta global de habilidades dentro de varios campos de la ingeniería. A nivel mundial, algunas organizaciones como la Confederación de Industrias Británicas (CBI) y la Confederación de la Industria India (CII) han observado que la falta de graduados en ingeniería plantea una amenaza inquietante para el futuro de la sociedad. Gran parte de los mejores jóvenes están interesados y estudian otras disciplinas o especialidades, provocando una carencia de ingenieros para el futuro.

Existe la opinión de que si se pierde la ingeniería, en un futuro la humanidad degeneraría, retrocediendo a las innovaciones más básicas, y cayendo en una regresión inimaginable.

Podemos concluir entonces que la investigación y desarrollo en ingeniería, así como en las ciencias físicas, incluyendo matemáticas, estadísticas y ciencias computacionales, serán cada vez más importantes en el futuro. Por esto, resulta vital para las sociedades invertir en la educación y formación de ingenieros y científicos para enfrentar los desafíos actuales y venideros.

Gracias a todos nuestros colaboradores y queridos lectores. Esperamos que disfruten de esta edición.

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

# PRISMA Tecnológico

ISSN 2076-8133  
Volumen 6, n.º1 2015  
Publicación anual

## Contenido

### IMPACTO

Las Carabelas de Colón: Su diseño y reconstrucción .....	3 - 7
---	-------

### TEC-NOTICIAS

Sensor inteligente permite llevar la monitorización del sudor al siguiente nivel .....	8
Japón construye la planta de energía flotante más grande del mundo .....	8 - 9

### ENTREVISTA

Entrevista con la Dra. Carmenza Spadafora .....	10 - 12
--	---------

### ACTUALIDAD TECNOLÓGICA

Comunicación molecular: Retos y oportunidades .....	13 - 18
Estándares actuales de televisión digital: Una breve reseña .....	19 - 23

### TECNOLOGÍA A FONDO

Artificial Mussel: Una herramienta complementaria para el monitoreo de la contaminación por elementos traza en zonas costeras .....	24 - 28
--	---------

## TECNOLOGÍA I + D

Diseño de un controlador para sistemas de cultivos hidropónicos con ajuste automático de nivel de solución ..... 29 - 33

Implementación de un sistema de control de acceso basado en reconocimiento facial ..... 34 - 39

Uso de técnicas de estimación en el cálculo de la duración de proyectos de TIC en Uruguay ..... 40 - 43

## TECNO HISTORIA

**Edith Clarke:**  
La mujer detrás del sistema de potencia ..... 44 - 45

ENTRETENIMIENTO ..... 46

## Mensaje del Rector

La Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), firme en su compromiso de informar y compartir con la sociedad panameña, acerca de la gran variedad de temas relacionados al desarrollo de la ciencia y el avance de la tecnología, se enorgullece en presentar este volumen de la revista Prisma Tecnológico.



El conocimiento es la luz. Haciendo una citación oportuna a la Ley de la Snell, el papel más importante de la UTP es abrir la mente de nuestros estudiantes a ese mundo maravilloso del conocimiento, para que luego, en un efecto multiplicador, sea reflejado hacia la sociedad.

La mente humana es ilimitada en su capacidad para construir nuevas formas y tamaños, partiendo de lo que conoce, para crear lo que aún no existe. Es esa capacidad la que le ha permitido al mundo evolucionar, desde su forma más primitiva, hasta la deslumbrante e inimaginable era tecnológica que vivimos.

Construir un Panamá desarrollado, requiere de muchas cosas, pero principalmente, de la creatividad y conocimiento de nuestros jóvenes. El esfuerzo para lograr que la educación superior contribuya a este fin, nunca será suficiente.

Esperamos que el lector disfrute esta nueva edición de Prisma Tecnológico.

**Dr. Oscar M. Ramírez R.**  
Rector  
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**  
Coordinador General de los Centros Regionales

Revista indexada en

**latindex**

www.latindex.unam.mx

## Las Carabelas de Colón: Su diseño y reconstrucción

**Juan José Prieto<sup>1</sup>; Leopoldo Gorostiza.**

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica, Minera y Energética.  
Escuela Superior de Ingeniería – Universidad de Huelva.  
Campus de la Rábida, Palos de la Frontera, Huelva, España.  
e-mail: juan.prieto@dimme.uhu.es mailto:juan.prieto@dimme.uhu.es  
mailto:juan.prieto@dimme.uhu.es

**Resumen:** *El objeto de este trabajo consiste en sacar a la luz el mérito de los artesanos y expertos en la construcción de navíos como las Carabelas en el siglo XV. En una época en la que no se usaban planos, experimentados artesanos con el conocimiento de algunas fórmulas básicas conseguían construir navíos capaces de acometer empresas tales como el descubrimiento de América. La comprensión de los mecanismos de construcción de la época, y el análisis de los fallidos intentos de reconstrucción modernos, nos aleja de la idea de subestimar los métodos de diseño y trabajos medievales. A la vez, sacan a la luz elementos indispensables en el modelo de diseño para la reconstrucción de las carabelas, basado íntegramente en las técnicas primitivas y respetando lo más fielmente posible la coincidencia con los acontecimientos que fueron reales en su tiempo.*

**Palabras claves:** *construcción naval, trabajos medievales, carabelas, artesanos, unidades, normas constructivas, arqueos.*

**Title:** *Columbus' Carabelas. Design and reconstruction*

**Abstract:** *The purpose of this work is to bring to light the merit of artisans and experts in shipbuilding, as the Caravels in the fifteenth century. In a time, with no planes of boats, experienced craftsmen with the knowledge of some basic formulas managed to build ships capable of undertaking enterprises, such as the discovery of America. Compression of construction machineries of this period, and analysis of the failed attempts of modern reconstruction, takes us away from the idea of underestimating the design methods and medieval works. At the same time, we reveal indispensable elements in the design model for the reconstruction of the caravels, based entirely on the primitive techniques and respecting as closely as possible the coincidence with the events that were real in his time.*

**Key words:** *Shipbuilding, medieval works, Caravels, craftsmen, units, construction standards, tonnages.*

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 4 de mayo de 2015

Fecha de aceptación: 3 de diciembre de 2015

### 1. Las Carabelas: Modelos iconográficos del siglo XVI

Entre los varios tipos de bajeles que los musulmanes introdujeron en el Mediterráneo, uno fue la bagra o bagala, buque largo y estrecho con dos o tres mástiles con vela latina, un único castillo en popa (el alcázar), la proa baja para la maniobra de la vela latina y la popa plana. De este vocablo, bagala, deriva el término bajel y, también es probable, el de carabela. Se adaptaron bien al Mediterráneo y a las costas europeas sur-atlánticas, y fueron muy utilizadas por los marinos del Al Ándalus. Cuando los cristianos expandieron su dominio, la ahora llamada carabela, se utilizó ampliamente para la pesca y el cabotaje.

Al ser más estrecha y fina que la nao, su capacidad de carga era inferior. Esto suponía una desventaja; sin embargo, esa misma finura le confería mayor velocidad y maniobrabilidad y el aparejo latino la hacía insuperable navegando contra el viento. Por ello, ni la carabela desplaza a la nao, ni ésta a la carabela. Por sus cualidades, los portugueses la utilizaron para sus descubrimientos y, también por ello, los castellanos la usaron para explorar el Nuevo Mundo.

La carabela pierde protagonismo con la Carrera de Indias, que utiliza vientos de popa, y donde las grandes bodegas de las naos eran una ventaja. No obstante, no desaparecieron, sino que asumieron las labores auxiliares de las flotas.

Para determinar la forma de las carabelas, hay que recurrir a la iconografía de la época. En este sentido, no se han considerado los barcos propios del Mediterráneo, como el recogido en el grabado de la Oceánica Clasis o la Coca de Mataró, ya que presentan soluciones formales y técnicas muy diferentes a las de los buques que surcaron por el Atlántico.

En este artículo se parte de iconografías de la época mayoritariamente portuguesas, debido a que los portugueses representaron un mayor número de carabelas que los españoles. Sin duda, las utilizaron en mayor cuantía, ya que, en la ruta de La Mina (Guinea), regresaban con viento de proa y las carabelas eran indispensables.



Figura 1. Carabela portuguesa navegando de empopada.



Figura 2. Carabela portuguesa navegando de través.

En las Figuras 1 y 2, dos carabelas latinas portuguesas navegan, la primera de empopada y la segunda de través, y presentan las características típicas de las mismas: Proa baja, poco arrufo, alcázar de popa y tres mástiles con velas latinas. El palo más a proa era el mayor, detrás el mesana y más a popa el contramesana. Las dos carabelas están copiadas de un mismo cuadro del Siglo XVI, y son de ese período. La de la Figura 1 solo muestra dos palos, ya que era corriente desmontar la contramesana cuando se navegaba con viento de popa.

El cuadro narra una batalla y las dos carabelas llevan pavesadas en proa y popa. Cuando se fletaban para la guerra, se decía que “iban de armada”, de ahí la expresión “Carabela de armada”. Algunos autores han defendido que las carabelas de armada eran diferentes poseyendo una amurada sobre una cubierta auxiliar; sin embargo, las pavesadas eran simplemente un parapeto para protegerse de las armas arrojadizas.

Las dos carabelas, por las pavesadas, presentan bastante puntal, un alcázar alto y una roda bastante curvada. El pintor no era un experto y está claro que dibujó las carabelas cuando estaban en seco, en el astillero, y las plantó sobre las aguas sin sumergirlas. A pesar de esos defectos, indican claramente las líneas de las carabelas, aunque lo hacen mejor las dos carabelas de la Figura 3; que provienen de un portulano portugués de las costas de Brasil.

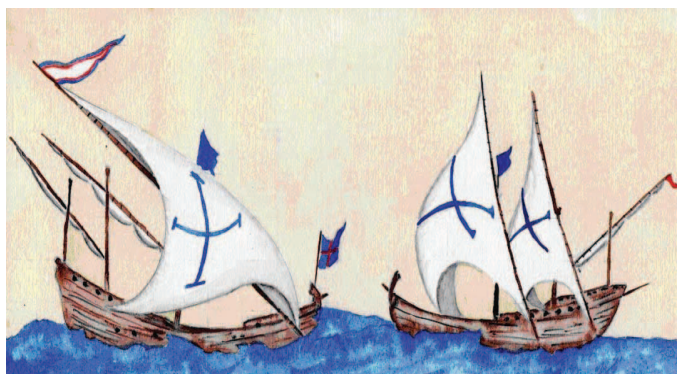


Figura 3. Carabelas de un portulano portugués.

El cuadro de la Figura 3 está fechado en 1519 y se encuentra en la Biblioteca Nacional de París. Los buques están bien dibujados y, a diferencia de las anteriores, estos realmente navegan. Se aprecia su escaso francobordo, su larga eslora y su alcázar bien proporcionado. La carabela de la izquierda, navega con viento de través y, al ser un viento fresco, sólo porta la mayor. La de la derecha, navega viento en popa, (como en la Figura 1), y lleva arriada la contramesana para que no quite viento a las dos velas más grandes.

Por último, la Figura 4 presenta una carabela copiada de la famosa carta o planisferio de Piri Reis, (Museo Topkapi, Estambul), datado en 1513. Muestra una de las cinco pequeñas carabelas de dos palos, con un alcázar corto, que no llega al palo mayor. Esas figuras condensan lo mejor de la iconografía de la época, por lo que deberían constituir una de las bases para cualquier reproducción de las carabelas Pinta y Niña que desee ajustarse lo más posible a la realidad de aquella época.

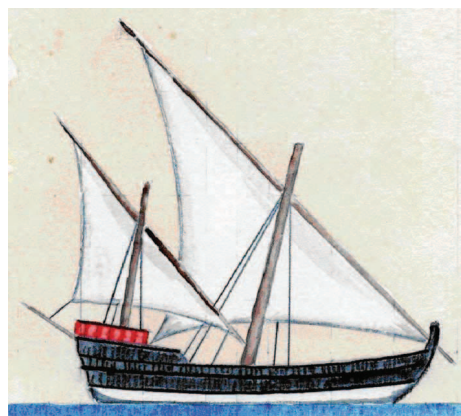


Figura 4 Carabela, mapa de Piri Reis.

## 2. Unidades, normas constructivas y arqueos

En la época del Descubrimiento no se utilizaban planos. La medida de su arqueo en toneles o toneladas y el tipo del buque capacitaban al maestro carpintero para conocer las dimensiones, cantidad de madera, número de jornales, etc. para construir el bajel y esto era posible porque los buques se construían según unas normas estrictas y unos patrones fijos [1].

El arqueo representaba el volumen interno de la bodega, ahora bien, medir el volumen interno de un navío es muy complicado y en aquellos tiempos algo imposible por métodos matemáticos. En su defecto, se les cubicaba empíricamente o con cálculos aritméticos, aunque eran conscientes que los resultados eran aproximados.

Inicialmente los buques se cubicaban introduciendo toneles dentro hasta llenarlos, pero como esto sólo se puede hacer con el buque terminado, los carpinteros de ribera crearon sistemas de cálculo que pudieran anticipar el resultado final. Por eso,

la famosa definición que Juan de Escalante de Mendoza [2] recoge en su "Itinerario de Navegación" de 1575: "...En nuestra España hemos usado y usamos de este nombre toneladas..., El tamaño y medida de una tonelada... son dos pipas de vino o agua..., de las de a veinte y siete arrobas y media...". Pronto se concretó en: Una tonelada es el volumen de ocho codos cúbicos de ribera. Había empezado la etapa aritmética del cálculo de arqueos.

Como los buques del Descubrimiento eran sur-atlánticos, utilizaremos el codo de ribera de 32 dedos, (55,7 cm), el codo cúbico de 1.731,25 cm<sup>3</sup> y, por ello, la tonelada de 1,385 m<sup>3</sup>. Como medida de peso equivalía a 20 quintales, y el quintal a 100 libras castellanas, es decir, 46 kg, por lo que la tonelada serían 960 kg. Dejó de utilizarse cuando se impuso la tonelada métrica de 1.000 kg, lo cual sería relativamente fácil, dada la pequeña diferencia entre una y otra.

Fijado el valor de la tonelada de arqueo, quedan otros problemas: ¿Que fórmula aplicaban los carpinteros andaluces, a finales del Siglo XV, para de las dimensiones del buque llegar a su arqueo? O, a la inversa ¿partiendo del arqueo, cómo calculaban las dimensiones? Al desconocer las fórmulas de finales del Siglo XV, no hay más remedio que seleccionar las más adecuadas, entre las fórmulas de los Siglos XVI y XVII que se utilizaban los siguientes conceptos y símbolos:

Eslora (E) = Longitud interna de la bodega desde la roda al codaste.

Manga (M) = Anchura máxima interior.

Quilla (Q) = Longitud teórica de la quilla.

Puntal (P) = Altura interna de la bodega.

Plan (pl) = Anchura máxima del fondo de la bodega.

Las fórmulas seleccionadas para comparar sus resultados han sido [3]: Fórmula del Presidente Visitador, (1560); Fórmula de Rodrigo de Vargas (1570); Fórmula de Cristóbal de Barros (1580); Fórmula de Tomé Cano (1610) y tres fórmulas de la Real Ordenanza de 1613. En realidad todas se reducen a multiplicar una sección promedio,  $M_{promedio} \times P_{promedio}$ , por una  $E_{promedio}$ , para encontrar el paralelogramo equivalente al volumen práctico de la bodega porque, lo que se trataba de determinar era un prisma en el que cupieran las mismas pipas, barricas o toneles que antes hubieran llenado el buque.

Las fórmulas eran bastante exactas porque los navíos se construían según normas tradicionales que los hacían semejantes en sus proporciones. La más empleada era la regla de oro del "As-Dos-Tres" que provenía de las navis oneraria [4] romanas, navíos de carga de tipo fenicio, de casco redondo y profundo, que medían 25 m de eslora y admitían unas 350 tm de carga, o 300 pasajeros. Esa regla establecía:

Manga = dos Puntales.

Quilla = dos Mangas.

Eslora = tres Mangas.

Manga = tres Planes.

Para las carabelas se ha optado por una fórmula adaptada a los pataches y, precisamente, las fórmulas de arqueo de la Real Ordenanza de 1613, estaban afinadas para arquear esos buques. La fórmula es:  $Toneles = \frac{1}{8} \times 0,95 \times (0,5 P \times M \times 0,5 \times (Q + E) - (0,5 M - pl) \times 0,5 \times P \times 0,5 \times (Q + E))$ . Teniendo en cuenta lo expuesto podemos realizar el arqueo de las carabelas Pinta y Niña.

### 2.1 El arqueo de la carabela "Pinta"

De la Pinta se supo su tonelaje de una frase escrita por Hernando Colón en el Diario del primer viaje mientras se encontraban en la Gomera esperando a la Pinta, que estaba en Gran Canaria para reparar su timón. En este interludio, don Hernando facilita un dato importante: "... esperaban a Doña Beatriz de Bobadilla..., que llevaba un navío de cierto Grajeda, de Sevilla, de cuarenta toneladas; el cual, por ser a propósito para su viaje, podría tomarlo [5]...", que prueba que la Pinta era de unas cuarenta toneladas. Conociendo las toneladas y establecida la fórmula adecuada para relacionar el volumen interno con las medidas de una carabela, el proceso de cálculo, como es común en ingeniería, es por iteración. Los resultados son los mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Medidas de arqueo de la carabela Pinta.

La Pinta	Eslora	Manga	Puntal	Quilla	Plan	Arqueo
Codos de ribera	26,75	8,25	4,125	18,5	2,75	40,10 T
Metros	14,91	4,60	2,30	10,31	1,53	

La parte decimal de las dimensiones en codos, se puede expresar en quebrados exactos: Tres cuartos, un cuarto, etc. El arqueo es de: "Cuarenta toneladas y un diezmo". Las proporciones que guardan las dimensiones de la carabela, quedan como sigue:  $M/P = 2$ ;  $Q/M = 2,24$ ;  $E/M = 3,24$ .

En cuanto al plan, la anchura máxima del fondo de la bodega, sería un tercio de la manga porque, al ser una carabela, la relación quilla/manga es más que dos y, la eslora/manga más que tres, como corresponde a un buque sutil y ligero.

Las medidas de la Tabla 1 corresponden al interior de la bodega, alrededor de esas medidas se dibujan los elementos estructurales: Quilla, roda, codaste, cuadernas, baos, esloras, bulárcamas, barraganetes, etc.; completándolos con forros y cubiertas.

### 2.2 El arqueo de la carabela "Niña"

En la serie de documentos del Archivo de Indias [6] se recoge que: "...alonso medel maestre de la caravela niña fue

fletado... a Roma... cargo cincuenta e una toneladas...” El italiano Cuneo dice que la Niña arqueaba sesenta toneladas. Cincuenta y cinco es un valor intermedio. Ese flete de 51 toneladas nos indica el tonelaje mínimo de la Niña y demuestra definitivamente que era mayor que la Pinta que solo tenía 40 toneladas. En consecuencia, la Niña se fletó por 51 toneladas de carga, lo que indica el arqueo mínimo de la carabela, que podía ser mayor si fue infrautilizada. Otra cosa sería un contrato de arriendo que se hacía por el volumen máximo. Iniciando las iteraciones con un arqueo del orden de 55 toneladas se ha llegado al resultado de la Tabla 2, quedando sus proporciones como sigue: M/P = 2,17; Q/M = 2,19; E/M = 3,75;

Tabla 2. Arqueo de la carabela la Niña.

La Niña	Eslora	Manga	Puntal	Quilla	Plan	Arqueo
Codos de ribera	35	9,33	4,25	20,25	3,1	57,05 T
Metros	19,5	5,2	2,37	11,3	1,73	

Con el plan un tercio de la manga, resulta un bajel largo, armonioso de líneas y estable gracias a la proporción manga/quilla.

### 3. Propuesta de representación de las carabelas Pinta y Niña

Atendiendo al arqueo, la propuesta de dimensiones de las carabelas Pinta y Niña quedaría como se indica en la Tabla 3:

Tabla 3. Comparativa de dimensiones de las naves.

Dimensiones en metros	Eslora		Manga		Puntal	Calado en rosca
	Máxima	Flotación	Máxima	Flotación		
Pinta	16,90	15,75	5,00	4,70	2,28	1,58
Niña	22,52	20,19	5,64	5,19	2,31	1,92

En cuanto a la representación iconográfica, la propuesta es la siguiente:

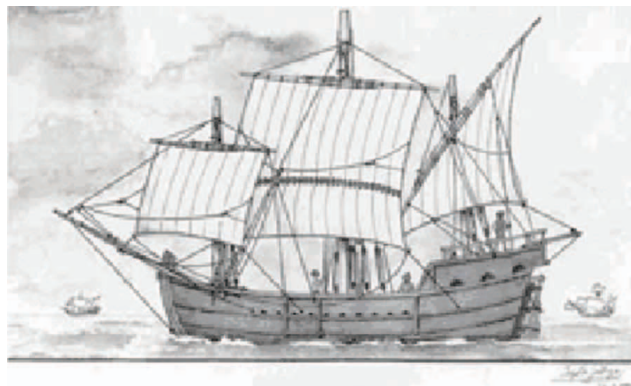


Figura 5. Carabela “Pinta” con aparejo redondo.

La Figura 5 muestra a la Pinta con aparejo redondo de tres palos. El exterior del costado es poco elaborado, solo se aprecian, como rasgos distintivos, dos cintas, tres refuerzos verticales, los trancaniles y tres aberturas semicirculares en la amurada del alcázar, para iluminación y ventilación de la tolda.

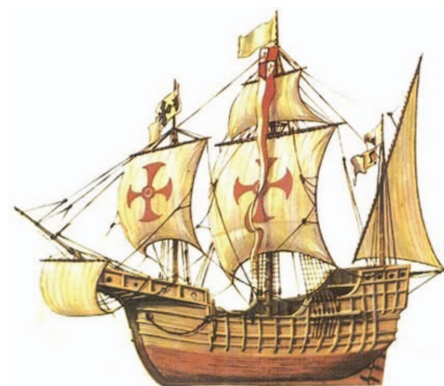


Figura 6. Carabela “Niña” con aparejo redondo.

La Figura 6 ilustra la sección longitudinal del casco cuando era carabela latina de tres mástiles. En el extremo de popa del alcázar se aprecia el camarote del piloto, una pequeña estancia colocada a media altura, (parte por encima de la cubierta del alcázar y parte por debajo). Esta disposición de semisótano era común en el Atlántico español, en buques de poco porte, para disminuir la altura en la popa, mejorar la estabilidad y reducir pantalla al viento, que era peligroso con mucho viento.

### 4. Conclusiones

El artículo ha representado matemáticamente las fórmulas básicas de volúmenes, arqueos, módulos y proporciones que permitían a los experimentados artesanos, sin el apoyo de planos, construir navíos capaces de acometer empresas tales como el descubrimiento de América. Si bien, el modelo de trabajo actual en cualquier campo constructivo parte de la base de un diseño documental, queda demostrado que en la época de los grandes descubrimientos, el trabajo basado en el conocimiento y la experiencia de los artesanos no era menos efectivo. Estos artesanos, comparables a las figuras de los ingenieros actuales, eran los portadores personificados de la ciencia del momento. Por otro lado, se entiende que, muchos conocimientos técnicos (diseño, construcción, etc.), se han ido perdiendo, dado que su transmisión era exclusivamente verbal. Se puede concluir, por tanto, que la investigación sobre los aspectos de ingeniería de estos navíos está aún, en gran medida, por desvelar. Estos secretos probablemente no se encuentren en ningún libro, y sus principales conocedores seguirán siendo, tal vez, viejos artesanos.

## Referencias

- [1] J. Rubio. *Arquitectura de las naos y galeones de las flotas de Indias*. (2 Vol.). Ediciones Seyer. Málaga. 1991.
- [2] S. Escalante de Mendoza, Juan: *Itinerario de Navegación – 1575*. Museo Naval. Madrid, 1985.
- [3] J. Casado Soto, José Luis: *Los barcos españoles del Siglo XVI y la Gran Armada de 1588*. Editorial San Martín. Madrid – 1988.
- [4] A. Escarpa Gil, Alejandro: *Tecnología romana*. Editorial Akal. 2000. Página 49.
- [5] H. Colón, Hernando: *Historia del Almirante*. Historia 16, (2ª Ed.). Madrid. 1984.
- [6] Archivo de Indias, Libros de Armadas, 103, 112, 113.



## Sensor inteligente permite llevar la monitorización del sudor al siguiente nivel

(Fuente: *Smart Wearable Sensor Takes Sweat-Monitoring To Next Level*, by Prachi Patel, Jan 2016, *IEEE Spectrum Tech Talk*)

El sudor contiene una gran variedad de compuestos químicos cuyas concentraciones cambian en tiempo real, compuestos que pueden revelar la respuesta del cuerpo a enfermedades, drogas, dieta, heridas y estrés, entre otras cosas. Para acceder a esta valiosa fuente de información, un grupo de investigadores han desarrollado un sensor portátil que mide los niveles de ciertas moléculas específicas en el sudor y envía estos datos en forma inalámbrica a un teléfono inteligente por medio de un módulo *Bluetooth*.



El dispositivo inteligente, diseñado como una pulsera o banda de cabeza, combina un panel de sensores químicos plástico con circuitos integrados implementados sobre una tarjeta flexible. El dispositivo mide continuamente los niveles de cuatro distintos componentes del sudor: dos electrolitos, potasio y iones de sodio, y dos metabolitos, glucosa y lactato. Un artículo completo sobre este sensor aparece en la revista *Nature* (*Nature* 529, 509–514, January 2016).

El medidor consiste en un arreglo de sensores químicos, cada uno de 3-mm de ancho, sobre un sustrato plástico flexible. Los sensores están basados en mezclas de enzimas o químicos especiales que reaccionan con el metabolito o ion que se mide y generan una señal eléctrica. Este nuevo diseño de sensores resulta más estable y confiable que anteriores modelos.

El diseño también incluye un sensor de temperatura hecho de un microalambre de metal cuya resistencia cambia en respuesta a la temperatura. El sensor de temperatura es un componente crítico para la monitorización precisa. Esto es así porque los sensores tienen una fuerte dependencia con la temperatura, y cuando ésta cambia también hay cambios en la salida de los sensores. Cuando se suda, hay grandes cambios en la temperatura de la piel por lo que es importante medir constantemente la temperatura para corregir la salida de los sensores como una función de la temperatura.

Las señales eléctricas del arreglo de sensores que están en contacto con la piel, pasan a través de la tarjeta de circuitos para ser procesadas y calibrar los datos que se envían al teléfono.

Además, los investigadores demostraron el uso del arreglo de sensores para monitorizar la deshidratación en las personas que corren a la intemperie al medir los iones de potasio y sodio, cuyas concentraciones aumentan con la deshidratación. Actualmente se trabaja en extender la aplicación de los sensores a un espectro más amplio de moléculas en el sudor.

## Japón construye la planta de energía flotante más grande del mundo

(Fuente: *Japan Building World's Largest Floating Solar Power Plant*, by John Boyd, Jan 2016, *IEEE Spectrum Tech Talk*)

La empresa *Kyocera Corp.* ha ideado una manera creativa e inteligente de construir y desplegar plantas solares de energía sin ocupar grandes campos valiosos para la agricultura: construir las plantas sobre lagos o represas de agua dulce.

Este concepto no es nada nuevo, *Ciel et Terr* en Francia, inició como pionera de esta idea en 2006, y en 2007, *Far Niente*, un productor de vino en *Napa Valley*, comenzó la operación de un pequeño sistema de generación solar flotante instalado en un estanque para reducir los costos de electricidad sin destruir terrenos valiosos para el cultivo.

*Kyocera TCL Solar* y *Century Tokyo Leasing Corp.* (trabajando en conjunto con *Ciel et Terre*) tienen ya tres instalaciones basadas en agua de tamaño significativo en operación cerca de la ciudad de *Kobe*, en la isla de *Honshu*. Actualmente han iniciado la construcción de los que ellos llaman la planta solar flotante más grande del mundo, en *Chiba*, cerca de *Tokyo*.



La planta de energía de 13.7 MW está localizada en el reservorio de la represa *Yamakura*, 75 kilómetros al este de la capital. Consistirá de 51 000 módulos solares *Kyocera* que cubrirán un área de 180 000 metros cuadrados, y generará un estimado de 16 170 megawatt-horas anualmente. Esta

generación de electricidad permitirá proveer aproximadamente 4 970 hogares. Esta capacidad es suficiente para eliminar la emisión de unas 8 170 toneladas de dióxido de carbón por año, la cantidad que se entrega a la atmósfera al consumir 19 000 barriles de petróleo.

Se dispondrá de tres subestaciones para coleccionar la corriente eléctrica, que se integrará y entregará a las líneas de 154 kilovoltios de la red eléctrica de la compañía Tokyo Electric Power Company.

Los módulos de soporte que conforman la plataforma de montaje no utilizan metal, sino un polietileno de alta densidad, reciclable, resistente a la corrosión y a los rayos ultravioleta.

Esta plataforma será suplida por *Ciel et Terre*. Además de ayudar a conservar el espacio en tierra y no requerir trabajos de excavación, estas instalaciones flotantes reducen la evaporación de agua, disminuyen el crecimiento de algas y no impactan en la calidad del agua.

Con el aumento de reservorios para la agricultura y el control de inundaciones, los ejecutivos de Kyocera creen que habrá un gran potencial para el negocio de la generación de energía con plantas solares flotantes. Actualmente la compañía está desarrollando al menos 10 proyectos adicionales y está considerando la instalación de plantas flotantes en el extranjero.

## Sensor inteligente permite llevar la monitorización del sudor al siguiente nivel

(Fuente: *Smart Wearable Sensor Takes Sweat-Monitoring To Next Level*, by Prachi Patel, Jan 2016, *IEEE Spectrum Tech Talk*)

El sudor contiene una gran variedad de compuestos químicos cuyas concentraciones cambian en tiempo real, compuestos que pueden revelar la respuesta del cuerpo a enfermedades, drogas, dieta, heridas y estrés, entre otras cosas. Para acceder a esta valiosa fuente de información, un grupo de investigadores han desarrollado un sensor portátil que mide los niveles de ciertas moléculas específicas en el sudor y envía estos datos en forma inalámbrica a un teléfono inteligente por medio de un módulo *Bluetooth*.



El dispositivo inteligente, diseñado como una pulsera o banda de cabeza, combina un panel de sensores químicos plástico con circuitos integrados implementados sobre una tarjeta flexible. El dispositivo mide continuamente los niveles de cuatro distintos componentes del sudor: dos electrolitos, potasio y iones de sodio, y dos metabolitos, glucosa y lactato. Un artículo completo sobre este sensor aparece en la revista *Nature* (*Nature* 529, 509–514, January 2016).

El medidor consiste en un arreglo de sensores químicos, cada uno de 3-mm de ancho, sobre un sustrato plástico flexible. Los sensores están basados en mezclas de enzimas o químicos especiales que reaccionan con el metabolito o ion que se mide y generan una señal eléctrica. Este nuevo diseño de sensores resulta más estable y confiable que anteriores modelos.

El diseño también incluye un sensor de temperatura hecho de un microalambre de metal cuya resistencia cambia en respuesta a la temperatura. El sensor de temperatura es un componente crítico para la monitorización precisa. Esto es así porque los sensores tienen una fuerte dependencia con la temperatura, y cuando ésta cambia también hay cambios en la salida de los sensores. Cuando se suda, hay grandes cambios en la temperatura de la piel por lo que es importante medir constantemente la temperatura para corregir la salida de los sensores como una función de la temperatura.

Las señales eléctricas del arreglo de sensores que están en contacto con la piel, pasan a través de la tarjeta de circuitos para ser procesadas y calibrar los datos que se envían al teléfono.

Además, los investigadores demostraron el uso del arreglo de sensores para monitorizar la deshidratación en las personas que corren a la intemperie al medir los iones de potasio y sodio, cuyas concentraciones aumentan con la deshidratación. Actualmente se trabaja en extender la aplicación de los sensores a un espectro más amplio de moléculas en el sudor.

## Japón construye la planta de energía flotante más grande del mundo

(Fuente: *Japan Building World's Largest Floating Solar Power Plant*, by John Boyd, Jan 2016, *IEEE Spectrum Tech Talk*)

La empresa *Kyocera Corp.* ha ideado una manera creativa e inteligente de construir y desplegar plantas solares de energía sin ocupar grandes campos valiosos para la agricultura: construir las plantas sobre lagos o represas de agua dulce.

Este concepto no es nada nuevo, *Ciel et Terr* en Francia, inició como pionera de esta idea en 2006, y en 2007, *Far Niente*, un productor de vino en *Napa Valley*, comenzó la operación de un pequeño sistema de generación solar flotante instalado en un estanque para reducir los costos de electricidad sin destruir terrenos valiosos para el cultivo.

*Kyocera TCL Solar* y *Century Tokyo Leasing Corp.* (trabajando en conjunto con *Ciel et Terre*) tienen ya tres instalaciones basadas en agua de tamaño significativo en operación cerca de la ciudad de *Kobe*, en la isla de *Honshu*. Actualmente han iniciado la construcción de los que ellos llaman la planta solar flotante más grande del mundo, en *Chiba*, cerca de *Tokyo*.



La planta de energía de 13.7 MW está localizada en el reservorio de la represa *Yamakura*, 75 kilómetros al este de la capital. Consistirá de 51 000 módulos solares *Kyocera* que cubrirán un área de 180 000 metros cuadrados, y generará un estimado de 16 170 megawatt-horas anualmente. Esta

generación de electricidad permitirá proveer aproximadamente 4 970 hogares. Esta capacidad es suficiente para eliminar la emisión de unas 8 170 toneladas de dióxido de carbón por año, la cantidad que se entrega a la atmósfera al consumir 19 000 barriles de petróleo.

Se dispondrá de tres subestaciones para colectar la corriente eléctrica, que se integrará y entregará a las líneas de 154 kilovoltios de la red eléctrica de la compañía Tokyo Electric Power Company.

Los módulos de soporte que conforman la plataforma de montaje no utilizan metal, sino un polietileno de alta densidad, reciclable, resistente a la corrosión y a los rayos ultravioleta.

Esta plataforma será suplida por *Ciel et Terre*. Además de ayudar a conservar el espacio en tierra y no requerir trabajos de excavación, estas instalaciones flotantes reducen la evaporación de agua, disminuyen el crecimiento de algas y no impactan en la calidad del agua.

Con el aumento de reservorios para la agricultura y el control de inundaciones, los ejecutivos de Kyocera creen que habrá un gran potencial para el negocio de la generación de energía con plantas solares flotantes. Actualmente la compañía está desarrollando al menos 10 proyectos adicionales y está considerando la instalación de plantas flotantes en el extranjero.

# Entrevista con la Dra. Carmenza Spadafora

**Mayteé Zambrano**

Facultad de Ingeniería Eléctrica  
Universidad Tecnológica de Panamá

La Dra. Carmenza Spadafora estudió su doctorado en Bioquímica y Biología Molecular en la Universidad de Granada con el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España. Es egresada de la Universidad Eastern Michigan en Bioquímica Profesional y realizó dos formaciones postdoctorales en la Universidad Central de la Florida y en el Walter Reed Army Institute of Research en Estados Unidos. En el 2008 regresó a Panamá a incorporarse en el Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología, INDICASAT AIP. Es coordinadora del Centro de Biología Celular y Molecular de las Enfermedades. Entre sus distinciones cuentan haber logrado el primer subsidio de Fase I de Panamá y el primero de Fase II de Latinoamérica del programa Exploraciones para los retos Globales, de la Fundación Bill y Melinda Gates. Carmenza ha sido galardonada por su excelencia en investigación en 2012 y 2014, premio otorgado por APANAC y SENACYT. Carmenza Spadafora forma parte del Sistema Nacional de Investigación, SNI, como Investigadora Distinguida.

### ¿Quién es Carmenza Spadafora y cómo es que entra al mundo de la ciencia?

Soy una chitreana que tuvo la dicha de crecer en la sencillez y genuinidad de la vida en el interior. Crecí en una bella y gran familia y nuestros padres nos inculcaron mucha lectura, buena música, servicio a la comunidad, y deseos de superación, entre otras cosas. La curiosidad en mi casa era bien aupada, y algunos regalos que recibí como juegos de química o geología, o un microscopio, probablemente fueron los que descubrieron esa pasión por la ciencia dentro de mí. El segundo y el quinto año de secundaria del colegio, cuando se estudian el cuerpo humano y su funcionamiento a nivel bioquímico, respectivamente, me dieron la seguridad de querer dedicarme a la investigación biomédica. De hecho, desde aquel tiempo comencé a decir, “quiero ser científica” y específicamente, “quiero ser bioquímica”.

### Eres una científica panameña reconocida a nivel mundial, ¿Qué o quién te inspira?

La vida de Marie Curie, o algunos personajes de las novelas de Julio Verne, que mucho sabían de todo, me inspiraban a saber más. Pero mis padres, especialmente mi madre, siempre instruyéndonos con fascinación, fueron y son mi mejor guía. El primer juego de geología que me regalaron lo disfruté mucho,



y me enseñó el poder de la observación de patrones, colores, texturas y otras propiedades físicas para identificar minerales. El juego de química me enseñó, sobre todo, que algunas sustancias había que manejarlas con precaución! Y el microscopio me habló de que las cosas existen aunque no se vean a simple vista....

Por último, saqué de entre los muchos libros que papá y mamá guardaban en el armario de la biblioteca, un libro llamado “Energía”, el cual con sólo darle una ojeada me convenció de llevármelo; éste se sumergía, muy didácticamente, en el mundo de la relatividad de Einstein, y eso sí fue de lo más fascinante que encontré durante mi adolescencia. Creo que nunca he dejado de sentir esa fascinación por la física pura, que finalmente se perfecciona en la metafísica donde la mayoría de los misterios de Dios convergen y comienzan a la vez.

### Llevas una trayectoria en investigación en Panamá ¿Qué avances en el campo científico has visto para Panamá en los últimos 15 años? y ¿Qué cosas piensas han sido claves para Panamá en esto?

Indudablemente que la creación de SENACYT, desde antes, fue determinante para la ciencia en Panamá. Y sé que muchos coinciden conmigo, en que en estos últimos años, la dirección del Dr. Julio Escobar al frente de este organismo le propinó a nuestro campo un empuje sin el cual no estaríamos donde estamos hoy, en un despertar de la investigación y la innovación. También estoy convencida que la contratación por méritos del doctor Jagannatha Rao como primer director de INDICASAT AIP (convocatoria que se hizo a nivel internacional en revistas científicas como Nature) trajo horizontes nuevos al país y nos ha acercado mucho a la forma de hacer ciencia del primer mundo. Es tan lamentable que todavía la ciencia en nuestro país se vea como un lujo y no como la vía que nos dará sostenibilidad y autonomía propia como nación, que no dependa de terceros, que los gobiernos no sólo no hayan aumentado el porcentaje

anual que se destina a este campo sino que este año hayamos visto un recorte que nos lleva de vuelta a donde estábamos en el año 2007, cuando ni se oía de que hacíamos ciencia en Panamá. Con tantos científicos como hemos regresado al país, que es lo que se había previsto cuando se comenzaron a dar becas de doctorado en 1997, ahora nos dicen que no hay recursos destinados a la investigación y la tecnología... ¿entonces, para qué se hizo este plan? ¿Qué se supone que jugamos? ¿No hay una visión de Estado que se aprecie y mantenga? No podemos ser tomados en serio por otras naciones protagonistas de la historia mientras tengamos esta actitud. Lo que ha pasado en París este año, donde el Ministerio de Ambiente de Panamá ha hecho planteamientos originales, donde su voz ha estado entre la de los líderes, deberíamos poder repetirlo en las convenciones internacionales que hablan del rumbo de la ciencia, la investigación y la innovación.

**¿Siendo mujer, crees que en Panamá o en el mundo es más difícil llevar a cabo esta carrera para una mujer? ¿Qué cosas son determinantes si crees que hay una diferencia?**

La verdad es que no sé qué es lo que no puede hacer una mujer, en Panamá o en la mayoría de las regiones del mundo. A pesar de tener que lidiar con embarazos, con niños en la escuela, con hijos enfermos, esposos que no ayudan en las labores de la casa en casi nada: las mujeres somos más dedicadas y usualmente más organizadas para sacar muchas cosas adelante a la vez. Interesantemente, en Panamá hay más mujeres en carreras de biología que hombres. Y hay una cantidad de científicas que supera el porcentaje medio de Latinoamérica. Siendo esto así, creo que no se aprecia suficiente que para una mujer tener la misma productividad científica que un hombre, hay detrás mucho más sacrificio que en nuestras parejas. Conozco colegas convencidas que sus carreras de investigadoras, con cargas extras como profesorado que demandan una carga excesiva para cualquier investigador, afectan su calidad de vida. En otros ámbitos, la labor científica es mejor considerada, tanto en remuneración como en el respeto que se tiene ante las necesidades humanas, personales, lo suficiente como para hacer una descarga horaria de clases importante, cuando no total. Las universidades que así lo hacen, conocen el recurso humano valiosísimo que forma sus filas, y como ello viene a formar parte del patrimonio académico con que alardean de su institución cuando quieren atraer estudiantes o subsidios nacionales o internacionales, lo cuentan como una inversión. Entonces, las instituciones que tienen mujeres destacadas, investigadoras con ejecutorias de excelencia, debían hacer todo lo posible por darles a ellas facilidades para poder sentirse a gusto con sus carreras mientras viven sus vidas diarias con calidad humana. Por ejemplo, una

práctica bastante atractiva de algunos centros investigativos de excelencia es la creación de guarderías infantiles dentro de sus instituciones. Estos son instrumentos que aumentan la calidad de vida de las mujeres investigadoras y atraen al mejor talento nacional e internacional. Lo mismo se puede decir de aquellos centros que permiten llevar a sus mascotas al lugar de trabajo, y que ya se ha demostrado que mejora el rendimiento y la atmósfera laboral de todos los que están alrededor. Estos son ejemplos de formas de complementar la oferta laboral que no debería basarse únicamente en la remuneración económica.

**¿Crees que Panamá necesita una política específica sobre STEM en educación? y ¿Por qué?**

Creo que se necesita cambiar la manera de formar a los pedagogos. Enseñar la ciencia con entusiasmo es lo que más estimula a los estudiantes a aprender bien las materias científicas. Pero me da miedo que se crea que hay que abandonar las humanidades porque ellas son las que nos hacen poder llegar a la excelencia. Empezando por poder escribir con coherencia y sin faltas de ortografía (¡por Dios Santo!), hasta poder mantener y disfrutar conversaciones inteligentes con personas versadas, en diferentes ámbitos, leídas y cultas. A decir verdad, yo estudié en un colegio público y no tengo queja de la formación que recibí en biología, química o matemática. Lo que aprendí hasta sexto año en el José Daniel Crespo de Chitré me hizo tener dos semestres “sobrados” en Cálculo I y II (nivel avanzado) en Estados Unidos porque ya eso lo había dado en el colegio. Por lo tanto, creo que se trata más que todo de que el profesorado lo sea por vocación y claro, que esté bien preparado en su materia.

**¿Qué cosas crees, desde tu vivencia internacional, nos hace falta como país para lograr un desarrollo científico? ¿Cuáles parecieran ser nuestras fortalezas y virtudes?**

Políticas de migración expedita para profesionales de alta capacitación, y políticas de importación sin trabas para reactivos y equipos de uso científico, son dos cosas que auparían la competitividad internacional en nuestras disciplinas. Como país, necesitamos que nuestros gobernantes conozcan más, y crean, en la ciencia y el poder que tiene para el desarrollo sostenible de los pueblos. Mientras no haya esta visión desde el lado de los políticos, seguiremos dependiendo de dar los peces sin enseñar a la gente a pescar. En cuanto a nuestra fortaleza, creo que la biodiversidad y nuestra ubicación geográfica son las dos principales riquezas que tenemos. Ahora aprovechamos sólo una. ¿Cuándo reconoceremos como país que este verdor y explosión de vida natural que nos rodea es una fuente de riqueza sostenible, de posibles fármacos, de estudios sobre la evolución, de estudios clínicos, y de turismo, entre otros?

Porque mientras sigamos sustituyéndolos por concreto, se revela nuestra desafortunada ignorancia de este privilegio.

### **¿Crees que Panamá, para lograr incrementar su desarrollo, debería apostar a ciertas líneas de investigación?**

Más que una línea de investigación específica, las políticas de ciencias debían propiciar la transversalidad de las disciplinas. Tenemos mucho talento en el país que debería “hablarse”: Geología con cambio climático, biomedicina con ingeniería, informática con botánica, nanotecnología con física, etc. Ya estamos dando los primeros pasos en esta dirección, afortunadamente. Los grupos de colaboración que se han formado entre investigadores de la UTP e INDICASAT AIP son una muestra de ello. Preveo que proyectos de resultados muy impactantes saldrán de estas colaboraciones. Y además, creo que después de darle oportunidad a todos los que comienzan para que desarrollen alguna línea de investigación, se deben identificar aquellas líneas que sobresalen en excelencia, las que más producen para el país, y apoyarlas. Lamentablemente, no se puede dar subsidios de forma “universal”, por pretender ser democráticos, si no se hace basados en ejecutorias y méritos porque entonces ningún grupo o línea puede realmente destacar. A menos que se dedique un porcentaje acorde en el PIB para poder seguirle dando una subsidio a todos, aún a los

que no producen ni publican, por un malentendido concepto de que hay que ser “equitativos”, lo que podría desafortunadamente degenerar en una ciencia mediocre.

### **¿Cómo describirías tu aporte científico brevemente?**

Creo que la idea de tratar la malaria sin drogas ha sido un hito en mi carrera. Y después, aunque no es una idea original mía, la colaboración con muchos científicos que entre todos defendemos el valor de la biodiversidad panameña, abriendo posibles avenidas terapéuticas contra enfermedades tropicales, me ha permitido hablar de nuestra riqueza con evidencia, que espero termine por convencer a los gobernantes de la necesidad de conservarla y protegerla.

### **Carmenza, eres un ejemplo a seguir para muchos, si pudieras resumir tu lema de vida profesional para nuestros lectores, ¿cuál sería?**

Quiero tratar de ser humilde en todo lo que hago. Y pretendo tratar a los demás como me gustaría que me traten a mí. Son dos simples reglas que intento seguir. Por lo demás, hago mío el lema de un premio Nobel de Física que dijo, “Cuando se comienza a beber del cáliz de las Ciencias Naturales puede uno volverse ateo. Pero cuando se llega al final de la copa, se encuentra a Dios en el fondo de ella”.

# Comunicación Molecular: Retos y oportunidades

**Mayteé Zambrano**

Facultad de Ingeniería Eléctrica  
Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen:** *La comunicación molecular permite el envío de información a través de moléculas u otras partículas a escala de nanómetros a micrómetros. La misma posee limitaciones como: degradación de las partículas en el medio acuoso durante la propagación y retardo de la señal de información recibida debido al movimiento browniano de las partículas. En este artículo se describen los fundamentos más relevantes de un sistema de comunicación molecular incluyendo retos, limitaciones y aplicaciones en la que esta tecnología tendría un impacto relevante. Se presentan los aspectos significativos del canal de comunicaciones, tipos de modulación y herramientas de modelaje de sistemas de comunicación molecular.*

**Palabras Claves:** *comunicación molecular, difusión, modulación basada en concentración de partículas, Nano-dispositivos, señales bioquímicas.*

**Title:** *Efficient wireless sensor networks for agroindustry*

**Abstract:** *The molecular communication allows sending information through molecules or other particles of nanometer to micrometer scale. It has limitations as: particles degradation in the aqueous or fluid medium during propagation, and the delay in the received signal due to Brownian motion of the particles. In this article the most important foundations of molecular communication system including challenges, limitations and applications where this technology would have a significant impact are described. Significant aspects of the communications channel, modulation types and modeling tools of molecular communication systems are presented.*

**Key words:** *molecular communication, diffusion, modulation based on concentration of particles, Nano-devices, biochemical signal.*

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 14 de agosto de 2015

Fecha de aceptación: 3 de diciembre de 2015

## 1. Introducción

Los sistemas de comunicaciones modernos suplen la demanda creciente de información ubicua de la sociedad actual mediante señales eléctricas o electromagnéticas. Sin embargo, existen aplicaciones en las cuales esto es ineficiente e inapropiado,

como por ejemplo en dimensiones extremadamente pequeñas. Este es el caso de la comunicación entre robots de escala micro o nano debido a restricciones en el tamaño de las antenas y la longitud de onda de la señal electromagnética. De estas limitaciones de los sistemas por propagación electromagnética surge la necesidad de buscar sistemas de comunicación innovadores que utilicen otro tipo de propagación.

Paralelamente los avances en nanotecnología, que hacen posible la miniaturización de muchos dispositivos, el desarrollo en biotecnología y los adelantos de la micro-robótica, donde el diseño de dispositivos que realizan ciertas tareas ha comenzado a mostrar resultados positivos [1], crean las condiciones favorables para reducir el tamaño de los sistemas de información. De toda esta sinergia surge la idea de los sistemas moleculares a escala de micrómetros a nanómetros basados en la comunicación existente en sistemas vivos a nivel molecular.

En el ámbito nanoescalar existen dos corrientes que científicamente se han desarrollado: la comunicación electrónica vía señal electromagnética con la ayuda de material novedoso en nano escala como grafeno o los nanotubos de carbón [2] y la comunicación molecular (CM) [3]. La primera tiene un futuro muy dependiente de los avances en nanotubos de grafeno y la segunda es una novedosa idea que requiere del desarrollo y adaptación de toda la tecnología de comunicaciones bajo condiciones específicas.

La CM se inspira en la comunicación a través de señales químicas que usan los seres vivos donde la información es llevada por partículas pequeñas como: moléculas, bacterias y aquellas que usan como transporte medios acuosos o gaseosos. En CM una vez la partícula de información llega al receptor, esta es detectada y decodificada por un proceso bioquímico para descifrar la información previamente codificada en el transmisor [3]. CM tiene 2 ventajas principales sobre los sistemas de comunicación por radio propagación: la compatibilidad biológica y la eficiencia energética de los procesos bioquímicos con baja dispersión de calor. Sin embargo, las teorías de comunicaciones actuales no pueden ser implementadas directamente debido a las variantes en el canal, el tipo de señal de información y la escala nanométrica con respecto a los sistemas de información convencionales.

Los avances desarrollados en CM son de suma importancia para aplicaciones médicas (administración de fármacos, detección y control de enfermedades), ciudades inteligentes (utilización de biología sintética para cambiar la tonalidad en árboles a resplandecientes), en la agroindustria (sensores integrados a plantas y/o productos derivados para control y monitoreo).

CM es un campo novedoso y multidisciplinario que requiere de varias ciencias como: la biología, biotecnología e ingeniería de comunicaciones para superar las limitaciones y retos a los



que se enfrenta. En este artículo se presenta una descripción general de los sistemas de CM incluyendo componentes del sistema por etapas, aplicaciones, ventajas y desventajas. Se resaltan los aspectos más relevantes de CM para familiarizarnos con sus fundamentos físicos, así como las particularidades de su diseño ingenieril. Adicionalmente se señalan los retos y limitaciones que aún son objeto de estudio y herramientas de modelaje entre otros aspectos. En la sección 2 de este artículo se define CM con sus características propias, incluyendo la descripción del modelo de CM con sus elementos. En la sección 3 se plantean los tipos de modulación propuestos para CM, mientras que en la sección 4 se detallan los avances y análisis de capacidad del canal de CM. En la sección 5 se presentan posibles aplicaciones, ventajas y desventajas de un sistema de CM y las herramientas más relevantes de modelaje para finalizar en la sección 6 con las conclusiones.

## 2. Sistema de Comunicación Molecular

CM es un nuevo paradigma de comunicación entre partículas biológicas o dispositivos diminutos que llevan información a cortas distancias en medios acuosos o gaseosos. Es decir, consiste en la emisión y recepción de señales de información mediante moléculas biológicas, bio-sintéticas o nano-máquinas. En la Figura 1 se describe un sistema de CM donde puede observarse que, al igual que en los sistemas convencionales de comunicación, CM contiene los tres componentes principales: transmisor, receptor y canal.

**Transmisor:** En CM la información está contenida en partículas a nivel de micrómetros a nanómetros. Estas partículas pueden ser compuestos biológicos (las proteínas) o compuestos sintéticos (nano partículas de carbón u oro) [4-6]. Ejemplos de estas partículas de información son: ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (ARN), hormonas, feromonas, proteínas, péptidos, virus, células genéticamente alteradas, células artificiales y dispositivos de escala diminuta. El transmisor provee la energía necesaria para la generación y almacenaje de partículas. De igual forma, procesa y controla la cantidad, tipo o concentración de partículas en CM. El transmisor contiene el mecanismo de emisión de las partículas al medio una vez la unidad de control le indica el tiempo de liberación. La codificación y modulación seleccionada son funciones que se realizan dentro del transmisor. Son varios los mecanismos de modulación planteados los cuales serán descritos adelante. También se han propuesto diversos métodos de implementación de acciones lógicas y de memorias con células vivas los cuales pueden ser utilizados por el transmisor y receptor como unidades de procesamiento y control [7].

**Canal:** es un ambiente acuoso o gaseoso donde las partículas diminutas se propagan. Los mecanismos de

propagación propuestos son: difusión libre, difusión por el primer golpe, propagación asistida en flujo, propagación asistida por bacterias, propagación neuroquímica, kinesinas sobre microtúbulos, motilidad de microtúbulos sobre kinesinas estacionarias, propagación a través de la unión de brechas, propagación mediante el uso de motores moleculares, entre otros [3,8,9].

Los mecanismos de propagación pueden ser clasificados por su arquitectura como [8,10-12]:

- **Arquitecturas basadas en el caminar sobre una vía específica a través de sustancias portadoras**, como por ejemplo: los motores moleculares y motores de bacteria. Se logra predecir claramente la ruta o recorrido de la información.
- **Arquitecturas basadas en el flujo** en donde las moléculas viajan por difusión sobre un fluido que es predecible en flujo y turbulencia. Estas arquitecturas también pueden utilizar un portador con movimiento limitado en promedio sobre una ruta. Ejemplos: la comunicación de hormonas en la sangre y la comunicación de feromonas en una colonia de hormigas.
- **Arquitecturas basadas en difusión** en donde las moléculas se propagan a través de su movimiento natural espontáneo de difusión pero que es afectado por turbulencias en el fluido en el que se desplazan.

El canal introduce ruido resultante de la degradación por: la propagación aleatoria debido al movimiento browniano de las partículas, las turbulencias del fluido en el que se propagan y las reacciones químicas con otras moléculas o el medio que degradan las partículas de información.

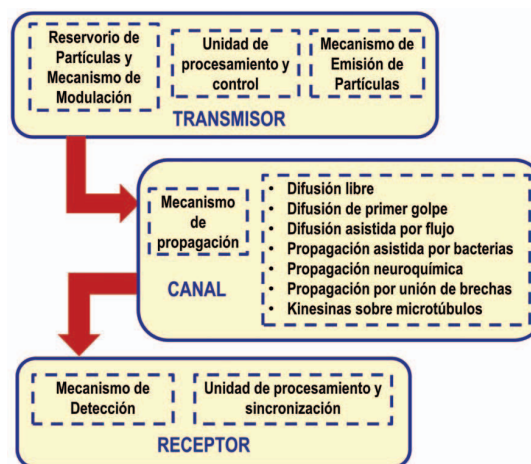


Figura 1. Componentes de un sistema de comunicación molecular.

**Receptor:** contiene sensores o detectores que pueden medir la presencia o falta de información en las partículas que recibe.

Entre sus funciones también están la corrección y detección en caso de errores causados por el retardo por turbulencia o choque de partículas. Contiene mecanismos para medir el nivel de concentración de cada partícula y distinguir entre diferentes tipos. Los procesos de recepción han sido analizados por absorción y síntesis. En [13-14] se presentan receptores para moléculas específicas los cuales son sintetizados dentro de una célula. Otra opción es colocar todos los componentes dentro de una célula sintética. De igual forma se ha planteado la posibilidad de utilizar material magnético como una perturbación que se propaga como ondas spin, o el uso de procesamiento a escala de nanómetros [15].

### 3. Tipos de Modulación

Los sistemas CM se basan en la propagación de moléculas o partículas de información mediante difusión. Al igual que en comunicación convencional digital, los símbolos son enviados con la intención de ser decodificados al receptor. Diferentes técnicas de modulación pueden ser usadas para el mapeo o representación gráfica entre la molécula en el receptor y el símbolo recibido. El símbolo puede ser modulado tomando en cuenta las propiedades de la molécula mensajera que llega al receptor (ejemplo: concentración, frecuencia, fase, tipo de molécula) para formar o reconstruir la señal de información. Entre las modulaciones propuestas tenemos:

- **Modulación por Desplazamiento de Concentración (CSK):** consiste en la emisión de un número de moléculas de un mismo tipo que conllevan la información. En CSK la concentración de la molécula recibida representa la amplitud de la señal. CSK es el análogo a ASK en los sistemas de comunicación convencional. CSK puede ser implementada en la práctica como BCSK (caso binario) o multinivel MCSK dependiendo de la velocidad por símbolo escogida y del número de moléculas liberadas. Esta técnica también contiene, la forma más simple OOK que es el desplazamiento de encendido y apagado que representa el envío o no de partículas o moléculas de información [16]. El receptor decodifica los símbolos utilizando diferentes niveles de concentración de acuerdo a la cantidad de bits por símbolo en un sistema multinivel MCSK, como se muestra en la Figura 2. CSK es afectada por interferencia entre símbolos (ISI por sus siglas en inglés) debido a los excedentes de moléculas anteriores, retardos en la llegada de las partículas de información y/o reacciones químicas que cambian los niveles de concentración. En el intento por mejorar el efecto de la ISI se propone la modificación Zebra-CSK [17], la cual usa 2 tipos de moléculas: las moléculas mensajeras para codificar la información en símbolos y las moléculas para inhibir los residuos de símbolos anteriores. En esa búsqueda por reducir la ISI se propone la variación

de CSK utilizando 2 tipos de moléculas conocida como desplazamiento por transición de molécula (MTSK) [18].

- **Modulación por Desplazamiento de Molécula (MoSK):** es una técnica en la que se emiten diferentes tipos de moléculas las cuales representan la información.  $2n$  tipos de moléculas o partículas de información son necesarias para enviar  $n$  bits por símbolo y obtener a multinivel MoSK (MMoSK). La emisión o liberación de partículas depende del símbolo a enviar y la detección en el receptor de la concentración en un intervalo específico. Al igual que en CSK, los excedentes de cualquier partícula de símbolos anteriores causa ISI aunque MMoSK presenta este problema en menor grado que CSK [16]. Su mejor rendimiento frente a la ISI complica los diseños del receptor y transmisor debido a que el mecanismo molecular es más complejo y requiere de técnicas de codificación y detección bioquímicas certeras para reducir o eliminar errores.
- **Modulación Basada en el Radio Molecular:** adicional a las técnicas propuestas, en [19] se propone una nueva técnica de modulación basada en el radio molecular (IRSK por sus siglas en inglés) utilizando isómeros como partículas de información, específicamente *aldohexosas*. La información es codificada utilizando radio de las moléculas mensajeras. El esquema más simple desarrollado requiere el uso de 2 tipos de moléculas, siendo el mismo más robusto frente a ISI y presenta un diseño del receptor menos complejo en comparación con CSK bajo el mismo tipo de moléculas.

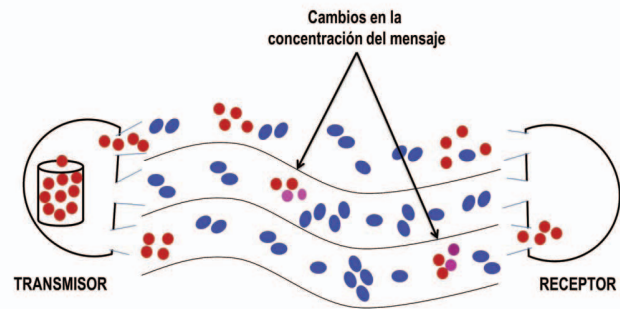


Figura 2. Funcionamiento de una modulación multinivel de CSK.

- **Modulación por tiempo transcurrido (TEC por sus siglas en inglés de Time-Elapse Communication):** esquema para sistemas de propagación muy lento como comunicación de bacterias dentro de un chip. En esta técnica la información es codificada mediante el intervalo de tiempo entre dos pulsos consecutivos, específicamente en [20] se demuestra mediante fluorescencia en bacterias.

### 4. Capacidad del Canal

En un canal de sistema de comunicación con ruido las variables para medir su rendimiento son: la tasa de información alcanzable y la capacidad del canal [21]. La tasa de información alcanzable o información mutua es una medida teórica de cuantos bits pueden ser transmitidos a través de un canal en un período dado. Mientras la capacidad de canal es la tasa de información máxima alcanzable que es el número máximo de bits de transmisión que puede ser transferida a través del canal en un período dado [21].

Generalmente para un sistema sin memoria la tasa de información alcanzable puede ser utilizada para maximizar la capacidad del canal. La complejidad en CM recae en que es un sistema con memoria a diferencia de los sistemas convencionales de comunicación que no tienen memoria. Adicional en sistemas CM, dependiendo del mecanismo de propagación y de las partículas o moléculas de información seleccionadas para nuestro sistema, la respuesta del canal varía. Debido a esto no existe una definición única de la capacidad del canal a causa de lo impredecible de CM. Son varios los estudios que se han hecho para diferentes medios de propagación y/o partículas de información, como por ejemplo: capacidad de CM por difusión en un medio gaseoso a través de expresiones de forma cerrada del límite inferior de la capacidad del canal [22]; capacidad del canal en 1D y 3D para un sistema CM con propagación por difusión del primer golpe mediante expresiones de forma cerrada [23-24]; estudio determinístico de la capacidad del canal para un sistema de comunicación por difusión con células genéticamente modificadas que se mueven por sí mismas [25]; análisis de un sistema CM entre 2 nodos de colonias de bacterias a través de la generación de luz fluorescente [26]; medición de la tasa de información alcanzable de un sistema OOK binario de difusión molecular [27], capacidad del canal de CM con propagación a través de la unión de brechas para moléculas de señalización de calcio [28] y para comunicación entre cardiomiocitos [29].

En los sistemas de comunicaciones convencionales la codificación de canal se utiliza para combatir problemas como ruido aditivo y desvanecimiento, ya que introduce redundancia para la corrección y detección de errores. La regla de decodificación óptima para un canal es el equivalente a la distancia mínima entre dos palabras de código [21]. En la mayoría de los sistemas de comunicación de propagación electromagnética es utilizada la distancia de Hamming pero para los sistemas de CM esa distancia debe redefinirse debido al efecto codependiente de las partículas de información y el medio de propagación. En [30] se define una métrica para la distancia molecular desde la perspectiva de probabilidad para alcanzar una decodificación de canal favorable.

### 5. Aplicaciones y modelado de Sistemas de CM

En esta sección se detallan brevemente las aplicaciones, ventajas y desventajas de un sistema de CM. Adicional se mencionan las herramientas informáticas más utilizadas para el modelado y simulación de sistemas de CM.

**Aplicaciones:** Existen un gran número de posibles aplicaciones para comunicación molecular en diferentes escenarios, tales como:

- **Salud:** administración dirigida de fármacos, liberación de medicación adaptativa, monitoreo de salud mediante la identificación de sustancias tóxicas, medicina regenerativa para la reconstrucción de tejidos u órganos dañados, ingeniería genética mediante manipulación genética.
- **Aplicaciones Ambientales:** monitoreo ambiental para detección de toxinas o contaminantes, degradación de materiales no deseados o contaminantes, detección de reacciones químicas contaminantes por residuos no deseados.
- **Manufactura:** control de calidad mediante la identificación de defectos en los productos, construcción precisa de componentes, integrar nano redes en nuevos productos.
- **Otras:** monitoreo de infraestructuras, estudio y control del comportamiento de animales y plantas, uso de nanorobot para múltiples áreas.

**Ventajas:** CM presenta una serie de ventajas como:

- **Factibilidad:** a pesar de los retos que presenta se considera un sistema más fácil de implementar en corto plazo.
- **Escala:** tamaño apropiado para utilizar nano-máquinas.
- **Bio-compatibilidad:** integración con sistemas vivos es posible (No está garantizado).
- **Eficiencia energética:** reacciones bioquímicas tiene una alta eficiencia.

**Desventajas:** CM presenta algunas limitaciones o retos como:

- **Aleatoriedad:** propagación aleatoria de las moléculas lo que representa ruido ambiental del sistema.
- **Retardo:** los tiempos de propagación son muy largos comparados con la velocidad de la luz.
- **Alcance o cobertura:** algunas técnicas propuestas pueden tener rangos prácticos muy cortos.
- **Fragilidad:** los componentes biológicos pueden ser sensitivos a su ambiente (temperatura, PH y otros agentes). Otras ventajas y desventajas dependerán de la aplicación específica.

**Herramientas de Simulación:** La experimentación de sistemas de CM sobre un laboratorio requiere de equipos de alta tecnología y de un alto grado de precisión a escala nano. Esto incrementa los costos de equipos de experimentación así como también los costos asociados a manipulación y

adquisición de partículas de información ya sean una señal biológica, sintética o nano dispositivos. La experimentación es el paso primordial antes de la implementación y con la finalidad de optimizar recursos se han desarrollado herramientas de modelado biológico-ingenieril con características reales a micro-nano escala con la finalidad de modelar para verificar y analizar el rendimiento de los avances planteados antes de la experimentación. Entre los simuladores más relevantes encontramos:

- **dmCS:** simulador de comunicación molecular distribuido basado en arquitectura de alto nivel [31].
- **NanoNs:** es un simulador de nano redes moleculares el cual fue creado basado en el simulador de redes ns-2 [32].
- **N3Sim:** simulador para sistemas de comunicación molecular que permite evaluar el rendimiento bajo un nivel de concentración específico con múltiples transmisores y receptores [33].
- **MUCIN:** simulador basado en MATLAB de sistemas de CM de extremo a extremo que utilizan sistemas de propagación por difusión del primer golpe. Permite evaluar el rendimiento ante ISI de sistemas de una o tres dimensiones [34].
- **BNSim:** simulador para sistemas de CM entre bacterias de código abierto, paralelo, estocástico, y la plataforma de modelado multi-escala que integra diversos algoritmos de simulación, junto con circuitos genéticos y modelos vía química tácticos en un entorno 3D complejo [35].

## 6. Conclusiones

Los sistemas de CM son un nuevo paradigma que ofrece una alternativa a la comunicación a nivel nanométrico con un alto grado de aplicabilidad en muchos campos como se menciona. Sin embargo, aún presenta una gran cantidad de retos y limitaciones que sobrepasar como es el caso de la experimentación para la validación de resultados obtenidos computacionalmente. La naturaleza de CM hace necesario la colaboración interdisciplinaria y multidisciplinaria para desarrollar la tecnología de comunicación basada en difusión, es especial de las áreas de biología, biotecnología y comunicaciones. Desde el punto de vista ingenieril, hace falta estudiar más a fondo las técnicas de corrección y detección de errores, capacidad del canal y codificación de canal debido a que estos temas muestran menor desarrollo científico.

## Referencias

[1] A. I. F., Brunetti, F., & C. Blázquez, Nanonetworks: A new communication paradigm. *Computer Networks*, Vol. 52, No.12, pp. 2260-2279, 2008.

[2] J. K., Weldon, J., Garcia, H., & A. Zettl. Nanotube radio. *Nano letters*, Vol. 7, No. 11, pp. 3508-3511, 2007.

[3] N. T., Eckford, A. W., & T. Haraguchi. *Molecular communication*. Cambridge University Press, 2013.

[4] L. You, R. S. Cox, R. Weiss, and F. H. Arnold. "Programmed population

control by cell-cell communication and regulated killing,"*Nature*, vol. 428, pp. 868-871, Apr. 2004.

[5] S. Basu, Y. Gerchman, C. H. Collins, F. H. Arnold, and R. Weiss. "A synthetic multicellular system for programmed pattern formation,"*Nature*, vol. 434, pp. 1130-1134, Apr. 2005.

[6] M. J. Doktycz and M. L. Simpson. "Nano-enabled synthetic biology," *Wiley Mol. Syst. Biol.*, vol. 3, July 2007.

[7] P. Siuti, J. Yazbek, and T. K. Lu. "Synthetic circuits integrating logic and memory in living cells," *Nat. Biotechnol.*, vol. 31, pp. 448-452, May 2013.

[8] N. Farsad, H. B. Yilmaz, A. Eckford, C. B. Chae, and W. Guo. *A Comprehensive Survey of Recent Advancements in Molecular Communication*. Oct 2014, arXiv preprint arXiv:1410.4258.

[9] H. C. Berg. *Random walks in biology*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1993.

[10] T. Nakano, T. Suda, T. Koujin, T. Haraguchi, and Y. Hiraoka. "Molecular communication through gap junction channels," in *Trans. Comput. Syst. Biol. X* (C. Priami, F. Dressler, O. B. Akan, and A. Ngom, eds.), vol. 5410 of Springer Lect. Notes Comput. Sci., pp. 81-99, 2008.

[11] M. Pierobon and I. F. Akyildiz. "A physical end-to-end model for molecular communication in nanonetworks," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 28, pp. 602-611, May 2010.

[12] M. Pierobon and I. F. Akyildiz. "Capacity of a diffusion-based molecular communication system with channel memory and molecular noise," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 59, pp. 942-954, Feb. 2013.

[13] D. Hymel and B. R. Peterson. "Synthetic cell surface receptors for delivery of therapeutics and probes," *Elsevier Adv. Drug Deliv. Rev.*, vol. 64, pp. 797-810, June 2012.

[14] H. Shankaran, H. Resat, and H. S. Wiley. "Cell surface receptors for signal transduction and ligand transport: A design principles study," *PLoS Comput. Biol.*, vol. 3, p. e101, June 2007.

[15] S. Das, A. J. Gates, H. A. Abdu, G. S. Rose, C. A. Picconatto, and J. C. Ellenbogen. "Designs for ultra-tiny, special-purpose nanoelectronic circuits," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 54, pp. 2528-2540, Nov. 2007.

[16] M. S. Kuran, H. B. Yilmaz, and T. Tugcu, I. F. Akyildiz. "Modulation Techniques for Communication via Diffusion in Nanonetworks" in *Proc. Int. Conf. on Communications (ICC)*, pp. 1-5, June 2011.

[17] S. Pudasaini, S. Shin, and K. Sup Kwak. "Robust Modulation Technique for Diffusion-based Molecular Communication in Nanonetworks." arXiv preprint arXiv:1401.3938 (2014).

[18] B. Tepekule, A. E. Pusane, H. B. Yilmaz, and T. Tugcu. "A novel modulation technique in diffusion based molecular communication and its performance analysis," in *Proc. IEEE Signal Process. and Commun. Appl. Conf. (SIU)*, pp. 1110-1113, 2014.

[19] N.-R. Kim and C.-B. Chae. "Novel modulation techniques using isomers as messenger molecules for nano communication networks via diffusion," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 31, pp. 847-856, Dec. 2013.

[20] D. Kilinc and O. B. Akan. "Receiver design for molecular communication," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 31, pp. 705-714, Dec. 2013.

[21] T. M. Cover and J. A. Thomas, *Elements of Information Theory* 2nd Edition. Wiley-Interscience, second ed., July 2006.

[22] M. Pierobon, and I. Akyildiz. "Capacity of a diffusion-based molecular communication system with channel memory and molecular noise," *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol. 59, No. 2, pp. 942-954, 2013.

[23] A. W. Eckford, "Nanoscale communication with brownian motion." in *Proc. Conf. on Inf. Sci. and Syst. (CISS)*, (Baltimore, MD), pp. 160-165, 2007.

[24] H. B. Yilmaz, A. C. Heren, T. Tugcu, and C.-B. Chae. "Three dimensional channel characteristics for molecular communications with an absorbing receiver," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 18, pp. 929-932, June 2014.

[25] B. Atakan and O. B. Akan. "Deterministic capacity of information flow in

- molecular nanonetworks," Elsevier Nano Commun. Netw., vol. 1, pp. 31–42, Mar. 2010.
- [26] A. Einolghozati, M. Sardari, and F. Fekri. "Design and analysis of wireless communication systems using diffusion-based molecular communication among bacteria," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 12, pp. 6096–6105, Dec. 2013.
- [27] D. Ariffer. "Capacity analysis of a diffusion-based short-range molecular nano-communication channel," Elsevier Comput. Netw., vol. 55, pp. 1426–1434, Apr. 2011.
- [28] A. C. Heren, M. S. Kuran, H. B. Yilmaz, and T. Tugcu. "Channel capacity of calcium signalling based on inter-cellular calcium waves in astrocytes," in Proc. IEEE Int. Conf. on Commun. Workshops (ICC WKSHP), pp. 792–797, 2013.
- [29] D. Kilinc and O. B. Akan. "An information theoretical analysis of nanoscale molecular gap junction communication channel between cardiomyocytes," IEEE Trans. Nanotechnol., vol. 12, pp. 129–136, Mar 2013.
- [30] P. C. Yeh, K. C. Chen, Y. C. Lee, L. S. Meng and others. "A new frontier of wireless communication theory: diffusion-based molecular communications". IEEE Wireless Communications, Vol. 19, No.5, pp 28-35, 2012.
- [31] A. Akkaya, and T. Tugcu. "dMCS: distributed molecular communication simulator," Proc. 8th Int. Conference on Body Area Networks, pp. 468-471, Sept 2013.
- [32] G. E., Atakan, B., & Akan, O. B. NanoNS: A nanoscale network simulator framework for molecular communications. Nano Communication Networks, 1(2), 138-156, 2010.
- [33] I. Llatser, D. Demiray, A. Cabellos-Aparicio, D., Altilar and E. Alarcón, N3Sim: Simulation framework for diffusion-based molecular communication nanonetworks," Simulation Modelling Practice and Theory, Vol. 42, pp. 210-222, 2014.
- [34] H. Yilmaz and C. Chae, "Simulation study of molecular communication systems with an absorbing receiver: Modulation and ISI mitigation techniques," Simulation Modelling Practice and Theory, Vol. 49, pp. 136-150, 2014.
- [35] G. Wei, P. Bogdan, and R. Marculescu, "Efficient modeling and simulation of bacteria-based nanonetworks with bnsim," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 31, No. 12, pp. 868-878, 2013.

# Estándares actuales de televisión digital: Una breve reseña

**Stella Chie, Maytee Zambrano, Carlos Medina**

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Universidad Tecnológica de Panamá

(stella.chie, maytee.zambrano, carlos.medina)@utp.ac.pa

**Resumen:** El incremento de la demanda de servicios interactivos de televisión, incluyendo programación de alta definición motivó la migración de transmisión SD analógica a digital. La transmisión digital de televisión ha sido un área de continua investigación e innovación, lo que se evidencia en el desarrollo tecnológico plural y la creación de nuevos estándares en años recientes. Este artículo brinda una breve reseña de los diferentes estándares para televisión digital usados alrededor del mundo, incluyendo sus características más importantes, los lugares donde han sido implementados, y los parámetros más destacados de cada estándar de televisión digital.

**Palabras claves:** televisión digital, DVB-T, ATSC, ISDB-T, DTMB

**Title:** Actual digital television broadcast standards - A brief overview

**Abstract:** With the increase in the demand of interactive TV services, including programs in high-definition, motivated the migration from SD analogue to digital broadcasting. Digital broadcasting of television has been an area of active research, and innovation, resulting in a plural technological development, which leads to the creation of new standards in recent years. This paper presents an overview of the different standards for digital television used worldwide nowadays, including their most important characteristics, the places where they have been implemented, and the most prominent parameters for each digital television standard.

**Key words:** digital television, DVB-T, ATSC, ISDB-T, DTMB

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 17 de agosto de 2015

Fecha de aceptación: 3 de diciembre de 2015

## 1. Introducción

La televisión es probablemente la plataforma más económica para informar, educar y entretener a las personas alrededor del mundo. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) estima que el número de hogares con recepción de televisión se encuentra alrededor de 1,400 millones [1]. El desarrollo de

la transmisión digital terrestre de televisión ha revolucionado la industria de servicios interactivos multimedia, cambiando la percepción que existe desde hace décadas de lo que es televisión, incrementando la capacidad del canal, introduciendo movilidad y facilitando la convergencia de transmisión de datos, difusión de televisión y telefonía.

La transición a la tecnología digital resulta en una mejor utilización del espectro radioeléctrico, donde más canales de programación se pueden transmitir dentro del mismo ancho de banda, lo que significa que parte del espectro ocupado por canales analógicos puede ser liberado para nuevos servicios. Sin embargo, esto introduce nuevos desafíos técnicos, pero tiene como resultado una mejor calidad de imagen y sonido. Además, como parte de la revolución digital, la televisión digital puede combinarse con otros sistemas de telecomunicaciones, redes de computadoras y medios digitales, permitiendo servicios interactivos de multimedia y dando oportunidad a nuevos negocios.

Varios estándares de televisión digital fueron desarrollados en diferentes partes del mundo. Por ejemplo, en Europa, se formó un consorcio entre distintas empresas para el desarrollo de televisión digital. Esta iniciativa es conocida como *Digital Video Broadcasting (DVB)*. El estándar de televisión digital terrestre resultado de este proyecto fue llamado Difusión de Video Digital – Terrestre (DVB-T).

Por otro lado, siguiendo el éxito que tuvo el estándar de televisión analógica en los Estados Unidos, se formó el grupo llamado Comité de Sistemas de Televisión Avanzada para el desarrollo de un estándar de televisión digital, el cual fue llamado de la misma manera, ATSC [2].

En Japón se lanzó un proyecto en 1984 para diseñar un estándar altamente flexible para la difusión de televisión de alta definición. El resultado fue el estándar llamado Radiodifusión Digital de Servicios Integrados (ISDB). Se trata de un conjunto de normas para transmisión de radio y televisión digital. La familia dedicada a la televisión digital se conoce como ISDB-T. En China se aprobó en el 2006 otro estándar para televisión digital conocido como Difusión de Multimedia Digital Terrestre (DTMB).

Inicialmente este artículo se presenta una descripción general de estos cuatro estándares para televisión digital que fueron desarrollados en diferentes partes del mundo. Luego se presenta una tabla comparativa resumiendo las características más importantes de estos estándares y por último mostraremos las conclusiones. Hoy en día, estos estándares han sido adoptados por varios países por distintas razones y se encuentran en diferentes etapas de implementación. Existen países donde la transmisión analógica de televisión ya no está en funcionamiento, por lo que la televisión se transmite en forma digital en su totalidad.

### 2. DVB-T

En la década de los ochenta, una organización internacional conjunta de varias empresas en Europa realizó varios proyectos para hacer mejoras a la televisión analógica, lo que eventualmente llevó a la formación del proyecto DVB (*Digital Video Broadcasting*). Este proyecto desarrolló varias normas para transmisión digital terrestre, satelital, por cable y portátil, las cuales se categorizan en dos generaciones. Durante los años noventa y principios del 2000, el DVB desarrolló la primera generación de estándares de difusión digital para televisión.

En concreto, el estándar DVB-T para transmisión digital terrestre se desarrolló en el año 2000 [3]. En este estándar se permite la transmisión de televisión en alta definición como también televisión convencional por canales terrestres. Además, se pueden difundir programas de radio así como transmisión de datos para diferentes fines, ya sea entretenimiento o negocios. Para la difusión terrestre el sistema fue diseñado para operar dentro del espectro UHF existente utilizado para transmisión analógica. Aunque el sistema fue desarrollado para canales de 8 MHz, se pueden utilizar canales de 6 y 7 MHz con sus correspondientes capacidades de datos [4].

El sistema fue diseñado con gran flexibilidad que brinda fácil adaptación a todo tipo de canales, ya que se adapta a canales de tipo Gaussiano, Rice y Rayleigh. El sistema es robusto a interferencia de señales con retrasos, a ecos resultantes de reflexiones causadas por el terreno o edificios, y a señales provenientes de transmisores del arreglo de red de frecuencia única (SFN por sus siglas en inglés) [5].

Una red SFN permite obtener gran eficiencia en el uso del espectro, ya que todos los transmisores pueden operar en la misma frecuencia sin causar interferencia. Esto significa que transmisores adyacentes pueden operar utilizando la misma frecuencia, lo que conlleva que estos deben estar sincronizados en la frecuencia y utilizar el mismo tamaño del símbolo OFDM (modulación ortogonal por división de frecuencias), que es la modulación utilizada por este estándar.

El sistema utiliza un gran número de portadoras por canal modulado junto a un proceso FFT (transformada rápida de Fourier), un método utilizado en OFDM. Se tienen dos modos de operación: 2 k y 8 k, y se pueden elegir entre diferentes niveles de modulación QAM o QPSK, y diferente razón de codificación interna. Además el intervalo de guarda permite al sistema soportar diferentes configuraciones de red, con una gran área geográfica utilizando una frecuencia única para operación.

El modo 2 k se usa en operaciones con un solo transmisor y en redes pequeñas de frecuencia única con una distancia limitada entre los transmisores. El modo 8 k se puede utilizar para redes de un solo transmisor y para redes pequeñas y grandes que usen frecuencia única. El sistema utiliza audio y video en formato MPEG-2.

La segunda generación de este estándar es llamado Difusión de Video Digital - Terrestre de segunda generación (DVB-T2), el cual fue publicado en el 2008. Los cambios más significativos con respecto a la primera generación son: mejora de la eficiencia (tiene un 97 % más de capacidad), cambio al formato MPEG-4 AVC, llamado también H.264; permite modulación en 256QAM y tiene más opciones para el intervalo de guarda.

El estándar DVB-T es el más utilizado a nivel mundial, ya que no sólo se adoptó en Europa; fue elegido en países de los cinco continentes, incluyendo a Panamá. Este estándar fue el escogido por la Autoridad Nacional de Servicios Públicos (ASEP) para Panamá mediante el Decreto Ejecutivo No.96 del 12 de mayo de 2009 [6].

Las dos generaciones de estos estándares se pueden implementar a la vez, como lo han hecho varios países incluyendo Colombia, España y Francia.

### 3. ATSC

El estándar de televisión digital ATSC fue desarrollado por el Comité de Sistemas Avanzados de Televisión en los Estados Unidos. Este sistema fue diseñado para transmitir video y audio en alta definición y datos secundarios dentro de un solo canal de 6 MHz. El sistema fue desarrollado para difusión terrestre y para distribución por cable [7]. Este tiene un rendimiento de datos de 19.4 Mbit/s en un canal de televisión por cable. Se tienen dos modelos de operación: el modo 8-VSB de difusión terrestre que es más inmune a interferencias con el sistema NTSC de televisión analógica y el modo 16-VSB de mayor cantidad de datos desarrollado para distribución en canales por cable.

El estándar ATSC utiliza video en formato MPEG y el estándar ATSC AC-3, compresión digital de audio, para la codificación del audio [8]. El flujo de bits está constituido por paquetes multiplexados de flujo de bits de video, audio y datos. La estructura de estos flujos de bits también contiene información de señalización que se emplea para paquetizar el video, audio, e información de servicio en diferentes servicios dentro del mismo formato multiplexado.

Aunque el sistema fue desarrollado y probado para canales de 6 MHz, se puede elegir entre canales con un ancho de banda de 6, 7 y 8 MHz, con su correspondiente capacidad de datos.

Para la difusión terrestre, el sistema fue diseñado para permitir la asignación de transmisores digitales adicionales para cada transmisor NTSC con una cobertura parecida, y con mínima perturbación en el servicio NTSC en cobertura. Esta capacidad es alcanzada y excedida cuando se eligen cuidadosamente las características de transmisión del sistema en un ambiente que contiene transmisiones en el sistema NTSC.

El sistema ATSC es eficiente y capaz de operar bajo

varias condiciones, como por ejemplo se diseñó para resistir varios tipos de interferencia: sistemas existentes de televisión analógica NTSC, ruido blanco, ruido de fase y reflexiones continuas por multitrayectorias [9]. El sistema también fue diseñado para ofrecer eficiencia en el uso del espectro y facilidad en la planificación de frecuencias.

El sistema utiliza un esquema de modulación de una sola portadora llamado modulación 8-VSB (modulación de banda vestigial de nivel 8). Además, el sistema fue diseñado para implementarse en redes de frecuencias múltiples o MFN [10].

Este estándar aparte de ser utilizado en los Estados Unidos y todos sus territorios, fue elegido en algunos países de Norte América, como México; Centroamérica, como El Salvador; y Asia, como Corea del Sur.

#### 4. ISDB-T

En Japón, la ARIB (Asociación de Industrias y Empresas de Radio) aprobó las especificaciones para el sistema de difusión digital terrestre llamado ISB-T (Difusión Digital de Sistemas Terrestres Integrados) en 1998 [11].

Este estándar fue diseñado para proveer audio, video y servicios multimedia. Para integrar diferentes requerimientos de servicios, el sistema de transmisión ofrece una selección de esquemas de modulación y protección a errores que pueden ser seleccionados y combinados para cumplir con los requerimientos de dichos sistemas.

Para la difusión terrestre, el sistema fue diseñado para brindar televisión digital, programas de audio y ofrecer servicios multimedia en los que varios tipos de información digital como video, audio, texto y programas de computadora se integran. También se busca proveer una recepción estable a través de receptores móviles compactos, ligeros y económicos, en adición a los receptores integrados utilizados en el hogar.

El sistema ISDB-T utiliza MPEG-2 como codificación de video y la codificación avanzada de audio MPEG-2 (ACC). También utiliza un flujo de transporte MPEG-2 para encapsular los datos.

El sistema fue desarrollado y probado para canales de 6 MHz pero se pueden elegir diferentes ancho de banda de canal con su correspondiente capacidad de datos.

El sistema ISDB-T es un sistema basado en modulación OFDM, pero utiliza una transmisión de banda segmentada OFDM (BST-OFDM), la cual divide el ancho de banda disponible en bloques de frecuencia llamados segmentos [12]. Cada segmento tiene un ancho de banda correspondiente a 1/14 del canal de televisión terrestre disponible.

Una característica fundamental de BST-OFDM es la habilidad de utilizar diferentes modulaciones y parámetros de codificación en uno o más segmentos OFDM. Esto lleva a la

idea de transmisiones jerárquicas. ISB-T utiliza transmisiones jerárquicas, donde los parámetros de transmisión incluyen el esquema de modulación de las portadoras OFDM, la razón de codificación del código interno y la duración intercalada del tiempo, la cual puede ser especificada para cada segmento de datos OFDM. ISDB-T define el máximo de tres capas o tres grupos de segmentos diferentes conocidos como capa A, B y C, para transmitir en el mismo canal al mismo tiempo. Los bits de video codificado normalmente tienen diferente sensibilidad de error, ya que son resultado de diferentes efectos. Por lo tanto, los bits más sensitivos son normalmente codificados por códigos FEC más fuertes y pueden ser mapeados a esquemas de modulación con menos errores.

Cada segmento de datos tiene su propia protección de error y tipo de modulación (QPSK, DQPSK, 16-QAM o 64-QAM). Cada segmento posee sus propios requerimientos de sistema. Un número de segmentos pueden ser combinados para proveer servicios de banda ancha.

Es posible permitir la recepción de una sola capa, esto se le conoce como recepción parcial y está especificado para permitir recepción móvil para demodular la señal o para permitir la detección de los bits más importantes del video, sin importar que los bits menos importantes estén corruptos.

Trece segmentos en el espectro OFDM están activos dentro de un canal de televisión terrestre. El ancho de banda utilizable es el ancho de banda del canal multiplicado por 13/14; por lo que un canal de 6 MHz tiene 5.57 MHz, un canal de 7 MHz tiene 6.50 MHz y un canal de 8 MHz tiene 7.43 MHz.

Se utiliza una compensación de retraso para poder compensar la diferencia entre los retrasos de diferentes flujos de datos. El retraso ocasionado por el intercalado de byte a byte, que es distinto en los diferentes flujos de datos.

Este estándar de televisión digital fue tomado como base para elaborar un estándar nuevo en Brasil, el cual se utiliza en varios países de América del Sur. Este estándar llamado ISDTV, por Sistema Internacional de Televisión Digital, utiliza la misma tecnología de transmisión que el estándar ISDB-T.

La diferencia ente ISDTV y el ISDB-T radica en el uso de H.264 como codificación del video en vez del MPEG-2 utilizado en el ISDB-T. Adicionalmente, ISDTV introdujo una plataforma interactiva conocida como Ginga, y se especificó la tecnología WiMAX como el estándar para el canal de retorno de los servicios interactivos.

Este estándar fue elegido en algunos países de Asia y en muchos de Centro y Suramérica, incluyendo Brasil y Argentina.

#### 5. DTMB

En China, el desarrollo de la televisión digital comenzó en el año 1992 cuando el gobierno chino emitió una iniciativa para este estudio. En el 2006 se anunció el estándar de televisión



para terminales fijos y móviles llamado DTMB (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*), luego de extensivas pruebas en campo y laboratorio [13].

El DTMB surge de la fusión entre los estándares ADTB-T (desarrollado por la Universidad de Shanghai JiaoTong, Shanghai), DMB-T (desarrollado por la Universidad Tsinghua, Beijing) y el TiMi (Terrestrial Interactive Multiservice Infrastructure), que es el estándar que propuso la Academia de Ciencias de Radiodifusión en el año 2002. La utilización del estándar se hizo mandatoria en el año 2007 y está previsto que la televisión analógica sea terminada en el año 2015.

El estándar DTMB fue diseñado para soportar recepción fija como móvil. Por lo tanto, fue desarrollado un sistema flexible capaz de difundir un número de programas en alta definición combinados con varios canales convencionales SD y otro contenido multimedia.

Además de las funciones básicas del servicio de televisión tradicional, el DTMB da cabida a nuevos servicios adicionales utilizando el sistema de radiodifusión de televisión. El sistema DTMB es compatible con la recepción fija (cubierta y al aire libre) y móvil de la Televisión Digital Terrestre.

Este estándar utiliza tecnologías que mejoran su rendimiento, como por ejemplo: un código pseudo-aleatorio de ruido (PN-Pseudo-randomNoise) como intervalo de guarda que permite una sincronización más rápida del sistema y una estimación de canal más precisa; codificación LDPC (Low-Density Parity-Check) como protección contra errores; modulación TDS-OFDM (*Time Domain Synchronization - Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) que permite la combinación de radiodifusión en SD, HD y servicios multimedia, etc. [14].

Este sistema da flexibilidad a los servicios que se ofrecen al soportar la combinación de Redes de Frecuencia Única (SFN) y Redes de Frecuencias Múltiples (MFN). Los diferentes modos y parámetros pueden ser escogidos en base al tipo de servicio y el entorno de la red [15]. Las tasa de transmisión de bits se encuentra entre 4.8 Mbit/s hasta 32.5 Mbit/s.

Tabla 1. Comparación de los estándares de televisión digital existentes.

Estándar	DVB-T	DVB-T2	ATSC	ISDB-T	DTMB
País de Origen	Europa	Europa	Estados Unidos	Japón	China
Año	2000	2008	1996	1998	2006
Modulación	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	8-VSB, 16-VSB	64QAM-OFDM, 16QAM-OFDM, QPSK-OFDM, DQPSK-OFDM	TDS-OFDM, 8-VSB
Ancho del Canal (MHz)	6, 7, 8	6, 7, 8	6, 7, 8	6, 7, 8	6, 8
Codificación de Video	MPEG-2	MPEG-4	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2, MPEG-4
Codificación de Audio	MPEG-2	MPEG-4	Dolby AC3	MPEG-2 ACC	MPEG-2, AVS (audio video estándar)
Razón de datos (Mbps)	4.98-31.67	7.44-50.32	19.39	3.65 - 30.98	4.81-21.96
Intervalo de Guarda	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/128, 1/8, 19/256, 1/16, 1/32, 1/128	-	1/4, 1/8, 1/16	-
Movilidad	Si	Si	No implementada	Si	Si

## 6. Conclusión

Hoy en día, existen cuatro estándares para la difusión de televisión digital terrestre. La decisión final del sistema a implementar, debe estar basada en cómo el sistema responde frente a diferentes requerimientos y prioridades, así como con otros factores tales como área geográfica, relaciones económicas y políticas con sus respectivos países y regiones vecinas. Cada país debe establecer claramente sus necesidades y luego investigar los diferentes sistemas para conocer su rendimiento y así poder seleccionar la mejor opción disponible.

En la Tabla 1, se resume el contenido del artículo, presentando una comparación de las características más importantes de cada uno de los estándares.

Cada sistema tiene sus propias ventajas y desventajas. El estándar ATSC es más robusto en un canal Gaussiano y tiene mejor uso en la eficiencia del espectro. Por lo tanto, ATSC puede ser más ventajoso en la implementación de redes de frecuencias múltiples para televisión en alta definición.

El sistema DVB-T tiene ventajas de rendimiento en cuanto a distorsiones creadas por retrasos por multitrayectorias. Este sistema puede ser más ventajoso en la implementación de servicios que requieran redes de frecuencia única a gran escala.

El sistema ISDB-T tiene ventajas en rendimiento parecidas al sistema DVB-T. Este estándar fue diseñado para operar en redes de frecuencia única a gran escala y, en ambiente para recepción móvil.

El estándar DMTB fue el último en salir al mercado y fue diseñado para recepción fija y móvil. También tiene la ventaja de que funciona para redes de frecuencia única como para redes de frecuencia múltiple.

La elección de un estándar a implementar es de gran importancia, ya que no existe compatibilidad entre los cuatro estándares existentes. Uno de los grandes retos de la televisión digital es la compatibilidad entre estándares, lo que permitiría la adaptación de avances tecnológicos de televisión digital de una manera más rápida.

## Referencias

- [1] "The world in 2011: ICT facts and figures," tech. rep., International Telecommunication Union (ITU), October 2011.
- [2] The ATSC website [Online]. Disponible en: <http://atsc.org/>
- [3] Digital Video Broadcasting (DVB): Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Terrestrial Television, European Telecommunications Standards Institute (ETSI), European Standard (Telecommunications Series), 2009.
- [4] M. El-Hajjar, and L. Hanzo. "A Survey of Digital Television Broadcast Transmission Techniques," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 15, No. 4, pp. 1924-1949, 2013.

- [5] U. Ladebusch and C.A. Liss. "Terrestrial DVB (DVB-T): A Broadcast Technology for Stationary Portable and Mobile Use," Proc. IEEE, vol. 94, pp. 183–193, January 2006.
- [6] (2009). Página web de ASEP [Online]. Disponible en: [http://www.asep-rtvdigitalpanama.gob.pa/images/archivos/decreto\\_ejecutivo\\_no\\_96\\_12\\_mayo\\_2009.pdf](http://www.asep-rtvdigitalpanama.gob.pa/images/archivos/decreto_ejecutivo_no_96_12_mayo_2009.pdf)
- [7] M.S. Richer, G. Reitmeier, T. Gurley, G.A. Jones, J. Whitaker and R. Rast. "The ATSC Digital Television System," Proc. IEEE, vol. 94, pp. 37–43, January 2006.
- [8] ATSC Digital Television Standard: Part 2 RF Transmission System Characteristics, Advanced Television Systems Committee, January 2007.
- [9] P.J. Langfeld, and K Dostert, "The capacity of typical powerline reference channels and strategies for system design," in International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC), 2001, pp. 271-278, 2001.
- [10] W. Brett, W.R. Meintel, G. Sgrignoli, X. Wang, S.M. Weiss and K. Salehian. "ATSC RF, Modulation and Transmission," Proc. IEEE, vol. 94, pp. 44–59, January 2006.
- [11] ATSC Planning Team 2. "Final Report on ATSC 3.0 - Next Generation Broadcast Television," tech. rep., Advanced Television Systems Committee, 2011.
- [12] Association of Radio Industries and Business (ARIB), Japan. "Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T) - Specification of channel coding, framing structure and modulation," September 1998.
- [13] M. Takada and M. Saito. "Transmission System for ISDB-T," Proc. IEEE, vol. 94, pp. 251 –256, January 2006.
- [14] China Standard for Radio Film and Television Industry. "Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Television Terrestrial Broadcasting System," 2006.
- [15] J. Song, Z. Yang, L. Yang, K. Gong, C. Pan, J. Wang and Y. Wu. "Technical Review on Chinese Digital Terrestrial Television Broadcasting Standard and Measurements on Some Working Modes," IEEE Trans. Broadcast., vol. 53, pp. 1–7, March 2007.
- [16] J. Song. Digital Television Terrestrial Multimedia Broadcasting (DTMB). IEEE Press, March 2010.

# Artificial Mussel: Una herramienta complementaria para el monitoreo de la contaminación por elementos traza en zonas costeras

**Alma Chen y Kathia Broce**

Facultad de Ciencias y Tecnología, Centro Regional de Veraguas,  
Universidad Tecnológica de Panamá, Centro de Investigaciones Hidráulicas  
e Hidrotécnicas  
alma.chen@utp.ac.pa, kathia.broce@utp.ac.pa

**Resumen:** El Artificial Mussel (AM) fue desarrollado en la Universidad de Hong Kong, por los profesores Lau y Wu, con la finalidad de establecer una metodología que superara las limitaciones de los indicadores biológicos, para el monitoreo de metales traza en ambientes marinos. El AM es un dispositivo que consiste en un polímero ligando suspendido en agua marina artificial dentro de un tubo plástico, y encerrado por un gel semipermeable de ambos lados. El AM puede acumular y liberar metales en respuesta a la concentración de metales disueltos en el agua marina, permitiendo así la evaluación y comparación directa de la concentración de estos en el medio acuático en diversos ecosistemas. En el presente trabajo se hará una breve revisión acerca de la contaminación en zonas costeras por metales pesados y los programas de monitoreo, los indicadores de contaminación y la aplicación del Artificial Mussel como herramienta complementaria para el monitoreo de elementos traza en zonas costeras.

**Palabras claves:** Artificial Mussel, elementos traza, zonas costeras.

**Title:** Artificial mussel: a complementary tool for monitoring pollution by trace elements in coastal areas

**Abstract:** The "Artificial Mussel (AM)" was developed by professors Wu and Lau from the University of Hong Kong, in order to provide a methodology that overcomes the limitations of biological bioindicators for monitoring trace metals in marine environments. This device consists of a polymer ligand suspended in artificial sea water within a plastic tube, and a semipermeable gel enclosed on both sides. The AM can accumulate and release metals in response to the concentration of dissolved metals in seawater, allowing the evaluation and direct comparison of the concentration thereof in the aquatic environment in diverse ecosystems. This document is a brief overview about contamination of marine coastal areas due to heavy metals and monitoring programs, pollution indicators, and the application of the Artificial Mussel as a complementary tool for monitoring pollution of trace elements in coastal areas.

**Key words:** Artificial Mussel, trace elements, coastal areas.

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 2 de julio de 2015

Fecha de aceptación: 3 de diciembre de 2015

## 1. Introducción

A nivel mundial, la creciente densidad de población y la rápida industrialización de las zonas costeras están afectando en gran medida la calidad del medio marino. La contaminación, la sobreexplotación y la baja protección amenazan con dañar aún más los ecosistemas marinos, lo que lleva a grandes problemas de salud pública y pérdidas económicas [1].

Los moluscos y otros organismos filtradores, han sido empleados por los ecologistas durante años como herramientas para el monitoreo de la contaminación marina y estuarina, debido a su capacidad de absorber y liberar metales a lo largo del tiempo, dando de esta forma una idea acerca de los cambios en la calidad del agua. Sin embargo, estos organismos son afectados por factores ambientales como la salinidad, la temperatura y biológicos como el tamaño, la edad reproductiva, y el sexo, así como por la disponibilidad de sitios de anclaje, limitándose de este modo su uso como biomonitor de contaminación [2].

Por lo tanto, los estudios de contaminación marina se benefician con la adopción y aplicación de tecnologías que proporcionen uniformidad en los resultados de bioacumulación de metal [3].

El *Artificial Mussel* (AM, por sus siglas en inglés) es un dispositivo de muestreo desarrollado por Wu et al. [2] con el objeto de proporcionar una metodología que superara las limitaciones presentadas por los indicadores biológicos, como lo son las estrategias de acumulación de contaminantes según la especie y la distribución biogeográfica de cada una de ellas. El AM es una herramienta alternativa para el monitoreo de la contaminación por metales o elementos traza en zonas costeras, debido a su capacidad de captación de metales en agua y liberación en soluciones ácidas, para posterior determinación [3].

En el presente artículo se hará una breve descripción del AM, su aplicación a nivel mundial, y sus usos en el monitoreo de la contaminación. Se presentará además, una comparación entre el AM, y otros indicadores de contaminación (moluscos bivalvos, agua y sedimentos) tradicionalmente empleados en estos tipos de estudios.

## 2. Contaminación marino costera y programas de monitoreo de la contaminación

El incremento acentuado del desarrollo industrial y el rápido crecimiento de las regiones aledañas a los mares están presionando de forma crítica a los recursos marino-costeros, por una parte debido a la contaminación, y por otra, por la sobreexplotación de estos recursos. En la actualidad, diversos ecosistemas de Panamá se han visto afectados a causa de las actividades humanas, generándose un problema ambiental,

especialmente en los ecosistemas marino-costeros. Estos ecosistemas proporcionan al hombre una amplia gama de servicios económicos, sociales y ambientales [4].

El impacto sobre las zonas costeras viene dado directamente por intensas actividades antropogénicas e indirectamente a través de la entrada de numerosos emisarios, los cuales contienen contaminantes de diversos orígenes (industriales, agrícolas, urbanos, etc.) [5]. Estas acciones son las principales causas del deterioro de la calidad del agua, y por ende, pueden inducir a efectos nocivos sobre los ecosistemas marino costeros [6], provocando además, un daño potencial a los consumidores de productos del mar debido a la contaminación de estos. Dada la gran preocupación por la conservación de los recursos marinos y costeros, países como Estados Unidos, han establecido programas de monitoreo de la contaminación en sus costas por más de tres décadas, siendo el "Mussel Watch Program", el programa de monitoreo continuo de más larga duración. Este programa ha sido apoyado y conducido por la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), y desde 1986 se han analizado más de 100 contaminantes químicos y biológicos en sedimentos marinos y tejido de bivalvos colectados en más de 300 sitios en las costas de los Estados Unidos y las aguas del Gran Lago, para describir el estado actual de la contaminación y detectar cambios en la calidad ambiental de estuarios y aguas costeras [7].

En el caso de Sudáfrica, la existencia de programas de biomonitoreo para determinar el destino e impacto de contaminantes inorgánicos a lo largo de sus costas, ha sido de corta duración, el último de estos programas fue reportado por el Comité Nacional Sudafricano para la Investigación Oceanográfica. En la actualidad, la mayoría de los monitoreos de contaminación marina efectuados en ese país, son realizados por las instituciones académicas [3].

En Panamá, se han tomado ciertas iniciativas a partir de la década pasada, en cuanto al monitoreo de contaminantes en las zonas costeras. Una de ellas comenzó con el proyecto de "Monitoreo de la Contaminación Marino Costera en el Pacífico Sur", este proyecto incluyó a Panamá y a todos los países de América del Sur con costas en el Pacífico (Colombia, Ecuador, Perú y Chile), y fue financiado por la Organización de Estados Americanos. Las contrapartes nacionales fueron la Autoridad Marítima de Panamá (AMP), a través de su entonces Dirección de Recursos Marinos y Costeros, y la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), siendo para ésta su brazo ejecutor dentro del Proyecto, el Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología (INDICASAT), con la colaboración del antiguo Servicio Marítimo Nacional, hoy Servicio Nacional Aeronaval (SENAN).

Uno de los objetivos primordiales de este proyecto fue el monitoreo de las costas del Pacífico, para la determinación de hidrocarburos totales, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y plaguicidas organoclorados a partir del análisis de sedimentos marinos y organismos bivalvos presentes en las áreas de muestreo. En Panamá, se establecieron diversas

estaciones de monitoreo las cuales fueron ubicadas en el Golfo de Chiriquí, Golfo de Montijo, Bahía de Parita, Bahía de Panamá y Golfo de San Miguel. En cada una de estas estaciones se colectaron muestras de sedimentos marinos, y moluscos bivalvos de las especies *Anadara tuberculosa* y *Mytillus sp.* Es importante señalar que, al igual que en el *Mussel Watch*, se colectaron las especies que presentaron mayor abundancia y disponibilidad al momento del muestreo.

Otros proyectos que han incluido monitoreos continuos y colecta de sedimentos y bivalvos dentro de sus actividades, para la determinación de contaminantes orgánicos e inorgánicos en zonas costeras, son los llamados Proyectos Nacionales, denominados por sus siglas de país PAN, 7002 y 7003, respectivamente. Ambos proyectos fueron financiados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA/OIEA), y tuvieron como objetivo el fortalecimiento de las capacidades nacionales para hacer frente a los problemas de contaminación que vulneran a los ecosistemas marino costeros, y por consiguiente, a las poblaciones aledañas que dependen de estos recursos para su subsistencia. El Proyecto PAN 7002: **Fortalecimiento de los Laboratorios de la Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá (ARAP) para el monitoreo de la contaminación marino costera**, fue desarrollado a comienzos de la presente década, estableciéndose estaciones de monitoreo a lo largo de toda la Bahía de Panamá; siendo estas 40 estaciones sedimentarias, 30 estaciones para colecta de aguas marinas y 2 estaciones de colecta de biota. En tanto que, el proyecto PAN 7003: **Monitoreo de la contaminación en Bahía de Panamá**, incorporó el uso de técnicas nucleares para la medición de la eficiencia hidráulica en plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas, que pudiesen garantizar la calidad del agua que será vertida posteriormente a los cuerpos de agua, a fin de salvaguardar la integridad de los ecosistemas. El PAN 7002 fue ejecutado por la ARAP, en tanto que, en el PAN 7003, la ARAP contó con la participación de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), a través del Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH), como socio estratégico.

La importancia de los programas de monitoreo continuos radica en proporcionar a los administradores costeros, tanto locales como regionales, información pertinente para facilitar la toma de decisiones que permita el uso y manejo sostenible de los recursos marino costeros, basados en resultados científicos.

El Estado debe establecer una Política Nacional para el monitoreo y análisis continuo de los niveles de contaminación, tanto orgánicos como inorgánicos, en ambas zonas costeras panameñas; ya que, no sólo la integridad de estos sistemas marino costeros y sus recursos pudiesen verse afectados notablemente debido a contaminación derivada de las actividades desarrolladas en áreas aledañas a las costas, sino que, esta realidad podría conducir hacia graves problemas de salud pública y seguridad alimentaria. Por otro lado, sin información científica veraz, el Estado panameño vería limitada su capacidad para la toma de decisiones, que le permita establecer políticas para el manejo sostenible de estos recursos.

Los monitoreos en las zonas costeras no deben estar sujetos a la ejecución de proyectos puntuales; de lo contrario, las autoridades competentes no podrían llevar un control y manejo adecuado de los recursos marino-costeros, ni tendrían el conocimiento suficiente para determinar los impactos que ejercen las actividades antropogénicas que presionan estas zonas costeras. Es de suma importancia establecer presupuestos dentro de las instituciones con esta competencia, ya sea en el recién creado Ministerio de Ambiente y/o la Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá, o bien, otra posibilidad sería dotar a las instituciones académicas del recurso económico necesario para que puedan cumplir con estas labores de vigilancia, no sólo en beneficio del ambiente, sino también de la salud pública y de los sectores económicos que existen gracias a estos recursos.

### 3. Moluscos bivalvos y sedimentos marinos como indicadores de contaminación: ventajas y desventajas

Los invertebrados, especialmente los moluscos bivalvos, son organismos adecuados para el estudio de bioacumulación de contaminantes en seres vivos. Los moluscos son conocidos como filtradores del agua, acumulando de esta forma, altas concentraciones de múltiples contaminantes inorgánicos y orgánicos en sus tejidos [8]. En el caso de metales pesados, o elementos traza, estos pueden dar una estimación del tiempo integrado de la fracción biodisponible de los metales en el ambiente. Otras características que presentan estos organismos es que ocupan áreas dinámicas en hábitats cercanos a las desembocaduras de los ríos y están adaptados naturalmente al estrés ambiental [9]. Aun cuando el uso de organismos bivalvos, como indicadores de contaminación, tiene ciertas ventajas sobre los sedimentos y el agua, éstos son afectados por factores físicos (como la temperatura y la salinidad), y biológicos (como el tamaño, estado reproductivo, edad y género) [2]. Otro factor a considerar es la nutrición, por la influencia en la concentración de metales en los tejidos de los biomonitores afectando las tasas de afluencia de metales del agua y los alimentos, así como las tasas de excreción. La tasa de crecimiento de los biomonitores sucesivamente puede ser influenciada por el tamaño y edad del animal, el tipo de alimento, la disponibilidad de alimento, la presión de depredación y la competencia son factores limitantes que afectan el uso de estos organismos como indicadores de contaminación. Según lo señalado por Leung et al., la capacidad de bioacumulación de los contaminantes va a variar dependiendo de la especie y de la distribución biogeográfica, haciendo que las comparaciones espaciales, tanto locales como globales, sean prácticamente imposibles [10].

Es importante destacar que, debido a la influencia ejercida por las causas antes mencionadas, hay una alta probabilidad de que se obtengan conclusiones erróneas debido al enmascaramiento de las concentraciones de bioacumulación de los metales [11].

En Panamá las especies de moluscos bivalvos estudiados

en los proyectos de monitoreo, descritos anteriormente, para el análisis de contaminantes (orgánicos e inorgánicos) han sido, *Prototaca asperrima* (Bique, Panamá Oeste), *Mytillus sp.* (Salao en la Bahía de Parita y Golfo de San Miguel en Darién) y *Anadara tuberculosa* (Chinina en Panamá Este, Golfo de San Miguel en Darién y Golfo de Montijo en Veraguas). Se colectaron las especies que se encontraron disponibles al momento del muestreo.

Los sedimentos marinos son empleados con frecuencia en los programas de monitoreo como indicadores de la contaminación. La contaminación de éstos, causada por la deposición de productos químicos resultado de las actividades antropogénicas continúan siendo uno de los principales problemas ambientales. Por ejemplo, los derrames de aceites (contaminantes orgánicos) en los humedales son de particular preocupación debido al papel esencial que juegan estos al sostener la estructura y función de los ecosistemas y la biodiversidad a largo plazo [12]. Dichos contaminantes pueden presentarse por un corto tiempo en la columna de agua, siendo los sedimentos el sitio más importante para el almacenamiento de estos compuestos, permaneciendo en ellos por largos periodos [13]. Es por esto que, los sedimentos han sido y siguen siendo utilizados en los programas de monitoreo para la medición de determinados contaminantes en zonas muy concretas, dando una idea más clara a los investigadores del estado del sitio bajo observación.

Entre las ventajas del uso de sedimentos para el estudio de contaminantes se encuentra, el registro del promedio del flujo que entra a un estuario, por ejemplo. Estos registros son de gran ayuda para determinar futuras acciones en la administración y manejo de zonas costeras [14], como se había mencionado con anterioridad. Por otro lado, el análisis de muestras de sedimentos puede revelar los resultados de las precipitaciones atmosféricas a lo largo del tiempo, los valores básicos anteriores a la iniciación de actividades que dan origen al vertimiento de contaminantes, los resultados de un derramamiento de petróleo, una infiltración crónica, en el caso de los hidrocarburos, la contaminación crónica originada por una refinería o simplemente el resultado de los hidrocarburos asociados con las partículas que se depositan, como gránulos fecales, organismos muertos o vivos, minerales arcillosos y silicatados. A estas partículas se debe, por lo general, la remoción de los hidrocarburos de las columnas de agua. Además, los hidrocarburos del petróleo disueltos pueden ser absorbidos directamente por los sedimentos según su contenido de materia endógena, como por ejemplo, ácidos húmicos. En cuanto a los metales pesados, si bien, los sedimentos marinos pueden proporcionar una estimación del tiempo integrado del nivel de los metales, la desventaja de su uso radica de forma significativa, en el tamaño de la partícula, el contenido orgánico y las condiciones redox, los cuales no pueden ser estandarizados [15].

## 4. Artificial Mussel

El *Artificial Mussel* (AM) es un dispositivo químico diseñado para el muestreo de metales pesados o elementos trazas en ambientes marinos, fue desarrollado por los profesores Wu y Lau en 1996, con la finalidad de poder superar las limitantes presentadas por los bioindicadores en los programas y estudios de contaminantes inorgánicos. Éste consiste básicamente de un polímero ligando, el cual tiene gran afinidad y selectividad por un número de metales (incluyendo cobre, plomo, hierro, aluminio, cromo, etc.), suspendido en agua marina artificial, y encerrado en un pequeño tubo plástico con un gel permeable por ambos lados (Figura 1). La función principal del gel permeable es contener el polímero ligando en el tubo y controlar la tasa de captura del metal, permitiendo el paso lento de los iones metálicos a través de los poros antes de que estos sean quelados por la resina [10]. Esta captura de metales es proporcional a la concentración de los metales en el ambiente, e incluye también a la fracción biodisponible de éstos.

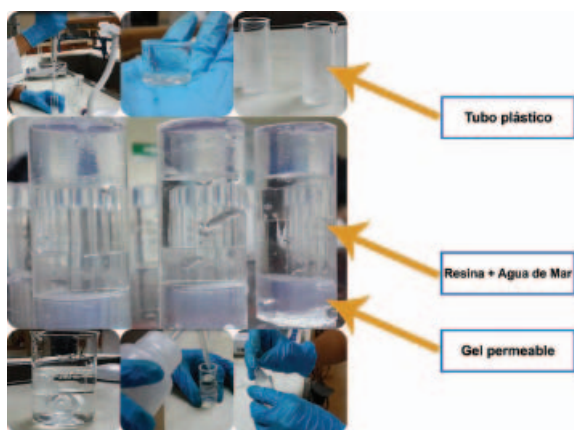


Figura 1. *Artificial Mussels*.

Mediante el empleo de AM se intenta eliminar el denominado ruido ambiental: las pequeñas variaciones en la medición de los contaminantes que introducen factores como la temperatura y salinidad cambiantes, la posible presencia de parásitos, el ciclo reproductivo o la disponibilidad de alimento (en el caso de los moluscos). Además, estos muestreadores inertes también permiten disponer de medidores sencillos de la contaminación en lugares estratégicos donde no existen poblaciones naturales de moluscos.

El AM se comporta de manera similar a los moluscos reales cuando se expone a una serie de metales, pero ofrece resultados más consistentes y fiables mediante la superación de todos los problemas asociados con los monitores biológicos mencionados anteriormente. Esto representa un avance realmente innovador en la detección de metales y vigilancia, y por primera vez, permite la comparación global de las concentraciones de metales.

Esta es una tecnología que está a la vanguardia en el análisis de contaminantes. Hay un gran potencial para que este tipo

de dispositivos se adopten a nivel mundial como herramientas costo-efectivas y confiables para monitorear mejor a los metales pesados presentes en el medio marino.

Es un dispositivo de fácil y rápida construcción, su manejo no requiere de cuidados especiales y permite su distribución en cualquier zona. Además, el procesamiento de las muestras de AM sólo requiere de una digestión ácida sencilla, para posteriormente proceder a la lectura mediante la utilización de métodos espectrométricos.

El AM ha sido usado con mucho éxito en Hong Kong, Escocia, en las aguas costeras de Islandia, y Sudáfrica. Estudios realizados en Portugal mostraron una alta correlación entre el AM y los moluscos, concluyéndose que el AM sirve como dispositivo pasivo para el monitoreo de las aguas costeras con diferente régimen hidrográfico y carga metálica [16].

## 5. Consideraciones finales

El AM se considera que es una herramienta conveniente para el estudio de la calidad ambiental debido a su fácil distribución en las zonas de estudio, por su capacidad de retención de metales, la eliminación del ruido ambiental y su capacidad de proporcionar datos especiales y temporales, que permiten hacer una comparación global de la concentración de metales en sitios determinados. Más aún, los resultados obtenidos a partir de esta tecnología pueden complementar la información generada a partir de los análisis de biota y sedimentos marinos, ampliando de esta forma el marco del conocimiento que permita la implementación de planes de gestión y manejo que preserven la sostenibilidad de estos ecosistemas.

## Referencias

- [1] A. Tayeb, M. R. Chellali, A. Hamore and S. Debbah. "Impact of urban and industrial effluents on coastal marine environment in Oran, Algeria", *Marine Pollution Bulletin*, Article in Press, 2015.
- [2] R. S. S. Wu and T. C. Lau. "Polymer-ligands: a novel chemical devise for monitoring heavy metals in the aquatic environment", *Marine Pollution Bulletin*, vol. 32, pp. 391-396, May. 1996.
- [3] N. Degger, V. Wepener, B. J. Richardson and R. S. S. Wu. "Application of artificial mussel (AMs) under South African marine conditions: A validation study", *Marine Pollution Bulletin*, vol. 63, pp. 108-118, 2011.
- [4] A. Dell'Apa, A. Fullerton, F. Schwing and M. Brady. "The status of marine and coastal ecosystem-based management among the network of U. S. federal programs", *Marine Pollution Policy*, vol. 60, pp. 249-258, Oct. 2015.
- [5] I. Benali, Z. Boutiba, A. Merabet and N. Chèvre. "Integrated use of biomarkers and condition indices in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) for monitoring pollution and development of biomarker index to assess the potential toxic of coastal sites", *Marine Pollution Bulletin*, article in press, 2015.
- [6] S. Remili and A. Kerfouf. "Evaluation de la qualité physico-chimique et d niveau de contamination métallique (Cd, Pb, Zn) des rejets d'eaux usées d'Oran et de Mostaganem (littoral ouest algérien)", *Géographie Physique et Environnement*, vol. 7, pp. 69-86, 2013.
- [7] NOAA's Mussel Watch Program: Incorporating contaminants of

- emerging concern (CECs) into a long-term monitoring program, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 81, pp. 289-290, 2014.
- [8] L. Vidal-Linan, J. Bellas, J. A. Campillo and R. Beiras. "Integrated use of antioxidant enzymes in mussels, *Mytilus galloprovincialis*, for monitoring pollution in highly productive coastal areas of Galicia (NW Spain), *Chemosphere*, vol 78, 265-272, 2010.
- [9] L. E. Petes, B. A. Menges and G. D. Murphy. "Environmental stress decreases survival, growth and reproduction in New Zealand mussels, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 351, pp. 89-91, 2007.
- [10] K. M. Y. Leung, R. W. Furnes, J. Svavarsson, T. C. Lau and R. S. S. Wu. "Field validation, in Scotland and Iceland, of the artificial mussel for monitoring trace metals in temperate seas", *Marine Pollution Bulletin*, vol. 57, pp. 790-800, 2008.
- [11] D. J. H. Phillips and P. S. Rainbow. *Biomonitoring of Trace Aquatic Contaminants*, New York: Chapman and Hall, 1994.
- [12] M. S. Fennessy, C. C. Brueske and W. J. Mitsch. "Sediment deposition patterns in restored fresh water wetlands using sediment traps", *Ecological Engineering*, vol. 4(4), pp. 409-428, Dec. 1994.
- [13] J. H. Vandermeulen and C. D. Gordon. "Reentry of 5 years old stranded bunker C fuel oil from a low energy beach into the water, sediments and biota in Chaudabucto Bay, Nova Scotia", *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, vol. 33, pp. 2002-2010, 1976.
- [14] Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), *Determinación de Hidrocarburos del Petróleo en los Sedimentos, Manuales y Guías*, UNESCO, 1982.
- [15] R. S. S. Wu, T. C. Lau, W. K. Fung, P. H. Ko and K. M. Y. Leung. "An artificial mussel for monitoring heavy metals in marine environments, *Environmental Pollution*, vol. 145 (1), pp.104-110, Jan. 2007.
- [16] M. González-Rey, T. C. Lau, T. Gomes, V. L. Maria, M. J. Bebianno and R. Wu. "Comparison of metal accumulation between Artificial Mussel and natural mussels (*Mytilus galloprovincialis*) in marine environments", *Marine Pollution Bulletin*, vol. 63, pp.149-153, 2011.

# Diseño de un controlador para sistemas de cultivos hidropónicos con ajuste automático de nivel de solución

Juan Beermann, Kadir González Dávila,  
Rick Mark Morales, Deyka García

Universidad Tecnológica de Panamá

juan.beermann20@hotmail.com, kadir.dav@hotmail.com,  
mark03@hotmail.com, deyka.garcia@utp.ac.pa

**Resumen:** La agricultura hidropónica emplea una metodología para cultivar plantas en un medio formado por agua y minerales en lugar de suelo. Sin embargo, el uso de un sistema para suplir las necesidades de agua y nutrientes de las plantas eficientemente es imprescindible para que la misma sea económicamente aceptable. En este artículo se desarrolla un prototipo de sistemas de cultivo hidropónico automatizado, para mantener el nivel requerido de la solución nutritiva, así como controlar y monitorear los plántones cultivados. El prototipo propuesto capta mediante una cámara en tiempo real, el crecimiento de los cultivos a partir de información visual directa con la finalidad de evaluar y optimizar los recursos requeridos.

**Palabras claves:** controlador, hidropónico, nivel, reconocimiento de imagen.

**Title:** Controller design for hydroponic systems with automatic solution level

**Abstract:** Hydroponic agriculture employs a methodology for growing plants in a medium consisting of water and minerals instead of soil. However, the use of a system to meet the needs of water and nutrients efficiently is essential so that it is economically acceptable. This paper presents a prototype of automated hydroponics systems developed to maintain the required level of the nutrient solution, as well as control and monitor the seedlings grown. The proposed prototype uses a camera, in real time, to capture the growth of crops with direct visual information in order to evaluate and optimize the resources required.

**Key words:** driver, hydroponic, level, image recognition.

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 27 de mayo de 2015

Fecha de aceptación: 3 de diciembre de 2015

## 1. Introducción

En la actualidad, los problemas relacionados al cultivo de grandes extensiones de terreno ha llevado a la degradación de

los suelos principalmente a alcalinidad alta, salinidad, erosión y falta de nutrientes, provocando que se utilicen abonos y otras técnicas que a la postre van a ocasionar un impacto negativo en el ambiente. Aunado a esto, el cambio climático ha ocasionado grandes pérdidas en este ámbito y muchos productores han percibido el déficit económico que las sequías han provocado, tal y como sucede actualmente en el área de Azuero en nuestro país [1].

En base a esto, la ciencia ha buscado otras alternativas para minimizar tal impacto y mejorar el uso del agua, surgiendo así la técnica de la hidroponía como solución al cultivo de alimentos sin la necesidad de suelos, a partir de la provisión de los nutrientes esenciales de crecimiento de las plantas en una solución acuosa óptima [2], [3].

Un aspecto a evaluar en este sistema de cultivo es el nivel de solución aplicada a las plantas, ya que se debe poseer una relación lo suficientemente precisa entre la longitud de las raíces, de los cultivos y la altura de la solución para evitar el posible marchitamiento o, en peores circunstancias, atraer enfermedades al cultivo [3], [4].

En este apartado se enfoca la manera eficaz de mantener el nivel de solución mediante un controlador que con la ayuda del reconocimiento de imagen, pueda establecer la altura ideal de la solución, tratando de mantener un buen flujo que garantice en parte una buena oxigenación y una concentración uniforme de la solución.

## 2. Diseño del Sistema hidropónico

Uno de los aspectos más importantes a controlar resulta ser el nivel de solución en el tanque hidropónico, ya que si se tiene mal nivelación de las plantas, éstas podrían quedar sin los sustratos adecuados para su desarrollo, o caso contrario, tener un exceso de sustrato que representa pérdida para el sistema y peligro en la producción [1].

Para tener una idea de cómo se elaboraría una canaleta para cultivo hidropónico, se supondrá en nuestro caso, una parcela de dimensiones rectangulares con 9.6 m de longitud, 1.2 m de ancho y 0.2 m de altura como se aprecia en la Figura 1. Esto es debido a que el cultivo tomado en cuenta en el estudio son los tomates (cultivos que tienen un gran crecimiento) [5], [6].

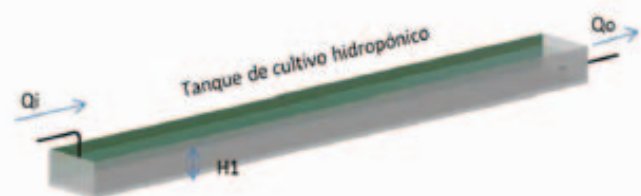


Figura 1. Prototipo del tanque para el control de nivel.



A continuación aparece en la Figura 2 una vista frontal del sistema presentando la presencia del sensor de presión, la cámara fotográfica y la válvula de flujo variable considerando a su vez la posible posición de los mismos en la parcela o canaleta de cultivo hidropónico.



Figura 2. Parcela de cultivo hidropónico.

En cuanto al tipo de sensor que se considera en este artículo, es de tipo de presión diferencial con la atmósfera y se escogió debido a que es el que más preciso al relacionar la variable de altura con la de presión en forma proporcional, [7]. Un ejemplo de este sensor se puede apreciar en la Figura 3.



Figura 3. Sensor de presión diferencial.

El actuador para esta aplicación es la electroválvula de flujo variable cuya ilustración aparece en la Figura 4. El controlador, mediante las respectivas leyes de control, logra manipular el flujo a través de la válvula de flujo variable a la salida de la canaleta ya que se supone que el flujo a la entrada será un valor constante mediante un orificio pequeño hacia la canaleta con la opción que sea aplicada en forma de tipo riego por goteo directamente hacia las plantas. Cabe señalar que esta opción puede no ser tan beneficiosa con respecto a la aireación de la mezcla, [8]. Detalles de este estudio no están contemplados en este artículo.



Figura 4. Válvula de flujo variable.

### 3. Fusión de imágenes en el dominio de multiresolución

El sistema consiste en un tanque, en el cual se contiene

el cultivo hidropónico y se representa mediante la función de transferencia para el sistema de primer orden. Al ser un sistema de recirculación y contar con el controlador para nivel podemos despreciar las pérdidas por evapotranspiración [9].

Por otra parte, el dispositivo a sensor el nivel de líquido se escogió como un sensor de presión, ya que éste es menos propenso a variaciones de ondas de agua. Este sensor capta el nivel de la mezcla al relacionarlo con la presión atmosférica, la presión en el fondo de la columna de líquido, la densidad del fluido y el valor de la gravedad, recordando la siguiente fórmula [5].

$$P = \rho gh \quad (1)$$

#### 3.1 Sistema de nivel Tanque

El caudal dentro de las válvulas en general está regido por una constante de carga llamada  $k_v$  la cual depende del tamaño de la entrada y salida de la válvula y la altura de operación del tanque [10].

$$q = k_v \sqrt{h} \quad (2)$$

Para analizar el balance de masa en el tanque hidropónico se utiliza la ecuación de continuidad en términos de la válvula y el flujo consumido a lo largo del tramo del tanque.

$$q_i(t) = q_1(t) + q_0(t) + q_{PLANTA} \quad (3)$$

Cabe mencionar que la variación del flujo de las plantas con respecto al tiempo es insignificante.

De acuerdo a la tasa de cambio de volúmenes, relacionado con la variación de altura.

$$q(t) = A \frac{dh_1}{dt} + \frac{k_v}{2\sqrt{h_{1s}}} (h_1) \quad (4)$$

donde  $A$  representa el área transversal del tanque [ $m^2$ ],  $h_1$  es la altura del agua en el tanque [ $m$ ],  $k_v$  es la constante de la válvula [ $m^3/h$ ]. Aplicando la transformada de Laplace y haciendo reemplazo de diversas variables, se obtiene:

$$k_2 Q_i(s) = sH(s) + k_1 H(s) \quad (5)$$

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{k_2}{(s + k_1)} \quad (6)$$

El término de la altura en el radical ( $h_1s$ ) de (4) corresponde al valor del punto de referencia al cual el sistema estará cambiando de acuerdo al crecimiento de las raíces y que resulta de la captación de imágenes mediante la cámara, análisis que se contemplará en un punto posterior. De igual forma, se contempla que matemáticamente se tomará la presencia del sensor con una función de transferencia igual a la unidad, como se aprecia en la Figura 5, donde  $Q(s)$  es la entrada y  $h(s)$  es la salida del sistema. El mismo es suficiente para modelar el efecto de la rapidez con la que el sensor retroalimenta el sistema de

control, suponiendo que no hay pérdidas de información y el canal de transmisión es el adecuado.

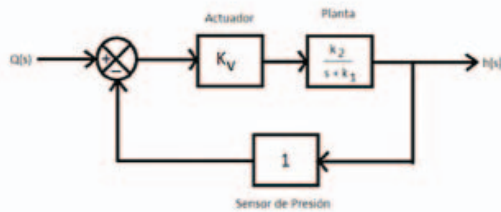


Figura 5. Lazo de control.

### 3.2 Modelado del sistema sin controlador

El *software* de Matlab nos proporciona resultados de análisis de estabilidad de diversas formas mediante el programa principal en ambiente simulink/sisotool. El siguiente algoritmo brinda el resultado del sistema estudiado sin compensar. Los resultados de este análisis pueden ser contemplados en resultados y discusiones.

Al observar el resultado de este sistema, se nota que el mismo es estable aunque tiene una pobre ganancia con respecto a la entrada escalón unitario, además se aprecia que el mismo puede llegar a tener un mejor tiempo de asentamiento y esto se puede lograr utilizando controladores que proporcionen una mejor ganancia y estabilización rápida.

### 3.3 Modelado del sistema con controlador

Como se explicó en el sub punto anterior, la presencia de un controlador logra mejorar notablemente los parámetros de tiempo de asentamiento y ganancia, situación que se muestra con la aplicación de controladores P y PD, tomando en cuenta que si se agrega el factor integral para obtener un controlador PI o PID, se introducen oscilaciones lo que conlleva a la inestabilidad del sistema situación que no deseada. Se varían los parámetros de las constantes proporcional y derivativa, e incluso se ajusta el mejor valor, utilizando diferentes técnicas.

## 4. Definición del punto de referencia mediante reconocimiento de imágenes con cámara

Con la finalidad de complementar el controlador y cumplir con la necesidad de variar el nivel de la solución a medida que las raíces de las plantas crecen, se utiliza un sistema básico y muy económico de reconocimiento de imagen, que nos permitirá obtener la señal de entrada para nuestro sistema. Este proceso cuenta con tres etapas fundamentales que son la captación de imagen, el análisis para la obtención del nivel requerido y el envío del valor de referencia [11].

### 4.1 Captación de imagen

La captación de imagen consiste en tomar una foto utilizando una *webcam* ubicada siempre a la misma distancia del tanque para mantener la escala. El lado que estará detrás de las raíces

debe ser de color blanco preferiblemente para lograr el contraste adecuado al momento de realizar nuestro análisis digitalmente.

Por medio del algoritmo creado, se envía la orden cada cierto tiempo para que la cámara tome una foto del tanque y se pase directamente al entorno de Matlab, ilustrado en la Figura 6. El tiempo aproximado podría variar en días, semanas o hasta meses dependiendo del tiempo de crecimiento del cultivo seleccionado.

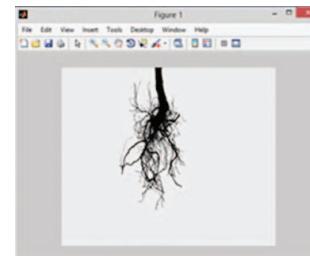


Figura 6. Captación y conversión de la imagen a escala de grises.

### 4.2 Análisis para la obtención del nivel requerido

Luego de tener la imagen lista, se debe pasar a escala de grises para poder aplicar la lógica de obtener una distancia mediante el cambio de color en los pixeles y la escala real (barrido) como se aprecia en la Figura 7.

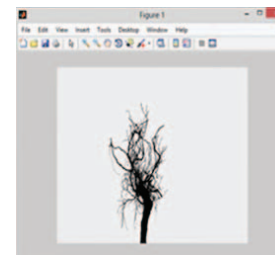


Figura 7. Volteado de imagen para realizar proceso de barrido.

Debido a que Matlab tiene un comienzo de barrido donde su coordenada número uno está en la parte superior izquierda, se debe invertir la imagen para que se logre aplicar la lógica deseada en donde las distancias serán obtenidas al realizar el barrido desde el fondo del tanque hasta encontrar las raíces que serían el cambio de pixelado [11].

La distancia desde el fondo del tanque al final de la raíz de referencia será obtenida de forma instantánea. Con esta información se puede realizar una proporción promedio que nos dirá cuál debe ser el nivel de líquido.

### 4.3 Envío de la señal de referencia

Adicionalmente, el algoritmo de matlab permite realizar la transmisión del valor obtenido como señal de entrada *setpoint* hacia el programa donde se encuentre nuestro controlador. Para facilitar esta transmisión se recurre a un comando sencillo que permite enviar datos a cualquier dispositivo que tenga un puerto serial. De esta forma, la información de la proporción

que debe guardar el nivel con respecto a las raíces se guardará automáticamente hacia el valor de  $h_1$  de (4) que muestra la altura como una constante en el lapso de tiempo que dure el control de la altura deseada.

## 5. Resultados y discusiones

Los cultivos hidropónicos nos ayudan a mantener un desarrollo sostenible acorde con las demandas actuales por ello la importancia de presentar a continuación un análisis del control que mantendrá el nivel requerido de la solución nutritiva con mejor desempeño.

### 5.1 Controlabilidad sin compensador

Con los comandos antes vistos y luego de colocar sus respectivos valores a cada una de las constantes, se obtiene fácilmente la ecuación final de transferencia y el número de condición de controlabilidad para tener una mejor idea de que tanto el sistema es controlable o no. De acuerdo a lo hecho anteriormente sobre la estabilidad del sistema se observa que el comportamiento sin un controlador ni compensador, presenta una respuesta lenta.

### 5.2 Compensadores de tipo P y PD

Con un resultado estable como éste, se busca acelerar la respuesta del sistema por lo cual se utilizan compensadores P y PD para que nuestro sistema sea más estable y confiable.

Se agrega una ganancia en el caso de un compensador proporcional o un polo en el caso de un compensador proporcional derivativo haciendo que el sistema sea más estable y tenga mejor respuesta, aumentando la estabilidad a la unidad, [12].

La idea principal es compensar adecuadamente de modo tal que la respuesta a lazo cerrado se corresponda con la deseada para obtener una mejor sintonía.

En la Figura 8 se observa el diagrama de bloques del sistema de lazo cerrado compensado y sin compensar.

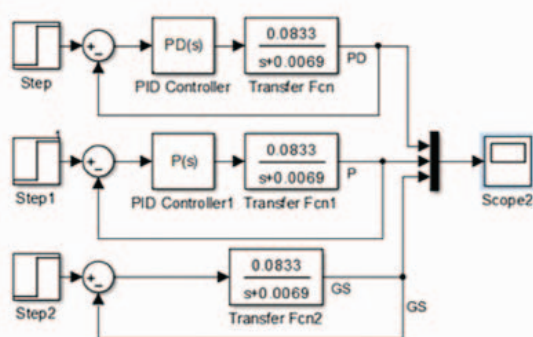


Figura 8. Diagrama de control para el análisis del controlador.

En la Figura 9, se muestra la implementación llevada a cabo para comparar la respuesta de los sistemas sin compensar y con controladores de tipo P y PD.

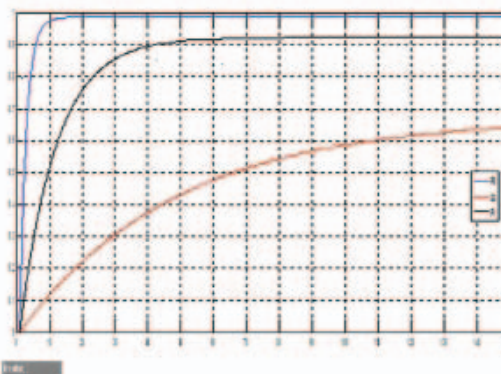


Figura 9. Comparación de los diferentes compensadores.

Mediante la liberalización proporcionada por la herramienta de sisotool para analizar la estabilidad de un sistema y su respuesta, se obtiene que para un controlador PD una constante proporcional de 5,87 con una constante derivativa de 0,008. De igual forma, la herramienta arroja para el mejor controlador proporcional una constante proporcional de 0,1691 y para el caso sin controlador se aprecia que su comportamiento es mucho más lento que el de los anteriores.

## 6. Conclusiones

- Se ha modelado satisfactoriamente un prototipo de sistemas de cultivo hidropónico, obteniendo experimentalmente todas las constantes asociadas a los modelos, utilizando para ello el ambiente Matlab.
- Se logra implementar el reconocimiento de imágenes, mediante fotografía, para el diseño del controlador con la finalidad de optimizar la mezcla necesaria para la producción de estos cultivos.
- Mediante el análisis de los resultados se verifica que la eficiencia del sistema controlado versus uno que realice el procedimiento de forma manual se logra mejorar hasta en un 40 %, obteniendo un ahorro significativo tanto en sustratos como en agua.
- Esta implementación permite tener datos precisos y confiables que ayudan a minimizar el tiempo de producción y las pérdidas en los cultivos, debido a que el sistema propuesto no corre el riesgo de inundarse o de dejar al cultivo sin los nutrientes.

## Referencias

- [1] R. C. Ortiz. Automatización de un Sistema de riego para cultivo de jitomate mediante método de camas de hidroponía en invernadero. Tesina; IPN, México D.F., 2011.
- [2] P. F. Martínez, D. R. y R. Belda. El control del fertirriego en los cultivo sin suelo. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias Departamento de Horticultura, Valencia, 2010.
- [3] (2014) Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ. [Online], Disponible en [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jarq/48/1/48\\_71/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jarq/48/1/48_71/_article)

- [4] (2004) Universidad de Talca website. [Online], Disponible en <http://dspace.utalca.cl/handle/1950/2931>
- [5] D. S. Benítez. Diseño y construcción de un sistema de nivel de líquidos. Tesis; EPN, Quito Ecuador, 1994.
- [6] (2013) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Hidroponía Rústica, Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. <http://www.gob.mx/sagarpa#documentos>. Consultado el [07.2014]
- [7] Información de catálogo para el sensor de presión diferencial. [Online]. Disponible en: [http://sensing.honeywell.com/product-page?pr\\_id=6449](http://sensing.honeywell.com/product-page?pr_id=6449) Consultado el [21.05.2015]
- [8] Información de catálogo para la válvula de flujo variable [Online]. Disponible en: <http://www.directindustry.es/prod/eaton-hydraulics/valvulas-regulacion-caudal-hidraulicas-7323-616970.html>
- [9] E. Franco, C. Pinedo y F. Pérez. "Control Gain Scheduling de dos tanques en Cascada; Universidad del Valle. [Online], Disponible en <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/1292/6/Control%20por%20%20Gain%20Scheduling%20de%20Dos%20Tanques%20en%20Cascada.pdf>
- [10] A. Creus, Instrumentación Industrial, Octava Edición, Editorial Alfa-omega S.A. México, 2010.
- [11] D. García P., Manejo Básico de Imágenes con Matlab; Disponible [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10740/14/Manejo%20basico%20de%20imagenes\\_matlab.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10740/14/Manejo%20basico%20de%20imagenes_matlab.pdf)
- [12] (2007) E. González y M. Garavito; Diseño de un controlador PID análogo para un circuito RC de segundo orden mediante la Sissotool de Matlab; Disponible [http://de.mathworks.com/matlabcentral/ftp\\_files/15529/1/doc.pdf](http://de.mathworks.com/matlabcentral/ftp_files/15529/1/doc.pdf)
- [13] (2009) E. J. Castilblanco y J. A. Hidalgo. Efecto de dos tratamientos de agua en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo dos sistemas hidropónicos en piscicultura. Disponible <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/420/1/T2871.pdf>

# Implementación de un sistema de control de acceso basado en reconocimiento facial

Martín Poveda, Fernando Merchán

Universidad Tecnológica de Panamá

(martin.poveda, fernando.merchan)@utp.ac.pa,

**Resumen:** En este artículo se presentan aspectos de la implementación de un sistema de control de acceso basado en reconocimiento facial. El mismo verifica en tiempo real si las personas que entran a las instalaciones forman parte de la base de datos del personal que labora en las mismas. Las condiciones de operación de este sistema son no colaborativas. Es decir, los usuarios no se ubicarán en posiciones específicas para la adquisición de las imágenes. Para solventar las dificultades que esto pueda acarrear, se han diseñado diferentes bloques de pre-procesamiento y ajuste de la imagen previa a la aplicación del algoritmo de reconocimiento facial. Además, bajo las condiciones de operación previstas, el sistema debe ser robusto a diferentes condiciones de iluminación y cantidad de rostros en las imágenes adquiridas. El sistema propuesto tiene por objetivo brindar una solución de seguridad a bajo costo y adaptado a los requerimientos de ambientes no controlados.

**Palabras claves:** reconocimiento facial, extracción de características, sistema biométrico, fisherfaces, control de acceso.

**Title:** Implementation of an access control system based on facial recognition

**Abstract:** This article presents aspects of implementing an access control system based on face recognition. The same check in real time whether people entering the facility are part of the database of the personnel working in them. The operating conditions of the system are not-collaborative. That is, users will not be placed in specific positions for the acquisition of images. To overcome the difficulties this might cause, different pre-processing blocks have been designed and preconditions for the implementation of facial recognition algorithm image have been set. In addition, under the conditions of intended use, the system should be robust to different lighting conditions and amount of faces in images acquired. The proposed system aims to provide a security solution at low cost and adapted to the requirements of uncontrolled environments.

**Key words:** face recognition, extraction of features, biometric system, fisherfaces, access control.

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 26 de julio de 2015

Fecha de aceptación: 3 de diciembre de 2015

## 1. Introducción

En los últimos años las técnicas de procesamiento de imagen y video han tomado un rol más significativo en la implementación de esquemas como: sistemas de videovigilancia, desarrollo de sistemas biométricos, juegos multimedia de interacción hombre-máquina, robótica, entre otros [1]-[4]. Esto ha convertido a los sistemas de videovigilancia en una fuente masiva de imágenes de rostros, creando la necesidad de contar con sistemas automáticos de detección, reconocimiento y seguimiento de rostros, que sean fiables y rápidos [3]. El primer sistema automático de reconocimiento facial fue desarrollado por Kanade [4], y desde allí, numerosos sistemas han sido desarrollados [5]-[8]. Siendo los sistemas de reconocimiento facial en 3D los más fiables.

En la ciudad de Panamá, Panamá, el aeropuerto internacional de Tocumen consta con un sistema que realiza el reconocimiento facial de los pasajeros que ingresan a la terminal a fin de contrastarlos con las bases de datos policiales internacionales [9]. Otro ejemplo es Google, quien ha patentado un sistema que le permite al usuario desbloquear los dispositivos utilizando reconocimiento facial [10]. Igualmente, el desarrollo de redes sociales con amplio contenido de imágenes y fotos se ha convertido en otro campo de aplicación de esta tecnología. Así por ejemplo Facebook ha desarrollado el sistema "deep face" para reconocimiento de rostro basado en un modelo en 3D y que alcanza una precisión del 97.5 % [11]. En la actualidad, sistemas de reconocimiento facial en tiempo real han sido implementados [12]-[14]. Por ejemplo, Fei Zuo et al., desarrollaron un sistema para una casa inteligente [12], el cual cuenta con una tasa de reconocimiento del 95 %, y una tasa de 4 fotos por segundo. Además, sistemas embebidos han sido desarrollados utilizando FPGA [15], [16]. Janarbek et al. desarrollaron un sistema que logra procesar 45 fotos por segundo [15], este sistema fue implementado utilizando la tecnología VHDL, utilizando el FPGA Virtex-5. El cual utiliza el método de Viola & Jones para detectar los rostros y el método de eigenfaces para el reconocimiento.

El presente proyecto consiste en el desarrollo de un prototipo de sistema de control de acceso basado en el reconocimiento facial a fin de utilizarlo en las instalaciones de Universidad Tecnológica de Panamá (UTP). El esquema propuesto realizará la captura de las imágenes en los puntos de acceso de la institución y determinará si las personas que ingresan forman parte de la base de datos de estudiantes, docentes o personal administrativo. En caso de no ser parte de la base de datos, la persona será abordada por personal de la seguridad a fin de consultarle sobre los motivos de su visita a la institución.

La organización de este artículo inicia con la descripción del sistema, en el cual se describen las distintas etapas que se aplican en el algoritmo, las cuales son necesarias para reducir la tasa de error del sistema. La sección III describe el método LDA

y su importancia a la hora de encontrar el espacio de vectores en donde se tiene la mayor discriminación entre las clases. La sección IV habla sobre los materiales y métodos utilizados para desarrollar las pruebas. En la sección V se presentan los resultados y discusión obtenidos hasta la fecha, y en la sección VI las conclusiones y perspectivas.

## 2. Descripción del sistema

El prototipo desarrollado consiste en una cámara de video-vigilancia conectada vía IP a una laptop donde se ejecuta el sistema de reconocimiento en la plataforma Matlab (ver Figura 1). Las funciones del sistema se pueden dividir en 6 etapas las cuales son: adquisición de imágenes, pre-procesamiento, detección de rostros, corrector de falsos positivos, ajuste de posición, escalamiento y centrado de los rostros, y por último el reconocimiento. A continuación una descripción de cada etapa.



Figura 1. Prototipo de pruebas.

### 2.1 Adquisición de imágenes

La función de la primera etapa es adquirir las imágenes que una cámara de video-vigilancia transmite en tiempo real, las cuales pueden ser transmitidas a través de un cable USB utilizando una cámara *webcam* o a través de la red utilizando una cámara IP. En la Figura 2.a) se muestra una imagen *adquirida*.

### 2.2 Pre-procesamiento

La función principal de esta etapa es acondicionar las imágenes adquiridas para reducir la tasa de falsos positivos y falsos negativos en la etapa de detección de rostros. Un falso positivo se da cuando el sistema encuentra un rostro donde no lo hay, y un falso negativo es el caso contrario.

Las tareas que efectúa la etapa de pre-procesamiento son: reducir la resolución, convertir la imagen a escala de grises y aplicar un filtro de mediana.

La disminución de la resolución reduce el tiempo de búsqueda de rostros dentro de las imágenes, y además disminuye la tasa de falsos positivos. En las pruebas se trabajó con una resolución de 800x600 píxeles. El objetivo de cambiar el espacio de color se debe a que las etapas posteriores trabajan con la imagen en escalas de grises y el filtro de mediana permite disminuir el ruido de la imagen. La Figura 2.b) se muestra el resultado de pasar la Figura 1 a través de la etapa 2.

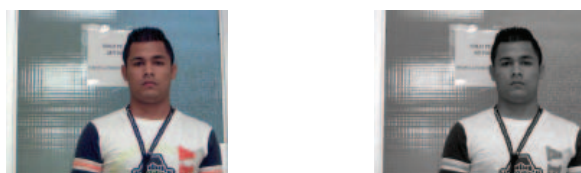


Figura 2. a) Imagen adquirida. b) Resultado de aplicar la etapa 2.

### 2.3 Detección de rostros

El objetivo de esta etapa es adquirir las coordenadas, el ancho y el alto de los rectángulos que encierran los rostros existentes en la imagen (ver Figura 3). Con esta información se pueden recuperar los rostros ubicados en la imagen original, los cuales cuentan con mayor resolución. Para esta etapa se utiliza el algoritmo de Viola & Jones basado en AdaBoost en un esquema de cascada [17].

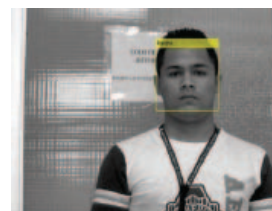


Figura 3. Rostro detectado.



Figura 4. Método de Viola & Jones.

El algoritmo de Viola & Jones utiliza las características de Haar, las cuales son formas rectangulares de dos tonos de intensidad (blanco y negro) que cambian de tamaño y posición (ver Figura 4).

Cabe destacar que la imagen debe estar en escala de grises para poder hacer estos cálculos.

Para extraer las características, se debe encontrar la diferencia de contraste entre las regiones rectangulares adyacentes en la imagen. Dicho de otra manera, sumando todos los píxeles dentro de los cuadros blancos y negros, y posteriormente restando esas sumas. Así, mientras mayor sea la diferencia de la resta, se contará con una característica de mayor peso. El problema de este método surge a la hora de calcular dichas sumas, puesto que la cantidad de características que se pueden buscar dentro de una ventana de 24x24 píxeles es de 180,000, pero, para resolver este problema se calcula la imagen integral [17].

Para entrenar este modelo se deben tener dos bases de datos distintas, una de ellas debe tener imágenes de objetos positivos y la otra debe tener imágenes de objetos negativos, siendo los objetos positivos los objetos que se desean encontrar, mientras que los objetos negativos son los que no se desean encontrar. MATLAB ya cuenta con detectores entrenados que pueden encontrar rostros, nariz, ojos, boca y la parte superior del cuerpo.

Un problema que surge con esta etapa es que en algunas ocasiones los cuadros obtenidos de los rostros son muy chicos, lo que ocasiona que algunos rostros se recorten más de lo que deberían (ver Figura 5.a). Para corregir este problema se debe expandir el área en donde se encuentra el rostro, obteniendo así una nueva imagen que se muestra en la Figura 5.b. El propósito de hacer esto es, obtener más información (i.e., píxeles) del rostro, el cual permitirá corregir el centrado del mismo.



Figura 5. a) Rostro recortado. b) Rostro expandido.

## 2.4 Corrector de falsos positivos

El corrector de falsos positivos se aplica ya que el método de Viola & Jones no es 100 % eficaz, y en muchas veces el algoritmo proporciona falsos positivos. Esta etapa consiste en un detector de ojos, en el cual se obtienen las coordenadas, el ancho y el alto de las cajas rectangulares en donde se encuentran los ojos. Esto es realizado utilizando el algoritmo de Viola & Jones entrenado apropiadamente. Para este caso, la región de análisis se limita a la mitad superior de la imagen y no en la imagen completa. Esto disminuye el tiempo de búsqueda. El objetivo de esta tarea es determinar si en la imagen detectada hay ojos, y así saber si la imagen corresponde a un rostro. En muchos casos se encuentran más de un ojo derecho e izquierdo. Una vez obtenidos estos rectángulos, se encuentran

las coordenadas (x, y) de la ubicación de las pupilas, las cuales servirán en el ajuste de posición, escalamiento y centrado de los rostros. La Figura 6 muestra el resultado obtenido de esta tarea.

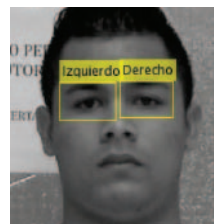


Figura 6. Ojos detectados.

## 2.5 Ajuste de posición, escalamiento y centrado de los rostros

Esta etapa permite reducir la tasa de error del sistema, haciendo que el mismo sea más fiable a la hora de reconocer a los individuos. Y es aplicada debido a que los rostros que se detectan no siempre cuentan con la misma posición, escalamiento y centrado.

Estos pasos dependen de las coordenadas (x, y) de las pupilas, las cuales servirán de referencia para corregir estos problemas, por lo cual se diseñó una etapa para extraer automáticamente las coordenadas de las pupilas de los ojos. Para los ojos detectado (ver Figura 6) las coordenadas de la pupila izquierda y derecha son (78, 92) y (132, 90) respectivamente, lo que hizo que el rostro se rotara con un ángulo de  $-2.1211^\circ$  (ver Figura 7). Dicho ángulo se calcula con la arcotangente de la pendiente de la recta que atraviesa los puntos de las pupilas.



Figura 7. Ajuste de posición.

Para el paso de escalamiento lo que se hace es cambiar la resolución de la imagen, hasta lograr que la diferencia entre los ojos sea igual a una distancia final, la cual será utilizada para todas las imágenes. Con esto se consigue eliminar el problema de escalamiento, el cual surge cuando se toman fotos de individuos a distintas distancias de la cámara. Para corregir esto, se debe calcular la distancia actual de los ojos con (1).

$$d_a = \sqrt{(x_{Left} - x_{Right})^2 + (y_{Left} - y_{Right})^2} \quad (1)$$

Donde  $d_a$  es la distancia actual de los ojos,  $x_{Left}$ ,  $y_{Left}$ ,  $x_{Right}$  y  $y_{Right}$  las coordenadas de las pupilas izquierda y derecha.

Una vez calculada la distancia actual, se calcula el factor de escalamiento con (2).

$$k = d_f / d_a \quad (2)$$

Donde  $d_f$  es la distancia final y  $k$  el factor de escalamiento.

Según pruebas realizadas, se concluyó que la distancia final apropiada era de 90 píxeles. Para la imagen de la Figura 6 la distancia actual es de 54.0370, dando un factor de escalamiento de 1.6655, aumentando así la resolución de la imagen.

Hasta este punto todas las imágenes cuentan con un ángulo de inclinación entre las coordenadas de las pupilas de  $0^\circ$ , y una distancia de separación entre las pupilas de 90 píxeles.

Por último, las imágenes se deben centrar con respecto a un mismo punto, esto se consigue recortando un nuevo rectángulo que encierra el rostro, el cual es de  $180 \times 180$  píxeles. Para esto se deberán obtener las nuevas coordenadas de las pupilas, puesto que con la rotación las coordenadas habrán cambiado. La Figura 8.a) muestra el resultado obtenido de los dos últimos pasos. Además, para que el reconocimiento no sea afectado por el fondo que se toma como parte del rostro, todas las imágenes, incluyendo las de la base de datos se pasan a través de una plantilla, la cual recorta algunas secciones de la imagen de poco interés. En la Figura 8.b) se muestra el resultado de aplicar esta plantilla.



Figura 8. a) Rostro centrado b) Rostro con plantilla.

Otro problema que existe además de los anteriores mencionados, es la iluminación, ya que no siempre se cuenta con la misma iluminación en un mismo punto de adquisición.

Para resolver este problema se ha propuesto expandir los niveles de grises de la imagen. Esto hace que se normalicen los niveles de grises para todas las imágenes. La Figura 9.a) muestra la conversión de la Figura 8.b) a escala de grises, y la Figura 9.b) muestra la expansión de los niveles de la Figura 9.a).

Esta normalización mejoró en un 17.5 % la tasas de reconocimiento del sistema.

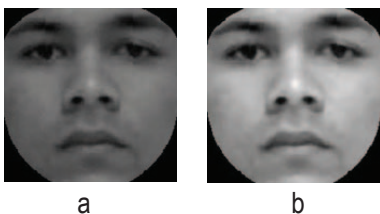


Figura 9. a) Imagen normal b) Imagen con expansión grises.

## 2.6 Reconocimiento

La etapa de reconocimiento es la que mayor importancia tiene, dado que es aquí donde se clasifican o reconocen los rostros detectados dentro de las imágenes adquiridas. Estos tipos de sistemas presentan algunos desafíos que hasta hoy en día no han sido del todo resueltos, debido principalmente a la forma no colaborativa de las personas. La funcionalidad básica de esta etapa es que a partir de la adquisición de una nueva imagen que contiene un rostro, se busque la imagen que mayor similitud tenga con la imagen adquirida de acuerdo con el criterio o enfoque utilizado. Las imágenes que se comparan con la imagen adquirida tienen que estar previamente cargadas en el sistema, y son alojadas en una base de datos que contiene varias fotografías por persona. El método que se utilizará para el reconocimiento facial es *linear discriminant analysis*.

## 3. Linear discriminant analysis (LDA)

El mayor problema en el reconocimiento facial es el tamaño de la información que se tiene que procesar. Una manera de resolver este problema consiste en reducir la dimensionalidad del problema. Dos técnicas muy conocidas son: PCA (*principal components analysis*) y LDA (*linear discriminant analysis*, también conocida como *fisher discriminant analysis*, FDA). Estos métodos son poderosas herramientas utilizadas para la reducción de la dimensionalidad y extracción de características en la mayoría de las aplicaciones de reconocimiento de patrones [18]. Este artículo se enfoca en el uso de la técnica LDA, ya que es una variación de PCA denominada *fisherfaces*. Esta técnica se basa en que teniendo en cuenta que las muestras de las clases están etiquetadas es posible utilizar esta información para reducir la dimensionalidad del espacio de las características [19]. El objetivo de LDA es encontrar los vectores en el espacio subyacente que mejor discriminen entre clases. Para ello, LDA proyecta las imágenes en un espacio vectorial de baja dimensionalidad de manera que la razón entre la distancia entre clases y la distancia dentro de la clase se maximice. De este modo se garantiza una máxima discriminación entre las clases. La razón por la cual se proyectan las imágenes en un espacio vectorial de baja dimensionalidad se debe a que las imágenes son representadas por matrices de tamaño  $N \times N$  píxeles, las cuales se pueden representar por un vector de tamaño  $N^2$ , así que una típica imagen de tamaño  $600 \times 800$  píxeles, puede ser representada por un vector de 480000 dimensiones. LDA utiliza PCA para encontrar los vectores que mejor distribuyen las imágenes de la cara dentro de todo el espacio de la imagen, los cuales definen el subespacio de imágenes de la cara, lo que llamamos *face space*. Cada vector es de longitud  $N$  y describe una imagen de tamaño  $N \times N$ , y es una combinación lineal de las imágenes de la cara originales. Estos vectores son los vectores propios de la matriz de covarianza correspondiente a las imágenes de caras originales. En LDA para todas las imágenes de todas las clases, se definen dos tipos de matrices de dispersión, una matriz de dispersión entre clases (*inter-class*)  $S_B$  y otra dentro de las



clases (*intra-class*)  $S_w$ . Las cuales son calculadas con (3) y (4) respectivamente. LDA es un método de reducción dimensional con supervisión, porque utiliza la información de las muestras, esto se consigue maximizando (5).

$$S_B = \sum_c N_c \cdot (\mu - \bar{x}) \cdot (\mu - \bar{x})^T \quad (3)$$

$$S_W = \sum_c \sum_{i \in c} N_c \cdot (x_i - \mu_c) \cdot (x_i - \mu_c)^T \quad (4)$$

$$J(w) = \frac{w^T \cdot S_B \cdot w}{w^T \cdot S_W \cdot w} \quad (5)$$

Donde  $\bar{x}$  es el promedio de todas las imágenes,  $\mu_c$  el promedio de cada clase y  $N_c$  el número de muestras por clase.

## 4. Pruebas

Para las pruebas realizadas de este proyecto se recogieron tres bases de datos. La primera cuenta con 90 personas y una foto por persona. El problema de esta base de datos es que sólo se tomó una muestra por clase, lo que provocó que el algoritmo de *fisherfaces* no se pueda utilizar, ya que el mismo necesita más de una muestra por clase para poder funcionar. Esta base de datos fue tomada con diferentes fondos e iluminación, lo que provocó tener una baja tasa de reconocimiento. Además de esta base de datos se tomaron varios videos para pruebas de las personas pasando frente a la cámara, pero, en diferentes sitios. La segunda base de datos cuenta con 28 personas y 4 fotos por persona. La misma si cuenta con fondos iguales e iluminación. Este aspecto fue tomado en consideración, ya que a la hora de implementar un sistema de reconocimiento facial el mismo no se cambiara de lugar y esto es una ventaja que se puede utilizar, ya que todas las imágenes adquiridas tendrán el mismo fondo e iluminación porque las cámaras y lámparas estarán fijas. Para esta base de datos también se obtuvieron unos videos, los cuales también se tomaron con el mismo fondo e iluminación de la base de datos. Estas dos bases de datos fueron adquiridas con la ayuda de los estudiantes de la Universidad Tecnológica de Panamá. La tercera base de datos cuenta con 25 personas y 10 fotos por personas. Esta base de datos fue adquirida con diferentes fondos e iluminación para comprobar la robustez del sistema, y la misma fue adquirida de *Facebook* con el permiso de las personas. A pesar de que sólo se tomaron 10 fotos por persona, se logró duplicar la cantidad de las muestras utilizando la ventaja de la simetría de los rostros, con lo que se pudo hacer un espejo de todas las imágenes. Cabe recalcar que todas las bases de datos son pasadas a través de las etapas de acondicionamiento para mejorar la efectividad del sistema.

## 5. Resultados y discusión

Las pruebas realizadas permitieron determinar algunos parámetros clave para el sistema, uno de estos parámetros fue la distancia máxima entre la cámara y la persona para que ésta pueda ser identificada, la cual fue de 2.5 metros. Otro parámetro que se determinó fue el ángulo con el que se tenían que adquirir

las imágenes, para esto se utilizaron 2 cámaras en paralelo, una de ellas estaba a una altura de 2 metros, mientras que la otra estaba a una altura de 1.6 metros. Según estas pruebas, la altura más efectiva es 1.6 metros, ya que es aquí donde se obtienen los rostros más perfilados. Además de estos dos parámetros, se pudo buscar el zoom y el enfoque más óptimos para lograr una mayor distancia de reconocimiento. Un hallazgo importante obtenido fue que a medida que se incrementaba el número de muestra por clase, la tasa de reconocimiento aumentaba, por lo que al final se optó por la tercera base de datos para determinar la efectividad del sistema, con la cual se logró obtener una tasa de reconocimiento hasta del 96 % utilizando 475 imágenes en la base de datos y una foto por persona para la prueba (25 fotos).

## 6. Conclusión y perspectivas

En este artículo se han presentado los diferentes bloques que permiten optimizar el desempeño de este tipo de sistemas. Actualmente el bloque de reconocimiento facial está basado LDA, en el que sólo se ha utilizado un subespacio de los vectores *fisherfaces* para lograr obtener una tasa de reconocimiento hasta del 96 %, ya que al utilizar todo el espacio de vectores se obtenía una tasa de reconocimiento en promedio del 80 %, mientras que con PCA (*eigenfaces*) solo se logró alcanzar una tasa de reconocimiento en promedio del 40 %. Otros algoritmos de reconocimiento facial serán implementados con el fin de realizar un estudio comparativo que determine el algoritmo más apropiado para las condiciones de operación del sistema. Se tiene previsto implementar un módulo adicional basado en técnicas 3D que permita corregir la pose del rostro cuando las imágenes capturadas no sean frontales.

## 7. Agradecimiento

Este trabajo es apoyado en parte por la SENACYT, bajo el programa "Sistema Nacional de Investigación" (SNI) de Panamá, del cual los dos autores son miembros.

## Referencias

- [1] V. Gouaillier and A. Fleurant. "Intelligent video surveillance: Promises and challenges," Technological and commercial intelligence report, CRIM and Technôpole Defence and Security, pp. 456-468, 2009.
- [2] H. K. Ekenel and B. Sankur. "Feature selection in the independent component subspace for face recognition," Pattern Recognition Letters, vol. 25, no. 12, pp. 1377-1388, 2004.
- [3] A. K. Jain and A. Kumar. "Biometrics of next generation: An overview," Second Generation Biometrics, vol. 12, no. 1, pp. 2-3, 2010.
- [4] T. Kanade. "Picture Processing by Computer Complex and Recognition of Human Faces," Ph. D. thesis, Kyoto University, 1973.
- [5] X. Wang, Q. Ruan, and Y. Ming. "3D Face recognition using Corresponding Point Direction Measure and depth local features," Signal Processing (ICSP), 2010 IEEE 10th International Conference on. IEEE, pp. 86-89, 2010.
- [6] V. Zeljkovic, D. Zhang, V. Valev, Z. Zhang and J. Li. "Personal access control system using moving object detection and face recognition," High Performance Computing & Simulation (HPCS), 2014 International Conference on. IEEE, pp. 662-669, 2014.

- [7] Q. Al-Shebani, P. Premarante, and P. Vial. "Embedded door access control systems based on face recognition: a survey," *Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS)*, 2013 7th International Conference on, pp.1-7 Dec. 2013.
- [8] J. Harguess and J. K. Aggarwal. "A case for the average-half-face in 2D and 3D for face recognition," *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, 2009. CVPR Workshops 2009. IEEE Computer Society Conference on. IEEE, pp. 7-12, 2009.
- [9] La Prensa. (2013) Cámaras de reconocimiento facial llegarán el 31 de enero a Panamá [Online]. Disponible en: <http://www.prensa.com/uhora/locales/camaras-de-reconocimiento-facial-llegaran-el-31-de-enero-panama/58897>
- [10] El día.es. (2014) Google desarrolla el desbloqueo facial a varios usuarios en un mismo teléfono [Online]. Disponible en: <http://eldia.es/sociedad/2012-09-07/0-Google-desarrolla-desbloqueo-facial-varios-usuarios-mismo-telefono.htm>
- [11] FayerWayer. (2014) Facebook ya le gana al FBI en reconocimiento facial [Online]. Disponible en: <http://www.fayerwayer.com/2014/07/facebook-ya-le-gana-al-fbi-en-reconocimiento-facial/>
- [12] F. Zuo, and P. H. N. de With. "Real-time embedded face recognition for smart home," *Consumer Electronics*, IEEE Transactions on, vol. 51, no. 1 pp. 183-190, 2005.
- [13] R. Meng, Z. Shengbing, L. Yi and Z. Meng. "CUDA-based real-time face recognition system," *Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP)*, 2014 Fourth International Conference on. IEEE, pp. 237-241, 2014.
- [14] S. Lin. "The study and implementation of real-time face recognition and tracking system," *2010 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Vol. 6, pp. 3050-3055, 2010.
- [15] M. Janarbek, A. Irturk, and R.Kastner. "Design and implementation of an fpga-based real-time face recognition system," *Field-Programmable Custom Computing Machines (FCCM)*, 2011 IEEE 19th Annual International Symposium on. IEEE, pp. 97-100, 2011.
- [16] S. Sardar, and K. Babu. "Hardware Implementation of Real-Time, High Performance, RCE-NN Based Face Recognition System," *VLSI Design and 2014 13th International Conference on Embedded Systems*, 2014 27th International Conference on, IEEE, pp. 174-179, 2014.
- [17] P. Viola and M. J. Jones. "Robust real-time face detection," *International journal of computer vision*, vol. 57, no. 2, pp. 137-154, 2004.
- [18] S. Hossein, B. Heidari, and C. Dehghani. "A new face recognition method using PCA, LDA and neural network," *International Journal of Computer Science and Engineering*, vol. 2, no. 4, pp. 218-223, 2008.
- [19] P. Belhumeur, J. Hespanha and David Kriegman. "Eigenfaces vs. fisherfaces: Recognition using class specific linear projection," *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE Transactions on, vol. 19, no. 7, pp. 711-720, 1997.

# Uso de técnicas de estimación en el cálculo de la duración de proyectos de TIC en Uruguay

Federico Núñez, Guillermo Villa, Pablo Oríz

Universidad Tecnológica del Uruguay

federico8803@gmail.com, guillermo.vasps@gmail.com,

pablo.ortiz@utec.edu.uy

**Resumen:** El propósito del estudio es presentar el resultado de una encuesta a 52 Gerentes de Proyectos (GP) de Uruguay con el objetivo de identificar el uso de las técnicas de estimación en el cálculo de la duración de proyectos de TIC. Este tema se considera de especial relevancia ya que la estimación de la duración de los proyectos se cita como una de los factores prominentes en la falla de los proyectos de TIC, detectándose un desvío en las estimaciones que varía entre 30 % -40 %. El estudio concluye que el principal método de estimación es el juicio de expertos, lo cual es consistente con diversos estudios a nivel global. Asimismo se analizan diversos factores vinculados a la estimación, como la relación entre las técnicas de estimación y las metodologías de desarrollo de software, el uso de valores de contingencia (project padding) y experiencia de los GP, entre otros.

**Palabras claves:** juicio de expertos, duración de proyectos, metodologías de desarrollo de software

**Title:** Use of estimation techniques to calculate the duration of IT projects in Uruguay

**Abstract:** The purpose of the study is to present the results of a survey of 52 Project Managers (PM) of Uruguay aimed to identify the use of estimation techniques to calculate the duration of IT projects. This issue is considered particularly important, since the estimated duration of the projects is cited as one of the prominent factors in the failure of IT projects, detecting a deviation in estimates ranging from 30 %-40 %. The study concludes that the main method of estimation is expert judgement, which is consistent with several studies worldwide. Various related factors are analyzed such as the relationship between estimation techniques and software development methodologies, the use of contingency values (project padding) and the PM experience, among others.

**Key words:** expert judgment, project duration, software development methodologies

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 30 de julio de 2015

Fecha de aceptación: 3 de diciembre de 2015

## 1. Introducción y motivación

El problema de la estimación de la duración de los proyectos permanece como un tema de estudio, interés y preocupación por parte de los Gerentes de Proyecto (GP). Una estimación imprecisa conlleva un impacto importante en los tiempos estimados, los costos derivados y la calidad del proyecto, colaborando en el posible fracaso del mismo. Este tema ha sido abordado extensamente desde 1950 y se reconoce causalidad entre la calidad de estimación y la probabilidad de éxito o fracaso de los proyectos. Esto es corroborado por distintos estudios independientes; así el estudio que desde 1994 viene realizando el Standish Group en el informe CHAOS Manifiesto 2013 [1] basado en datos de 50.000 proyectos, ilustra que solo un 39 % de los proyectos tuvieron éxito (ver Tabla 1).

Tabla 1. Evolución de los proyectos.

	2004	2006	2008	2010	2012
Exitosos	29 %	35 %	32 %	37 %	39 %
Cancelados	18 %	19 %	24 %	21 %	18 %
Modificados	53 %	46 %	44 %	42 %	43 %

Fuente: CHAOS Manifiesto (2013)

Los proyectos exitosos, según la definición del Standish Group, son aquellos que son entregados en tiempo, dentro del presupuesto acordado y con las funcionalidades requeridas. Los modificados son proyectos completados y operativos, pero en forma tardía, por encima del presupuesto y ofrecen menos funcionalidades que las que fueron originalmente especificadas. Los cancelados son aquellos que son interrumpidos antes de su finalización o entregados y nunca utilizados. Los valores de éxito de los proyectos del año 2012 resultan consistente con resultados de años anteriores, advirtiéndose muy poca variación en los mismos.

Complementariamente, el Project Management Institute (PMI) publicó en el año 2008 el resultado de una encuesta realizada a GP a nivel mundial. Los mismos destacaron la planificación del cronograma y la estimación de tiempos como uno de los desafíos más importantes, mencionando además que uno de los factores críticos de éxito es la "planificación para una implementación en tiempo, práctica y realista" [2].

Existen múltiples técnicas de estimación para determinar la duración de los proyectos advirtiéndose cierta dualidad entre el enfoque académico y el enfoque práctico. Por una parte la comunidad académica y las publicaciones vinculadas a este campo abundan en técnicas tales como simulación Monte Carlo o Cadena crítica entre otras, las que en la práctica son escasamente adoptadas por los estimadores como lo refrendan los estudios de Besner y Hobbes [3] y Whelan [4] entre otros.

El objetivo de nuestro estudio fue investigar si esta tendencia se aplicaba a los proyectos de TIC (Tecnologías de la Información y las Comunicaciones) en Uruguay y su relación con las metodologías de desarrollo de software. Se encuestaron a

GP con variada experiencia (entre 2 años y mayores a 10 años) quienes trabajan sobre variados *frameworks* de desarrollo (principalmente J2EE y .NET). Teniendo en cuenta que Uruguay cuenta con 550 empresas en la industria de las TIC y que es el primer exportador de *software* per cápita y el tercero en términos absolutos en Latinoamérica [5], se concluye que la estimación es un factor relevante y de interés para su estudio. Especialmente nos interesan las estimaciones iniciales, las llamadas estimaciones tempranas, hito que normalmente se establece cuando se firma el documento de Requisitos (o Requerimientos) del proyecto por parte del cliente.

## 2. Revisión de la literatura

Existen diversas clasificaciones usadas en las Técnicas de Estimación, no obstante, una categorización frecuente la divide en dos grupos: algorítmicas y no-algorítmicas (Leung, [6]; Khatibi y Jawawi [7]). Los modelos algorítmicos están basados en algoritmos especiales. Son modelos que se basan en relaciones matemáticas y parámetros con los que realizan las estimaciones. Por otra parte los modelos no algorítmicos están basados en comparaciones analíticas e inferencias [7]. Entre estas veremos el Método por Tres Valores (MTV; también llamado Estimación por Tres Valores) y la Simulación Monte Carlo (SMC), que son los de interés para el artículo.

### Técnicas algorítmicas

Éste es un gran conjunto de técnicas. De acuerdo a Khatibi y Jawawi [7], la estimación algorítmica tiene su origen en modelos basados en algoritmos especiales. Generalmente necesitan datos como entrada y producen los resultados aplicando los modelos matemáticos que combinan estas entradas.

### Método por tres valores

El MTV es una técnica paramétrica basada en PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) [8], que se basa en las siguientes hipótesis [9]:

- las actividades siguen una distribución Beta, y no existe correlación en la duración de las actividades
- la estimación por tres puntos (esto es, MTV), puede ser usada para modelar la distribución de probabilidad de las actividades
- solamente existe un camino crítico y ningún otro camino es candidato a ser crítico
- las actividades del calendario son ignoradas.

En particular, a partir del punto b. se ha propuesto una estimación para la duración y desvío de las tareas mediante las siguientes ecuaciones:

$$E(x) = \frac{O + 4M + P}{6} \quad (1)$$

$$Var(x) = \frac{(P - O)^2}{36} \quad (2)$$

donde:

- $E(x)$  es el valor promedio de la tarea
- $Var(x)$  es la varianza de la tarea
- O. Valor optimista de duración de la tarea
- M. El valor mas probable (moda) de la tarea; el valor mas frecuente
- P. Valor pesimista de duración de la tarea.

### Simulación Monte Carlo

La Simulación Monte Carlo es un método paramétrico que implica la toma de muestras al azar de cada distribución de probabilidad del modelo para producir cientos o miles de iteraciones. De los resultados se obtiene una distribución general para el modelo que refleja la distribución de la duración total del proyecto.

Una de las ventajas más importantes de la SMC es la capacidad para definir la distribución más adecuada para la duración de cada actividad en lugar de fijar una única distribución para todo el proyecto (como lo asume la técnica MTV con la distribución Beta, en su acepción más aplicada). La clave es identificar cuáles son las distribuciones de probabilidad adecuadas que deben utilizarse para simular cada una de las variables aleatorias de un modelo [10]. Esto normalmente requiere analizar información empírica o histórica y ajustarla a alguna distribución. Como contraparte, es un método de baja utilización por parte de los GP ([3], [4]).

### Técnicas no algorítmicas

En este grupo analizaremos la técnica de Juicio de Expertos, que es la que tiene un porcentaje más alto de uso por los GP en Uruguay.

### Juicio de expertos

Se define el Juicio de Expertos como las opiniones que pueden brindar los profesionales expertos en una industria o disciplina, relacionadas al proyecto que se está ejecutando.

De distintos estudios ([11], [12]) se puede concluir que es el método más popular de estimación en el desarrollo de *software*. Se reporta que más del 60 % de los estimadores/organizaciones usan esta técnica.

Como lo expresan Nagar y Dixit [13] esta estimación es usualmente usada cuando existen limitaciones para conseguir datos y en el relevamiento de los requerimientos. La misma aparece como la preponderante entre los encuestados (63 %), por lo que es la que analizaremos con más detenimiento sus fortalezas y debilidades (ver Tabla 2).

### Fortalezas

- La confiabilidad se basa en la experiencia acumulada de los estimadores que se disponga al realizar las estimaciones.
- Los ajustes son realizados por el propio personal que va a llevar a cabo la tarea y son hechas rápida y eficientemente.
- Puede ser usada en ausencia de gran cantidad de datos históricos.

## Debilidades

- Las estimaciones no son mejores que las experiencias de los estimadores, por lo que pueden ser sesgadas, difíciles de racionalizar y no son objetivamente repetibles.
- Para que una persona pueda ser etiquetada como “experta” debe poseer un conocimiento profundo de la tarea o actividad que será objeto de análisis y tiene que estar familiarizada con el sistema que se está desarrollando.
- Como señala Jørgensen [11] una de las principales debilidades de esta estimación es la falta de realismo, los expertos muchas veces son excesivamente optimistas (los tiempos de estimación son generalmente excedidos) y tienen exceso de confianza, proveen rangos estrechos para sus estimaciones, aún frente a una gran incertidumbre.
- Grimstad y Jørgensen [14] en un experimento realizado con 7 estimadores y 60 tareas obtuvieron una alta inconsistencia, con valores de correlación de 0,7.

En particular en Latinoamérica, por lo menos en conocimiento de los autores, no se dispone de estudios regionales sobre este tópico, aunque se destacan estudios en algunos países, como el realizado por Santos Cruz y Cattini en Brasil que ratifican el uso mayoritario de juicio de expertos [15].

## 3. Metodología

Esta investigación se considera como una investigación de campo, ya que el propósito es relevar de forma directa a quienes realizan las estimaciones en las empresas, y exploratoria, en cuanto es un tema del cual no se disponen estudios previos, en nuestro conocimiento, en Uruguay.

Para la recolección de la información, se recurrió a una encuesta que es una forma económica y ágil de recolectar información. Esta encuesta principalmente fue de tipo estructurada conformada por un conjunto de preguntas cerradas, no obstante se dejó la posibilidad de que el estimador comentara sobre alguna técnica o enfoque diferente. La encuesta se realizó mediante un formulario *on-line* con una herramienta específica para estos propósitos y se complementó consultando personalmente a colegas de los autores. El resultado final fueron 52 formularios completados por GP de 26 empresas de TIC del Uruguay. El 32 % de estos GP posee una certificación PMP (*PMI-Project Management Professional*).

## 4. Resultados

En esta sección presentaremos los principales resultados obtenidos del estudio.

La pregunta más relevante indagó sobre los métodos de estimación aplicados. Se sugirieron una serie de métodos, no obstante dejando abierta la posibilidad a que el entrevistado agregara otras.

Tabla 2. Uso de los Métodos de Estimación

Técnica	Cantidad	Porcentaje
Juicio de expertos	33	63 %
Estimación por tres valores	17	33 %
Puntos de función	2	4 %

Como se mencionó anteriormente el Juicio de Expertos destaca como la técnica más aplicada, seguida, en menor medida por la Estimación por Tres Valores.

Otra pregunta relevante fue la experiencia (en el área de estimación) de los entrevistados, para lo cual se trató de que la muestra representara desde estimadores con menos experiencia a aquellos calificados con mayor experiencia como se muestra en la Figura 1.

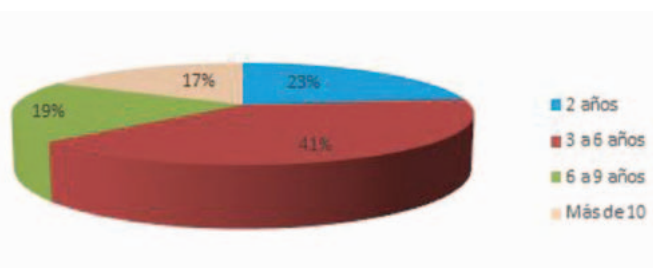


Figura 1. Experiencia de los estimadores.

Por otra parte, es práctica habitual que los estimadores agreguen un factor de contingencia (*project padding*), exceso, para subsanar posibles subestimaciones y resguardarse de los riesgos y factores inciertos que todo proyecto conlleva. Acotemos que de acuerdo a la investigación de Van Genuchten los desarrolladores subestiman sus proyectos en un rango de 20 % a 30 % [16]. En consecuencia, preguntamos si los estimadores hacían uso del mismo, y en ese caso, el valor promedio y el método de estimación. El resultado fue el siguiente:

Tabla 3. Porcentaje de contingencia.

Técnica	% Contingencia
Juicio de expertos	25 %
Estimación por tres valores	22 %

El 92 % confirmó que usa un valor adicional de contingencia como salvaguarda, los cuales, como se advierte en la Tabla 3, se encuentran dentro del rango recabado por Van Genuchten.

Por último nos interesaba investigar sobre la relación entre las metodologías de desarrollo de *software* y las técnicas de estimación. Existen una variedad importante de metodologías de desarrollo, no obstante, realizamos una clasificación primaria entre metodologías tradicionales (cascada, iterativas o incrementales) o metodologías ágiles como se ilustra en la Figura 2.

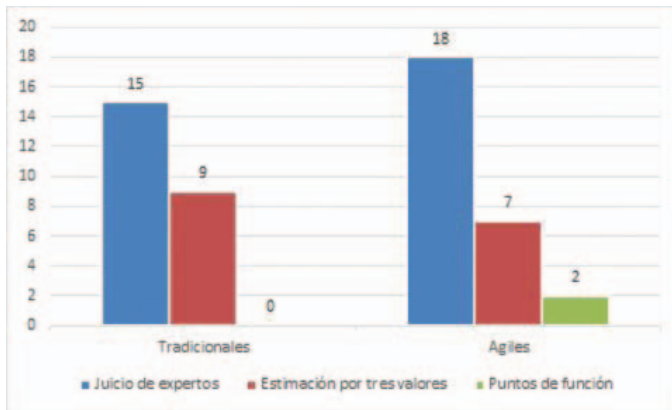


Figura 2. Técnicas de estimación vs Metodologías de desarrollo.

En términos generales el juicio de expertos tiene prevalencia en ambas metodologías. Cabe puntualizar que las técnicas que se aplican habitualmente en las metodologías ágiles (por ejemplo, *Planning Poker*), fueron considerados dentro de la categoría de juicio de experto, siempre que no se indicara otra alternativa. Esto se debe a que los modelos de estimación para metodologías ágiles consideran la opinión de uno o varios (normalmente todo el equipo) en un proceso iterativo de consenso. Es destacable la incidencia que tienen las metodologías ágiles en Uruguay, lo cual se contrapone con los resultados expresados por ejemplo, por Santos Cruz y Cattini en Brasil quienes expresan que “que las metodologías ágiles son raramente usadas” [15].

## 5. Conclusiones

El objetivo del estudio fue analizar el uso de las técnicas de estimación en la duración de los proyectos de TIC en Uruguay. Los resultados muestran el uso mayoritario del Juicio de Expertos y en menor medida la Técnica por Tres Valores. Estos valores se correlacionan con las tendencias globales y muestran que a pesar de la existencia de técnicas más elaboradas, y tal vez más precisas, éstas no han logrado aceptación en la comunidad de los GP. No obstante, estos resultados pueden ser un comienzo para transitar hacia técnicas con mayor precisión, muchas de las cuales no implican ejecuciones complejas.

La principal limitación es el tamaño acotado de la muestra. Esto supone que los resultados no son estadísticamente significativos teniendo en cuenta la incidencia de las TIC en Uruguay. No obstante, según las experiencias de los autores, estos valores coinciden con la percepción general del uso de técnicas de estimación en el mercado.

Como trabajos futuros se entiende interesante extender esta propuesta a una población más amplia. Además sería de interés analizar la posible correlación entre las técnicas de estimación y el porcentaje de atraso de los proyectos. Otro punto de interés es la posible correlación entre las técnicas y el éxito de los proyectos.

## Referencias

- [1] Standish Group International. “The CHAOS Manifesto”. 2013. [Ref.: 2 de julio 2015]. Disponible: <http://www.versionone.com/assets/img/files/CHAOSManifesto2013.pdf>
- [2] Project Management Institute. “Researching the Value of Project Management”. PMI Today. Mayo 2009, p. 9.
- [3] Besner, C., Hobbs, B. “The Reality of Project Management Practice: Phase two of an ongoing study. University of Quebec at Montreal, 2007. [Ref.: 2 de julio 2015]. Disponible: <http://www.pmi.org/~media/PDF/Surveys/Besner%20and%20Hobbs%20Practices%20Survey%20Report%20Phase%202.ashx>
- [4] Whelan, B. “An Analysis of Influences on Estimating Practice in Software Projects”. [Ref.: 4 julio de 2015] 2010. Disponible: <http://www.pmi.org/~media/PDF/Surveys/BWhelan%20-%20MSc%20PM%20Thesis%20Excerpt.ashx>
- [5] Uruguay XXI, “La industria TIC en Uruguay”, pp. 6, Agosto 2014.
- [6] Leung, H., Fan Z. Software Cost Estimation. Handbook of software engineering and knowledge engineering. World scientific publications company, River Edge: NJ. 2002.
- [7] Khatibi, V., Jawawi, D. “Software Cost Estimation Methods: A Review”. Journal of Emerging Trends in Computing and Information Science. 2010-11, Vol. 2 No.1.
- [8] Malcom, D.G., Roseboom, C.E., Clark, C.E. y Fazar, W. “Application of a technique for research and development program evaluation”, Operations Research, 1959, No. 7, pp. 646- 670.
- [9] Hadju, M., Mályusz, L. “Modeling spatial and temporal relationships in network techniques”. Procedia Engineering, vol.85, pp. 193-205, 2014
- [10] Van Slyke, R.M. “Monte Carlo methods and the PERT problem”. Operational. Research. 1963, Vol. 11, pp. 839-860.
- [11] Jørgensen, M., “A Review of Studies on Expert Estimation”. Journal of Systems and Software. 2004, 70(1-2), pp. 37-60.
- [12] McConnell, S., Software Estimation: Demystifying the Black Art, 1st. edition. Redmond: Microsoft Press, 2006.
- [13] Nagar, Ch., Dixit, A. “Software Efforts and Cost Estimation with a Systematic Approach”. Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences, Vol. 2, No. 7, July 2011.
- [14] Grimstad, S., Jørgensen, M. “Inconsistency of Expert Judgment-based Estimates of Software Development Effort.” Journal of Systems and Software, Vol. 80, Nro. 11, 2007, pp. 1770-1777.
- [15] Santos Cruz, T. Cattini, O. “Use and benefits of planning and scheduling techniques in Brazilian IT projects”, 2014, Disponible: <http://www.pomsmeetings.org/ConfPapers/060/060-1087.pdf>
- [16] Van Genuchten, M. “Why is Software Late? An Empirical Study of Reasons for Delay in Software Development”. IEEE Trans. Software Eng., Vol. 17, No. 6, pp. 582-590, June 1991.

# Edith Clarke: La mujer detrás del sistema de potencia

**Guadalupe G. González**

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

**Resumen:** este artículo presenta la vida y contribuciones de Edith Clarke, mujer pionera en el área de ingeniería eléctrica y a quien debemos, entre uno de sus legados, la conocida transformada de Clarke. Su visión del sistema de potencia le ha permitido a futuras generaciones de ingenieros comprender de una manera sencilla las complejidades del diseño y operación del sistema de potencia.

**Edith Clarke:** *The women behind the electric power system*

**Abstract:** *this article presents the life and contributions of Edith Clarke, women pioneer in the electrical engineering field and to whom we owe, among one of her legacies, the well-known Clarke transformation. Her vision of the power system led generations of future engineers to easily comprehend the complexities involved in the design and operation of the electric power system.*

## 1. Introducción

El sistema de potencia tuvo sus inicios a finales del siglo XIX. Sin duda alguna, los pioneros de este negocio fueron Thomas A. Edison con su sistema de generación y transmisión en base a corriente directa y George Westinghouse, asesorado por Nikola Tesla, con su sistema en base a corriente alterna. Hacia 1910, la industria energética crecía rápidamente y de igual forma lo hacía la rivalidad por el control del sistema energético entre los dos magnates, esto llegó a tal punto que dicha rivalidad se denominó la Guerra de las Corrientes [1]. Dos sucesos definieron el sistema de potencia como lo conocemos hoy en día; en América, la instalación de la planta de generación eléctrica de mayor envergadura hasta esa fecha ubicada en las Cataratas del Niágara y en Europa, la instalación de líneas de transmisión trifásica para alumbrar la Exhibición de Ingeniería Eléctrica en Frankfurt, Alemania.

En una era en donde más que nada se luchaba por la igualdad de derechos de la mujer y las labores ingenieriles eran realizadas exclusivamente por hombres, Edith Clarke marcó la diferencia al ser la primera mujer en poseer una maestría en Ingeniería Eléctrica y ejercer como tal en el sector energético de Estados Unidos. Citando al Dr. James E. Brittain, “la carrera ingenieril de Edith Clarke tuvo su punto central en el desarrollo y diseminación de métodos matemáticos que llevaron a simplificar y reducir el tiempo dedicado a laboriosos cálculos



Edith Clarke

matemáticos en el diseño y operación del sistema eléctrico de potencia. Ella tradujo lo que muchos ingenieros definían como métodos matemáticos esotéricos en gráficos o formas simples en un periodo en donde el sistema de potencia se volvía cada vez más complejo. Como mujer que trabajó en un ambiente tradicionalmente dominado por hombres, demostró efectivamente que la mujer podía desarrollarse de igual forma que los hombres si se les daba la oportunidad. Sus impresionantes logros son inspiración para la siguiente generación de mujeres que aspiran a desarrollarse en la carrera de ingeniería” [2].

## 2. Su crecimiento en Maryland y estudios universitarios

Edith Clarke nació el 10 de febrero de 1883 en el lecho de una familia próspera del Condado de Howard, Maryland, Estados Unidos. Quedo huérfana a los 12 años y fue criada por su hermana bajo el estereotipo de la mujer de la época, educada en el internado del Condado de Montgomery, Briarley Hall, para ser una madre amorosa, esposa hacendosa y excelente anfitriona. Se graduó a los 16 años sabiendo tocar un poco de piano, hablando un francés básico y conociendo sobre literatura inglesa, historia y latín; sin embargo, su mayor fortaleza estaban en las áreas de aritmética, álgebra y geometría [3-4].

A los 18 años, en contra de la opinión de sus familiares, Edith ingresa al Vassar College, Poughkeepsie - New York, siendo una de las pocas mujeres en América que atendía la universidad de manera formal. Edith se graduó en 1908 con una doble titulación, Matemática y Astronomía; siendo además miembro de la prestigiosa Sociedad Phi Beta Kappa.

En otoño de 1911, Edith se matriculó en la Universidad de Wisconsin como estudiante de Licenciatura en Ingeniería Civil, aunque ya contaba con un título universitario. Su primer año se caracterizó por ser dinámico, perteneció a la hermandad Kappa Kappa Gamma y practicaba tenis a tal punto que ganó un campeonato femenino en categoría de dobles.

En el periodo de verano, Edith tomó un trabajo que cambió su vida, se dedicó a ser “asistente computacional” del Dr. George Campbell en AT&T, Boston. Aunque deseaba regresar a Wisconsin y terminar sus estudios, su trabajo le resultaba tan interesante que decidió quedarse por seis años entrenando y dirigiendo el grupo de computadoras. Eventualmente, Edith se matriculó en el programa de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés) y en 1919 egresa siendo la primera mujer en obtener el título de Maestría en Ingeniería Eléctrica de dicha institución.

### 3. Su vida profesional

Al terminar sus estudios en MIT, Edith se desempeñó en diversas posiciones dentro de la empresa General Electric. Primero comenzó siendo una computadora, literalmente; la empresa contaba con una división femenina dentro del Departamento de Ingeniería de Turbinas en donde Edith entrenaba y supervisaba mujeres que calculaban el estrés mecánico en las turbinas. Mientras trabajaba allí, Edith sometió su primera patente, una calculadora que resolvía cálculos referentes a líneas de transmisión del sistema de potencia.

Frustrada de no ejercer su profesión pidió una licencia en GE para enseñar física en el Constantinople Women’s College en Turquía en 1921. Al regresar a GE en 1922 finalmente obtuvo una posición a tiempo completo como ingeniera eléctrica. En 1923, publica su primer artículo titulado “Calculadora para Líneas de Transmisión” y fue la primera mujer en presentar un artículo en el Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos (AIEE, por sus siglas en inglés ahora IEEE) en 1926. Mientras trabajaba en el Departamento de Ingeniería de la Estación Central de GE en Schenectady, Nueva York, Clarke creó calculadoras para monitorear y predecir el desempeño de líneas de transmisión. En 1928, publicó un artículo en la AIEE en donde extendió el método desarrollado por C. L. Fortescue sobre el uso de circuitos equivalentes simétricos para el análisis de circuitos trifásicos desbalanceados. En su artículo, Clarke extendió el método para analizar dos o más fallas simultáneamente y mencionó que el uso de un analizador de red electromecánico podía ser utilizado eficientemente para resolver esos problemas. En marzo de 1931 presentó ante la AIEE su artículo sobre el método de componentes simétricas cuya discusión fue considerada un avance significativo para la ingeniería de protecciones [5].

En 1931, presentó un artículo ante la AIEE sobre método de componentes simétricas. En su artículo publicado en 1928,.

Por su trabajo recibió por lo menos dos patentes más, una por transmisión de potencia eléctrica en 1927 y otra por un circuito eléctrico en 1944. También publicó un libro de texto en dos volúmenes (1943 y 1950) titulado “Análisis de Circuitos en Sistemas de Potencia de CA” el cual prontamente se convirtió en uno de los libros más utilizados por estudiantes de ingeniería.

Edith se retiró de GE en 1945 y regresó a su pueblo natal en Maryland. En 1946 le ofrecieron un cargo de profesora en la Universidad de Texas en Austin, posición que aceptó,

convirtiéndose en la primera mujer profesora de ingeniería del estado de Texas y quizás del país. Durante ese tiempo, Clarke sirvió también de asesora en el diseño de múltiples represas para hidroeléctricas en el Oeste de Estados Unidos. Al retirarse por segunda vez en 1956 Edith Clarke era reconocida como una autoridad en el área de sistema de potencia.

Sus últimos años Edith Clarke los pasó en su granja familiar en Maryland y falleció en Octubre de 1959 a la edad de 76 años.

### 5. Honores y logros

- Primera mujer en obtener un puesto por sus meritos profesionales en Tau Beta Pi, la más antigua fraternidad de ingenieros eléctricos de Estados Unidos.
- Publicó múltiples artículos en el Transactions de AIEE (ahora IEEE) y el Review de General Electric.
- Ganó dos premios importantes del AIEE, en 1932 el Premio al Mejor Artículo Regional y en 1941 el Premio al Mejor Artículo Nacional.
- En 1948, fue la primera mujer en alcanzar la categoría de Fellow del AIEE.
- En 1954 recibió premiaciones de la Sociedad de Mujeres Ingenieras por sus significativas contribuciones en el campo de la ingeniería eléctrica.
- Aparece en la lista de Quien es Quien en Ingeniería, Mujeres Americanas, Carreras para Mujeres, Mujeres pueden ser Ingenieras y Hombres de Ciencia [6].
- En el 2003, fue inducida en el Salón de la Fama de Mujeres de Maryland.
- En el 2015, fue inducida en el Salón de la Fama de los Inventores por la Calculadora Clarke, uniéndose a inventores como Nikola Tesla y Thomas Edison [7].

### Referencias

- [1] R. Barazarte. “La Batalla de las Corrientes: Edison, Tesla y el nacimiento del sistema de potencia”, Revista Prisma Tecnológico, pp. 51-53, vol. 4, No.1, 2013.
- [2] Edison Tech Center [Online]. Disponible en: <http://www.edisontechcenter.org/Clarke.html>
- [3] D. Bois. Distinguished Women of Past and Present: Edith Clarke, 1996 [Online]. Disponible en: <http://www.distinguishedwomen.com/biographies/clarke.html>
- [4] Maryland State Archives, “Edith Clarke”, Biographical Series: MSA SC 3520-14065, Marzo 9 de 2006. Disponible en: <http://msa.maryland.gov/megafile/msa/speccol/sc3500/sc3520/014000/014065/html/14065bio.html>
- [5] J. Brittain. “Women in Electrical Engineering: Edith Clarke and Power System Stability”, IEEE Industry Applications Magazine, Jan-Feb 2003, pp.9-10.
- [6] T. P. Acosta. “Documentos del General Faculty: En memoria de Edith Clarke”, Universidad de Texas en Austin, Febrero 21, 2001. pp.1144.
- [7] Departamento de Energía de los Estados Unidos de América, “Five Fast Facts About Engineer Edith Clarke”, Marzo 19 del 2015. Disponible en: <http://energy.gov/articles/fivefastfacts-aboutengineeredithclarke>



# Entretenimiento

## SUDOKU

### Instrucciones

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  $3 \times 3$ . Tan solo puedes usar números del 1 al 9.

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

## SUDOKU MODIFICADO

### Objetivo / Reglas

Complete la malla de tal forma que cada fila y cada columna contenga todos los números exactamente una vez.

Los símbolos en la malla indican los vecinos (por eje.,  $1 > 2$ ,  $3 > 4$ ,  $2 > 1$ ).

Regla 1 – si hay un símbolo, los números son vecinos.

Regla 2 – si no hay un símbolo, los números no son vecinos.

2		1			

## FUTOSHIKI

### Objetivo / Reglas

Complete la malla de tal forma que cada fila y cada columna contenga todos los números del 1 al 6 exactamente una vez.

Los símbolos en la malla son signos de “mayor que” y “menor que” (por eje.,  $1 < 4$ ,  $3 > 1$ ,  $3 < 5$ ).

					<	
^	v			^	^	
		>		>		
^	<					
			^	<		
	v			^	v	
	<		>			
			>			2

## MATHEMA GRID

### Instrucciones

Complete la malla con números del 1 al 9, sin repetir los números. Cuando la malla esté completa, todas las operaciones deberán estar correctas.

	+		x		=	36
+		x		+		
	+	3	x		=	14
x		+		-		
	x		-	7	=	65
=		=		=		
45		23		1		