

# Investiga.TEC

Enero de 2020

Año 13. No. 37. ISSN 1659-3383



TEC | Tecnológico  
de Costa Rica

Presentación  
(página 2)

Biotecnología para todos. Proyecto de extensión genera libro de texto para educación secundaria.  
(página 3)

Estudio permitirá conocer impacto del cambio climático sobre cuencas hidrológicas de Costa Rica.  
(página 4)

“El color es una herramienta para comunicarnos”  
(página 6)

Industria 4.0. Transformación digital, un cambio en el que participamos todos.  
(página 11)

INICIA lanza plan piloto de especialización en gestión de economía social y colaborativa.  
(página 14)

Costa Rica lanza al mar 440 toneladas de plástico por día.  
(página 15)

Talleres de Ciencia y Tecnología para niños y jóvenes. Creando competencias STEM en las nuevas generaciones.  
(página 18)

Tecnológico implementa corredores biológicos en sus campus.  
(página 21)

RENACE: fortaleciendo capacidades de los docentes de matemática de la educación secundaria.  
(página 22)

Investiga.TEC es una publicación cuatrimestral de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Editora:  
Marcela Guzmán O.

Comité Editorial:  
Ana Abdelnour E.  
Dagoberto Arias A.  
Marcela Guzmán O.  
Silvia Hidalgo S.  
Miguel Rojas Ch.

Teléfonos:  
(506) 2550-2315 ó  
(506) 2550-2151

Correo electrónico:  
vie-tec@itcr.ac.cr

Apartado postal 159-7050,  
Cartago, Costa Rica

Diseño gráfico:  
María José Montero V.  
Xinia Varela S.

Diseño y Diagramación:  
Punto Elíptico  
Móvil: 8444-6273  
keren.cardoza@gmail.com

# E | color, herramienta de comunicación

Marcela Guzmán O.  
Editora  
maguzman@itcr.ac.cr

En esta primera edición del 2020, Investiga.TEC ofrece a sus lectores algo que **no es usual** en este medio: una entrevista hecha por un académico a otro académico.

El Dr. Ernesto Montero, físico, profesor del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), conversó largamente con su colega catedrático de la Universidad de Granada, Dr. Manuel Melgosa Latorre, sobre un tema que es de interés de ambos: **el color y sus aplicaciones**.

Así, el visitante español, con más de 30 años de investigación en la materia, se refirió a distintos aspectos relacionados con el color, desde su definición básica, pasando por **la importancia del color en la sociedad**, hasta la teoría moderna del color, su medición y la importancia de la colorimetría en la industria.

Ofrecemos también un artículo que da cuenta de la investigación coordinada por el ingeniero Maikel Méndez, del TEC, y que permitirá conocer el **impacto del cambio climático** sobre las cuencas hidrológicas de Costa Rica.

El estudio ha requerido de un arduo trabajo de generación, revisión y comparación de datos y la meta es obtener proyecciones mensuales de cambio climático futuro sobre **tres variables** primordiales: precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial para cada una de las seis regiones climáticas de Costa Rica.

Otro tema de gran relevancia que incluimos en esta ocasión es el que se refiere a la **industria 4.0**, cada vez más presente en las actividades económicas en nuestro país y el mundo.

Para los autores del artículo, profesores de la Escuela de Producción Industrial del TEC, en este cambio participamos todos: se trata de **tecnologías físicas y digitales** que están creciendo juntas. “Modernas tecnologías de la computación, almacenamiento y comunicación se están fusionando con los procesos industriales clásicos para permitir la creación de una **empresa digital** que no solo está interconectada, sino que también es capaz de tomar decisiones inteligentes en forma autónoma”.

**Niñas, niños y jóvenes** son la meta de los talleres de ciencia y tecnología que imparte la Escuela de Ingeniería Electrónica del TEC, con el objetivo de crear en ellos **competencias STEM** (en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas).

Estos conocimientos son cada día más importantes para las nuevas generaciones a fin de que puedan **incorporarse exitosamente** en las actividades productivas de la sociedad, cada vez más tecnificadas.

Les ofrecemos los artículos mencionados, y otros de igual interés, con la esperanza de que sean **de interés** de nuestros lectores.

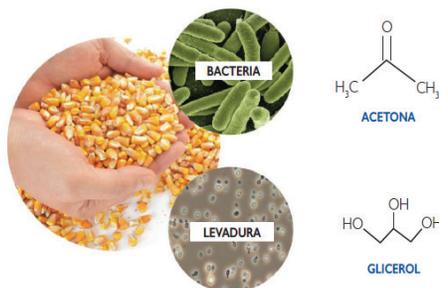
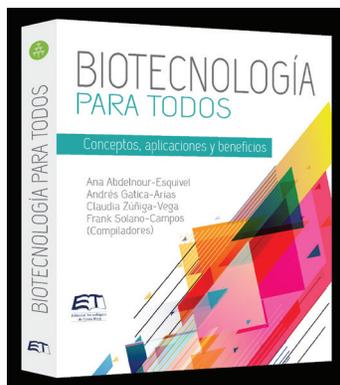
## Fotografía de portada



Corresponde al artículo que ofrecemos en la página 18, sobre los talleres de ciencia y tecnología que imparte el TEC a niños y jóvenes. La gráfica muestra parte de las actividades grupales en los talleres de programación e ingeniería. ■

# Biotecnología para todos

## Proyecto de extensión general de libro de texto para educación secundaria



El proyecto de extensión *Biotecnología para todos: socialización de conceptos, aplicaciones y beneficios*, dio origen a un libro dirigido a profesores y estudiantes de educación secundaria, cuyos estudiantes tendrán un nuevo medio para entender qué es la biotecnología.

Biotecnología es el conjunto de técnicas, procesos y métodos que utilizan organismos vivos para producir una amplia variedad de productos, tales como semillas mejoradas y medicamentos. También se utiliza en el tratamiento de desechos y mejoramiento y protección del ambiente en general.

El objetivo del proyecto era poner al alcance de quienes no son especialistas los conceptos, aplicaciones y beneficios de la biotecnología, especialmente educadores, grupos formadores de opinión y productores de los sectores agropecuario y alimentario, para incrementar la aceptación y aprovechamiento de los procesos biotecnológicos a nivel nacional. El trabajo se desarrolló a lo largo de dos años por medio de charlas, prácticas, demostraciones y discusiones sobre el tema.

Después de ese lapso, los investigadores involucrados dieron origen a un libro que lleva el mismo nombre del proyecto y que está disponible para los interesados por medio de la Editorial Tecnológica de Costa Rica ([editorial.tec.ac.cr](http://editorial.tec.ac.cr)).

El libro *Biotecnología para todos*, que también se puede adquirir en formato digital, consta de 11 capítulos que abarcan las áreas principales de la biotecnología e incluye ejercicios para evaluar los temas estudiados. Los compiladores son los académicos Ana Abdelnour, Andrés Gatica, Claudia Zúñiga y Frank Solano.

El profesor Giovanni Garro, de la Escuela de Biología del TEC, explicó que el libro es una obra didáctica que

contiene información científica muy actualizada. Es una herramienta de trabajo en el quehacer docente para la formación en las diferentes áreas de la biotecnología moderna. Posee secciones de interacción para reforzar el aprendizaje de los conceptos y ayudar en la evaluación de cada uno de los tópicos.

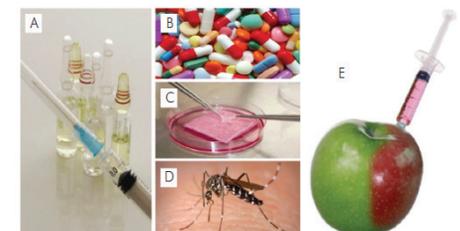
“Inicia con una revisión de conceptos básicos de genética así como de las herramientas de la biología molecular, tales como la técnica de ADN recombinante. Posteriormente introduce al lector en cada una de las áreas de la biotecnología explicando los conceptos y dando ejemplos sencillos y actualizados de las aplicaciones en cada una de las áreas: vegetal, médica, ambiental, industrial y marina. Termina con un capítulo dedicado al tema de la bioseguridad, en el cual se describen los mecanismos y procesos que permiten garantizar la inocuidad y seguridad de los productos desarrollados”.

Agregó el profesor Garro que esta obra ha sido elaborada por especialistas en cada una de las disciplinas de la biotecnología y su enfoque es meramente académico. No posee sesgo ideológico ni político. Muchas de las dudas y mitos de la biotecnología logran ser aclarados en esta obra, con un enfoque meramente académico y objetivo, resaltando las aplicaciones y las oportunidades que tiene la biotecnología como una herramienta de desarrollo.

### Investigadores participantes

La coordinadora general del proyecto, doctora Ana Abdelnour, explicó que el trabajo de extensión fue ejecutado por investigadores del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), la Universidad de Costa Rica (UCR) y la Universidad Nacional (UNA), con fondos

## Extensión



del Sistema CONARE (Consejo Nacional de Rectores). Del TEC participaron, además de Ana Abdelnour, doctora en sistemas de producción agrícola, Giovanni Garro Monge y Claudia Zúñiga Vega, ambos M.Sc. en biología. De la Universidad de Costa Rica, Andrés M. Gatica Arias, doctor en ciencias agrícolas; Marta Valdez Melara, doctora en ciencias naturales; Griselda Arrieta Espinoza, M.Sc. en agronomía. Por la Universidad Nacional, participó Frank Solano Campos, doctor en biología molecular.

### Zonas que cubrió el proyecto

La doctora Abdelnour explicó que asesores regionales y educadores de ciencias y biología de educación secundaria fueron los beneficiarios del proyecto de extensión y, por ende, sus estudiantes.

La capacitación incluyó las regiones Atlántica (Central y Norte), Pacífico (Central y Sur) y la Gran Área Metropolitana; concretamente las provincias de San José, Alajuela, Cartago, Heredia, Guanacaste, Puntarenas y Limón; y los cantones de Santa Cruz, Ciudad Quesada, Limón centro, Puntarenas centro y Buenos Aires.

Adicionalmente los académicos dictaron charlas en la Asamblea Legislativa, dirigidas a diputados y asesores, en el Colegio de Ingenieros Agrónomos y en algunas de sus filiales. ■

### Más información

Dra. Ana Abdelnour ([aabdelnour@itcr.ac.cr](mailto:aabdelnour@itcr.ac.cr))

Dr. Andrés Gatica ([andres.gatica@ucr.ac.cr](mailto:andres.gatica@ucr.ac.cr))

Dr. Frank Solano ([frank.solano.campos@una.cr](mailto:frank.solano.campos@una.cr))

<https://isbn.cloud/9789977664644/biotecnologia-para-todos-conceptos-aplicaciones-y-beneficios/>

# Estudio permitirá conocer impacto del cambio climático sobre cuencas hidrológicas de Costa Rica

- Busca cuantificar efectos sobre cuencas destinadas al abastecimiento de agua potable

Marcela Guzmán O.  
maguzman@itcr.ac.cr

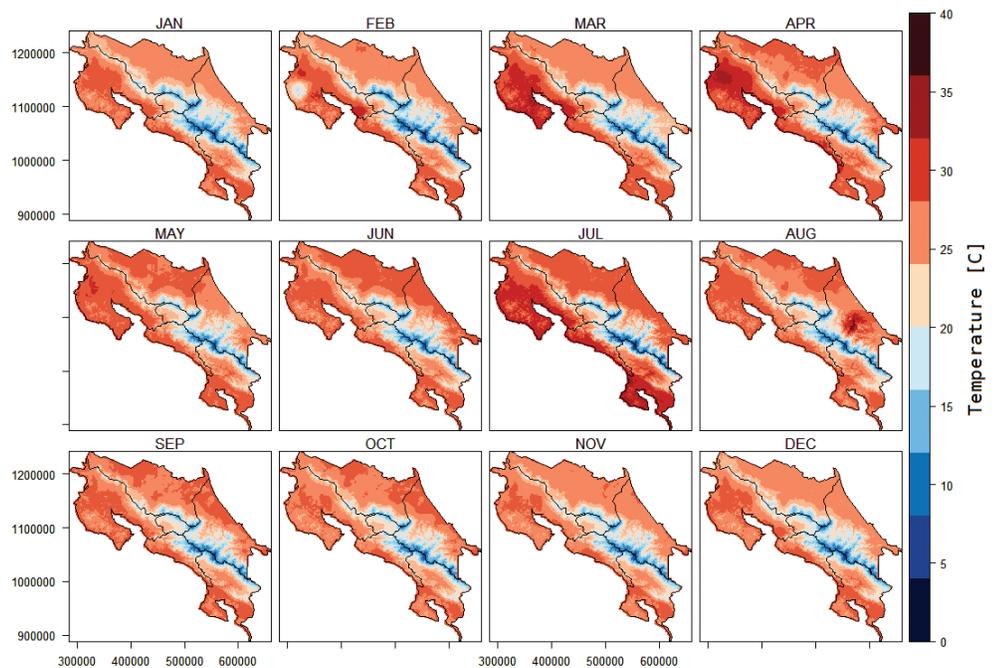


Figure 5. Mean monthly temperature maps for each climatic region of Costa Rica generated by cubist regression (CR) during the period 1950 - 1987

## Palabras clave:

Cambio climático, proyecciones, precipitación, temperatura, evapotranspiración, agua potable, modelos de cambio climático, climatología, corrección de sesgo **GCM, RCM, RCP**.

La obtención de proyecciones mensuales de cambio climático futuro sobre las variables precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial en el país, es el objetivo del estudio denominado *Evaluación del impacto del cambio climático futuro sobre cuencas hidrológicas destinadas al abastecimiento de agua potable en Costa Rica*.

El coordinador de este trabajo, Maikel Méndez Morales, académico del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) en la Escuela de Ingeniería en Construcción, explicó que el estudio se ha desarrollado utilizando la última generación de Modelos de Cambio Climático (CMIP5) del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático de la Organización de Naciones Unidas (IPCC).

Según el investigador, esto implica la utilización de cinco Modelos de Circulación General (*General Circulation Models -GCM-*) de carácter global, cuya baja resolución espacial será aumentada mediante la aplicación de dos Modelos Regionales de Clima (*Regional Climate Models -RCM-*) para llegar finalmente a una resolución de 25 km x 25 km.

El dominio geográfico y numérico sobre el cual se están ejecutando estos modelos se centra en

un área conocida como Intra-Americas-Sea, que incluye Centroamérica, gran parte de México, las islas del Caribe, el sureste de Estados Unidos y parte de Sudamérica.

Lo anterior, con el fin de que el ensamble de modelos GCM-RCM logre reproducir los mecanismos que controlan el clima regional sobre dicho dominio y que afectan igualmente a Costa Rica, entre ellos el Inter-Tropical Convergence Zone, Caribbean Low-Level Jet y Trade Winds and Cold Fronts.

## Proyecciones mensuales

La meta es obtener proyecciones mensuales de cambio climático futuro sobre las tres variables primordiales ya mencionadas: precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial (ET0) para cada una de las seis regiones climáticas de Costa Rica y para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero o RCP (Representative Concentration Pathway) 2.6, 4.5 y 8.5.

Según Méndez, la proyección de estas variables es altamente compleja, tanto desde el punto de vista científico como tecnológico. Lo anterior se debe a que se trata con un sistema natural altamente complejo, caótico, con patrones de clima históricos que deben resolver y satisfacer los balances de masa, energía y *momentum* a un nivel termodinámico para cada uno de los modelos contemplados.

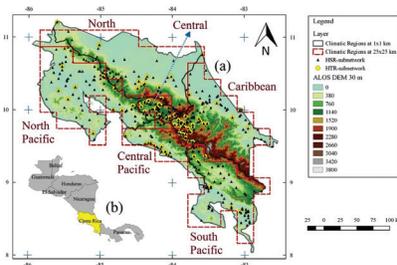
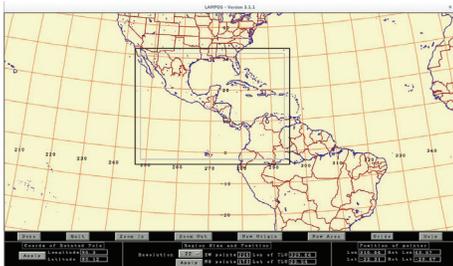
Al mismo tiempo, se trata de un problema de supercomputación, en el cual se corren varios modelos de forma paralela, lo que implica un volumen mayor de trabajo y la optimización numérica de parámetros.

Lo que se hace en principio, explica el investigador, es buscar la representación y reproducción de los patrones temporales de clima pasados por parte de los modelos de cambio climático y compararlos con las series históricas observadas.

Para ello, se requiere la generación de climatología base que represente series históricas espaciales de comportamiento de cada variable meteorológica.

Una vez que se ejecuten los diversos escenarios de cambio climático, estos deben ser ajustados con el fin de minimizar los sesgos (o desviaciones) entre los resultados numéricos y las observaciones históricas. Para ello se utilizan diversas técnicas de corrección de sesgos (*Bias Correction*) con el fin de generar las proyecciones de clima futuro lo más confiables posibles, nuevamente, para cada una de las Regiones Climáticas de Costa Rica.

Los productos que finalmente se generen para cada escenario futuro y RCP se resumen en mapas raster, que pueden ser fácilmente manipulados mediante una plataforma GIS (Geographic Information System) y que se encuentran desde luego en el dominio público, de forma tal que cualquier investigador pueda



tener acceso a tales datos y aplicarlos en su área de interés. Un mapa raster es una matriz de celdas en la que cada celda contiene un valor que representa información, por ejemplo la temperatura. Los mapas raster pueden contener información de diversas fuentes tales como: fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o mapas escaneados. Más específicamente, para efectos de este proyecto los investigadores procederán a calibrar y validar diversos modelos hidrológicos sobre seis cuencas prioritarias para Acueductos y Alcantarillados (AyA): Tempisque, Morote, Barranca, Banano, Bebedero y Rivas-Grande-Térraba.

**Publicaciones**

En primer término, los investigadores dedicaron 18 meses a elaborar una Climatología Base de Precipitación, la cual ya fue publicada (*ver sección de publicaciones*) y que lleva como título “*Generation of Monthly Precipitation Climatologies for Costa Rica Using Irregular Rain-Gauge Observational Networks*”. Los datos y código computacional asociados pueden ser descargados del repositorio GitHub correspondiente: ([https://github.com/maikelonu/Research\\_Precipitation\\_Climatologies\\_Costa\\_Rica](https://github.com/maikelonu/Research_Precipitation_Climatologies_Costa_Rica)).

Recientemente, el ingeniero Méndez presentó el artículo científico “*Comparison performance of machine learning and geostatistical methods for the interpolation of monthly air temperature over Costa Rica*”, en la 2019 International Conference on Resources and Environmental Research (ICRER) [<https://www.icrer18.org>], que se llevó a cabo en la ciudad de Qingdao, China, del 22 al 27 de octubre de 2019 (*ver sección de publicaciones*). Los datos y código computacional asociados pueden ser descargados del repositorio GitHub correspondiente: ([https://github.com/maikelonu/Research\\_Temperature\\_Climatologies\\_Machine\\_Learning](https://github.com/maikelonu/Research_Temperature_Climatologies_Machine_Learning)).

La siguiente publicación se refiere a lo que se conoce como corrección de sesgo o

*Bias Correction* de los modelos de cambio Climático, cuyo propósito es evaluar diferentes métodos y encontrar aquel que maximiza la representatividad de los patrones de clima históricos para cada modelo de clima, cada región climática y cada estación climática. Con todo lo anterior, el país podrá contar con proyecciones de cambio climático futuro para precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial.

**Información de dominio público**

Esta investigación permitirá cuantificar el impacto o anomalía respecto a las climatologías base en términos de la producción hidrológica (balance de masas) de las cuencas hidrológicas clave para AyA. Y esto, finalmente, permitirá proponer esquemas de mitigación, adaptación y manejo de tales cuencas. Potencialmente, los productos de esta investigación, también podrán ser utilizados para cuantificar el impacto del cambio climático futuro sobre sectores claves de la economía del país incluyendo generación eléctrica, agricultura, forestaría, turismo y salud entre otros. ||

**Datos del proyecto**

**Instituciones participantes**

Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), Acueductos y Alcantarillado (AyA), Instituto Meteorológico Nacional (IMN), MetOffice-United Kingdom, y University of Twente, The Netherlands.

**Investigadores**

Maikel Méndez Morales, Escuela de Construcción (TEC).  
Luis Alexander Calvo Valverde, Escuela de Computación (TEC).  
Luis Fernando Alvarado Gamboa (IMN).  
Ben Maathuis, University of Twente, The Netherlands.  
David Hein-Griggs, MetOffice-United Kingdom.

**Beneficiarios**

Sector gubernamental incluyendo ministerios, sector académico y comunidad científica.

**Producción científica**

Artículos publicados:

Mendez, M.; Calvo-Valverde, L.-A.; Maathuis, B.; Alvarado-Gamboa, L.-F. Generation of Monthly Precipitation Climatologies for Costa Rica Using Irregular Rain-Gauge Observational Networks. *Water* 2019, 11, 70. <https://doi.org/10.3390/w11010070>. [https://github.com/maikelonu/Research\\_Precipitation\\_Climatologies\\_Costa\\_Rica](https://github.com/maikelonu/Research_Precipitation_Climatologies_Costa_Rica)

**En prensa**

Mendez, M.; Calvo-Valverde, L.-A. Comparison performance of machine learning and geostatistical methods for the interpolation of monthly air temperature over Costa Rica. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES)* (ISSN: 1755-1315).

<https://iopscience.iop.org/journal/1742-6596/page/Forthcoming%20volumes>

[https://github.com/maikelonu/Research\\_Temperature\\_Climatologies\\_Machine\\_Learning](https://github.com/maikelonu/Research_Temperature_Climatologies_Machine_Learning)

**Periodo de ejecución**

2018-2020 (primera fase)

**Responsable del proyecto**

Ing. Maikel Méndez Morales  
email: [mamendez@itcr.ac.cr](mailto:mamendez@itcr.ac.cr)

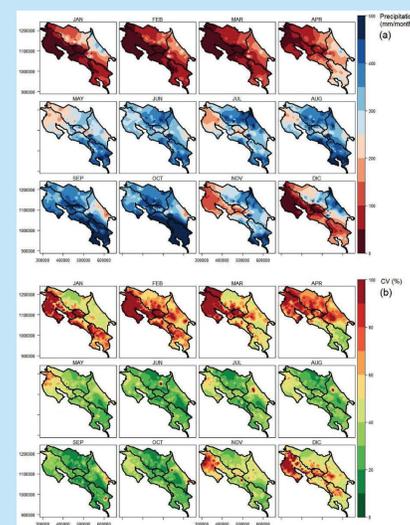


Figure 8. Mean monthly IDW 1x1 km precipitation climatology (a) and monthly coefficient of variation (b) for each climatic region during the period 1961 - 1990.

“**E**l color es una herramienta para comunicarnos”.

Ernesto Montero Zeledón\*  
emontero@itcr.ac.cr



Dr. Manuel Melgosa Latorre.

#### Palabras clave:

Colorimetría científica, color, ciencia del color, imagen en color, teoría del color.

La visita del Dr. Manuel Melgosa Latorre a la Escuela de Física del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) brindó una magnífica oportunidad para aproximarse al poco conocido mundo de la colorimetría científica; quienes asistieron a sus charlas pudieron conocer sus fundamentos y valorar las posibilidades que ofrece la incorporación de este conocimiento en la investigación científica.

Catedrático de Universidad (área de Óptica) en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada, el Dr. Melgosa tiene más de 30 años de experiencia en investigaciones sobre el tema de color y sus aplicaciones.

Su estancia en el Laboratorio de Espectroscopia Molecular, Imágenes y Color (LEMIC) de la Escuela de Física del TEC, también permitió que avanzaran nuevas ideas para los próximos artículos del proyecto de investigación sobre la evolución del color en el proceso de recubrimientos de tabletas farmacéuticas, con el que colabora desde el 2015. Este proyecto se desarrolla en la Escuela de Física con la participación de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Costa Rica (UCR).

*La tienda de las curiosidades sobre el color*, escrito en colaboración con el profesor Mark Fairchild, del Instituto de Tecnología Rochester (EE.UU), es uno de sus trabajos más populares en su faceta como divulgador de la colorimetría, pues allí responde de forma amena diversas preguntas básicas y profundas sobre su especialidad, lo que le valió el Premio a la Divulgación de la Ciencia de la Universidad de Granada en 2012. Quienes compartimos su primera visita académica al país, esperamos que no sea la última.

#### PREGUNTA (P): ¿Qué es el color?

**RESPUESTA (R):** Las preguntas más sencillas tienen respuestas complejas y me parece que esta es la situación de la pregunta que me plantea. Obviamente, todo el mundo tiene una idea intuitiva de lo que es el color, cuando de forma espontánea habla de que algo es azul, rojo, verde, blanco o negro; pero en mi opinión, el color es solo una parte de la percepción visual, y digo una parte porque nuestro sistema visual también percibe la forma o el tamaño, entre otros atributos. El color depende del estímulo nervioso producido en nuestra retina cuando la luz incide sobre ella y por ello, podemos decir que vemos el color con el cerebro.

#### P: ¿Puede un físico estudiar el color?

**R:** La física pretende entender los fenómenos de la naturaleza y sus leyes subyacentes. El color es un fenómeno natural y como tal puede ser estudiado por la física. Sin embargo, pienso que preguntas como qué es la materia, qué es la luz, qué es el color, van más allá del ámbito de la física. La ciencia del color es multidisciplinar y para ser entendida es necesario tener en cuenta la física, la química, la fisiología, la psicología y la sociología, entre otras.

#### P: ¿Cuán importante es el color en nuestra sociedad?

**R:** Se ha dicho que en torno al 90 por ciento de la información que nos llega del mundo que nos rodea lo hace a través del sentido de la vista y una buena parte de esa información la da el color. Las personas con una visión defectiva del color (llamados daltónicos) deben ser conscientes de su limitación y no pueden acceder a profesiones donde una visión correcta del color sea esencial. De hecho, este problema afecta aproximadamente al 8% de los hombres y solo a un 0,5% de las mujeres. Debo mencionar que el daltonismo no se resuelve eficazmente con el uso de

filtros ópticos, como actualmente propone alguna empresa. Por otra parte, en muchas industrias modernas, como la del automóvil o de los textiles, es preciso llevar a cabo un control de calidad del producto fabricado que incluye el control colorimétrico. Actualmente, todo lo que tiene que ver con imagen en color es muy importante. Piénsese en las pantallas de dispositivos fijos y móviles que usamos a diario, en el creciente uso de dispositivos de realidad virtual, en la exactitud de color en las compras por Internet, en la reproducción de imágenes de un monitor en una impresora, en la iluminación de edificios y obras de museos, en el uso del color en diseño y marketing, etc. En todas esas áreas la ciencia del color es una herramienta útil y necesaria.

**P: ¿De qué depende el color de las cosas?**

**R:** En una primera aproximación, en las situaciones más usuales, el color de las cosas depende de tres factores: la fuente de luz que ilumina al objeto, la naturaleza del objeto iluminado y los fotorreceptores de la retina humana (llamados conos), cuyas señales se transmiten al cerebro. Este último factor es el más importante de los tres pues, como hemos dicho previamente, el color es principalmente una percepción humana. Además, puede haber factores adicionales que afectan al color percibido como, por ejemplo, el grado de adaptación previa del observador o el fondo sobre el que se percibe un cierto objeto. Es fácil comprobar que un mismo objeto se ve más claro sobre un fondo negro que sobre un fondo blanco, en particular cuando el tamaño del objeto es mucho menor que el del fondo. Por otra parte, conviene también tener en cuenta que en la naturaleza hay muchas formas de generar colores. El color del arco iris o los colores interferenciales que se observan en algunos animales (mariposas, insectos, plumas de pájaros) son ejemplos de ello.

**P: ¿Se puede decir que el color no es una propiedad de los objetos?**

**R:** Las propiedades de los objetos influyen en el color que presentan al ser iluminados por una fuente de luz, pero no determinan unívocamente el color. Por ejemplo, cuando

decimos que un tomate maduro es rojo, lo decimos porque suponemos que está iluminado por luz blanca (luz día). Como los pigmentos de la superficie del tomate absorben las longitudes de onda cortas y medias (azules y verdes), reflejando solo las largas longitudes de onda, se genera la sensación que llamamos ‘rojo’. Pero si ese tomate se iluminase solo con luz azul se vería negro ya que, como hemos dicho, las longitudes de onda corta (azules) no se reflejan, sino que son absorbidas por los pigmentos de la superficie del tomate. Otro ejemplo bastante evidente respecto a su pregunta es el caso de una pantalla de proyección. Decimos que las pantallas son blancas, pero obviamente su color cambia con la luz que se proyecta sobre ella, por lo que solo podemos decir que “la pantalla es blanca” cuando se ilumina con luz blanca.

**P: ¿Los animales también pueden ver en color?**

**R:** Como explica mi colega el profesor Mark D. Fairchild, la visión animal es algo fascinante de lo que habría mucho que aprender. Muy pocos animales tienen una visión del color semejante a la de los humanos. De hecho, parece que solo unas pocas especies de monos y peces ven el color como nosotros. También es cierto que algunos pájaros e insectos pueden ver más variaciones de color que nosotros. Pero la mayoría de los animales no pueden ver el color tan bien como nosotros, solo ven grises con distintos matices y quizá algún cambio de tono. Muy probablemente, algunos animales como los gatos, los perros y otros mamíferos no pueden ver ningún tipo de color. En cambio, aunque no pueden ver el color, algunos de esos animales ven de noche mucho mejor que nosotros, pues sus ojos son más sensibles que los nuestros. La percepción del color en los humanos está basada en la existencia en nuestra retina de tres tipos de fotorreceptores llamados ‘conos’. Hay especies de pájaros, peces e insectos que tienen más de tres tipos de fotorreceptores. Probablemente la visión del color en la especie humana ha sido una ayuda para su supervivencia, permitiéndonos encontrar comida saludable y madura, compañeros sanos y sexualmente aptos, advertencia de algunos peligros, entre otras.

**P: ¿En nuestra percepción es más importante la forma o el color de las cosas?**

**R:** En el reconocimiento de un objeto cualquiera, además del color, también influye su forma, tamaño, textura, etc. Aunque mi interés científico se centra en el estudio del color, debo reconocer que no siempre el color es el principal atributo de un objeto. Por ejemplo, en el llamado ‘efecto Stroop’ se presenta a un sujeto una lista de nombres de colores de modo que cada nombre está escrito con un color distinto al del nombre del color. Si se le pide a una persona que diga en voz alta la lista de los nombres de los colores, lo hace mucho más rápido que si se le pide que diga los colores de las palabras de la lista. Según esto, podríamos concluir que en este caso la forma es más importante o significativa que el color para el cerebro humano.

**P: ¿Es correcto enseñar teoría del color utilizando el círculo cromático?**

**R:** Los círculos cromáticos se limitan a la propiedad del color más intuitiva y fácil de entender, que denominamos ‘tono’. Es decir, en los círculos cromáticos se consideran normalmente los colores tradicionales del arcoíris, descritos por Newton, más los colores llamados púrpuras que conectan los extremos azul y rojo del espectro visible. A menudo, sobre todo en la formación de pintores y artistas, se han empleado con éxito los círculos cromáticos para describir las leyes de las mezclas de colores, tanto sustractivas como aditivas. No hay ningún problema en usar esta herramienta útil e intuitiva, pero sin olvidar que en realidad el color es (al menos) tridimensional, de modo que en un estímulo de color existen también los atributos de claridad y de croma que, añadidos al tono, constituyen un ente tridimensional que suele denominarse ‘sólido de color’.

**P: ¿Cuán desconocida es la teoría moderna del color?**

**R:** Me parece que la formación que se recibe sobre ‘colorimetría’, la ciencia del color, es escasa. Para la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), la publicación básica sobre colorimetría es la CIE 015:2018, que



resume los temas principales de la teoría del color, también denominada 'colorimetría CIE'. También hay libros de texto que permiten adquirir una buena formación científica en torno a muchos aspectos de la ciencia del color. Respecto al conocimiento sobre ciencia del color, quizá el problema principal reside en que el color es una ciencia amplia y multidisciplinar, por lo que es difícil encontrar materiales que satisfagan simultáneamente las necesidades de un científico, un artista, un ingeniero, un psicólogo o un tecnólogo.

**P: ¿Deberían llevar cursos de colorimetría los físicos y los ingenieros?**

**R:** Cuando yo estudié física en la Universidad de Granada (España), se estudiaba una asignatura troncal de 'Óptica' en el tercer curso de carrera, y la colorimetría era una parte importante de la asignatura optativa 'Ampliación de Óptica', impartida en quinto curso. Desafortunadamente, en la actualidad la colorimetría no está presente en los planes de estudio de física de muchas universidades españolas. Pienso que la formación sobre óptica y colorimetría es muy importante, en especial para físicos, ingenieros (por ejemplo, ingenieros químicos e ingenieros informáticos) y también para

ópticos-optometristas. Es evidente que la cuantificación y tratamiento del color en la industria, así como la resolución de problemas específicos relacionados con la visión humana o con la visión artificial requieren de una cierta formación sobre colorimetría.

**P: ¿Se puede medir el color de forma precisa?**

**R:** Sí. Ciertamente, la especificación del color mediante palabras es bastante imprecisa. Una opción mejor es la especificación del color por comparación visual con colecciones de muestras con notaciones específicas, denominadas 'atlas de color' como, por ejemplo, el atlas Munsell. No obstante, este método también tiene importantes limitaciones, por ser subjetivo y porque el número de muestras disponibles en los atlas es mucho menor que el número de colores discernibles para el ojo humano. Para medir el color con precisión hay que medir la radiación emitida por la muestra y suponer un observador patrón de la CIE, lo que conduce a la obtención de tres números (un vector), llamados valores triestímulo. Como cualquier otra medida relacionada con la luz, la medida física del color es una

medida de una cierta dificultad, aunque existen instrumentos (por ejemplo, los espectrorradiómetros, espectrofotómetros y colorímetros) que la realizan de una forma rápida y no invasiva. Por supuesto, la medición del color debe también incluir la especificación de la correspondiente incertidumbre, como en cualquier otra magnitud física.

**P: ¿Cuáles y cuántos son los atributos del color que deben ser medidos?**

**R:** Suele decirse que el color es una magnitud tridimensional, ya que la medida física de un color se basa en tres números. Sin embargo, recordemos que realmente el color no es una medida física sino más bien una percepción humana. Para describir de forma completa la apariencia de color se necesitan cinco dimensiones o atributos perceptivos: la claridad, el croma y el tono, que se usan para describir los objetos iluminados, más la luminosidad y el colorido, que describen el entorno de iluminación. La luminosidad es nuestra percepción de la cantidad de luz procedente de un estímulo. La claridad es la luminosidad de un estímulo con respecto a la luminosidad de un estímulo que nos parece blanco bajo esa misma iluminación (o sea, la claridad es una luminosidad relativa).

El colorido es nuestra percepción de la cantidad de tono (definido como diferencia respecto a un gris neutro, blanco, o negro) presente en un estímulo. Por su parte, el croma es el colorido de un estímulo respecto a la luminosidad de un estímulo blanco iluminado de la misma manera. Finalmente, el tono es el atributo de la apariencia que a menudo se designa coloquialmente como 'el color' de un estímulo. El tono es simplemente la similitud con rojo, verde, amarillo o azul, que son ejemplos de los principales nombres de tonos.

**P: ¿Hay diferencias entre el color que medimos y el color que vemos?**

**R:** Inicialmente la ciencia del color solo pretendía cuantificar el color, para poder resolver algunos problemas concretos, como el hecho de que dos objetos con distintas reflectancias espectrales puedan verse iguales bajo una cierta luz y diferentes bajo otra (fenómeno denominado 'metamerismo'). De hecho, poder cuantificar y medir instrumentalmente el color de forma continua es ya un logro importante para muchas aplicaciones. Pero la finalidad más profunda de la ciencia del color, en particular de los 'modelos de apariencia del color', es justamente 'medir lo que vemos'. Lograr ese objetivo es un campo de investigación bastante activo en la actualidad. Quizá muchos de ustedes habrán oído hablar de ciertas imágenes ambiguas, como la foto viral del vestido ('the dress'), que para unas personas es azul y negro mientras que para otras es blanco y dorado. Este es un ejemplo de una situación en la que no somos capaces de medir lo que vemos sin que aún sepamos explicar de forma total la causa o las causas por las que sucede.

**P: ¿Es importante medir el color en la vida cotidiana?**

**R:** El color es una herramienta para comunicarnos. Piénsese, por ejemplo, en las señales de tráfico vial, o en el complejo cuadro de mandos de la cabina de un avión moderno. Por tanto, si no se controla con rigor la información de color se pueden producir consecuencias lamentables. Un cambio de color puede ser el indicio más

evidente de que se ha producido una reacción química como, por ejemplo, el deterioro de un alimento para consumo humano. Un cambio de color en el líquido desinfectante de unas lentes de contacto puede ser un indicador efectivo de que dichas lentes están listas para volver a ser usadas de forma segura. Un material termocrómico en el que el color cambia con la temperatura puede ser útil para indicarnos si tenemos fiebre o si una bebida está demasiado caliente para ser consumida. Lograr un color blanco adecuado es muy importante en la ropa que llamamos 'blanca', o en otras aplicaciones como los blanqueamientos dentales. El color es un indicio importante del grado de madurez de una fruta, permitiéndonos conocer el tiempo óptimo para su recolección. También es un elemento esencial de muchos logotipos y símbolos de identidad corporativa de empresas e instituciones, por lo que conviene que esté rigurosamente especificado. En fin, pienso que las aplicaciones del color en nuestra vida ordinaria son muy numerosas y la medida cuantitativa del color es una necesidad en muchos casos.

**P: ¿En cuáles industrias es importante la colorimetría?**

**R:** En la industria de fabricación de envases es importante el control colorimétrico, pues si hay variaciones de color entre los envases de marca expuestos en una estantería, es muy probable que el consumidor desconfíe de la calidad del producto, simplemente por la apariencia heterogénea de sus envases. En la industria textil, la industria de pinturas o la industria cerámica el control colorimétrico es también importante. Al comprar una vivienda, probablemente reclamaríamos si observamos que alguno de los mosaicos de la cocina o del cuarto de baño tiene un color distinto al de los restantes. En la industria del automóvil el control colorimétrico es muy riguroso. Las distintas partes de la carrocería se fabrican en distintos lugares, pero finalmente al ensamblar el vehículo el color de todas las partes debe ser idéntico. En este caso, usar una misma pintura no resuelve el problema, porque los sustratos son diferentes (por ejemplo, el parachoques puede ser de un material diferente al de

las puertas, por motivos de seguridad), y eso hace que el color final aplicando una misma pintura no sea exactamente el mismo. Debido a fluctuaciones difíciles de controlar, generar exactamente el mismo color de producto puede ser muy caro, por lo que en la práctica suele bastar con que en la producción no haya diferencias de color perceptibles para el ojo humano. Es suficiente con que la producción se mantenga dentro de unos límites o tolerancias de color, que deben ser acordados *a priori* entre cliente y fabricante, para evitar reclamaciones y pérdidas económicas. En definitiva, cualquier industria en la que el color sea importante para el producto final debe usar la colorimetría dentro de su control de calidad.

**P: ¿Puede ser de interés la medición del color en la investigación científica?**

**R:** Es un hecho que la medida del color se ha usado ya en investigaciones científicas de muy distinta índole. Puedo poner algunos ejemplos de nuestra propia investigación, que han generado publicaciones en revistas con índice de impacto (colección principal de Web of Science). Hemos elaborado tiras reactivas de un solo uso con las que, mediante análisis colorimétrico, es posible determinar concentraciones de algunos elementos químicos presentes en aguas y bebidas. Hemos estudiado el color de zumos de naranja en conexión con sus contenidos en carotenoides. También hemos estudiado el grado de madurez de uvas mediante análisis colorimétrico de imágenes. Se han establecido relaciones entre el color y la composición química de caolines. Se ha propuesto una medida de blancura de talcos como un indicador de su idoneidad para uso farmacéutico, al estar bien correlacionado con los resultados obtenidos en los análisis de las farmacopeas. Se ha estudiado el color como indicador de la composición química, estado de agregación y grado de humedad de suelos mediterráneos para uso agrícola. Se ha estudiado la variación del contraste facial para algunas barras de labios comerciales, comparando el efecto de las modernas fuentes de luz LED frente a fuentes de luz convencionales. Hemos estudiado el color

de aceites de oliva vírgenes proponiendo una nueva escala para especificarlo y un dispositivo electrónico de bajo coste para su medida. Hemos estudiado la evolución del color en yesterías de tradición islámica al usar distintos materiales en los procesos de restauración arqueológica. En cooperación con investigadores de Costa Rica, hemos realizado un primer análisis del proceso de coloración de comprimidos farmacéuticos por un procedimiento de aspersión aleatoria. En el 2019, la palabra 'color' estuvo en los títulos de más de 3600 artículos publicados en revistas de la colección principal de Web of Science, lo que da una idea de la amplia investigación científica que se realiza actualmente en relación con el color.

**P: ¿Puede la colorimetría fortalecer la investigación aplicada en Costa Rica?**

**R:** Por supuesto. Para mí ha sido una gran satisfacción poder visitar el Laboratorio de Espectroscopia Molecular, Imágenes y Color (LEMIC) de la Escuela de Física del Instituto Tecnológico de Costa Rica, donde cuentan con una buena instrumentación para la medida del color y para el análisis de imágenes de objetos de color (equipo DigiEye). Pienso que sería interesante que esos equipos se usen aún más en el futuro para investigaciones aplicadas, en conexión con los intereses específicos de diversos

grupos de investigación e industrias de Costa Rica.

**P: ¿Qué lo motivó a escribir “La tienda de las curiosidades sobre el color”?**

**R:** Yo solo fui uno de los primeros 'clientes' de '*La tienda de las curiosidades sobre el color*', un apasionante proyecto de estimulación y divulgación del conocimiento científico sobre el color, liderado por el profesor Mark D. Fairchild. Cuando conocí este proyecto, me apasionó la amenidad, precisión y claridad de las respuestas del profesor Fairchild a algunas preguntas sobre el color que él mismo eligió a modo de ejemplo. Rápidamente me animé a responder a su invitación de proponer preguntas que permitieran elaborar materiales para su proyecto. Tras conocer una primera versión de las preguntas y respuestas que se seleccionaron a partir de las sugerencias realizadas por muchas personas, en algún momento al principio del año 2010, pensé que una parte de mi 'pago' por los valiosos 'productos' que yo mismo había adquirido en esta 'tienda' podría ser dedicar un poco de mi tiempo a traducir al español los textos originales en inglés, de modo que el proyecto original de Fairchild fuera bilingüe. No hay que olvidar que actualmente el español es la segunda lengua más hablada del mundo, siendo usada por unos 500 millones de

personas. Durante la escritura del libro intercambié muchos correos electrónicos con el profesor Fairchild, siempre dispuesto a responder a mis preguntas y a atender todas mis modestas sugerencias. Debo añadir que el proyecto de este libro enseguida entusiasmó a los responsables de la Editorial Universidad de Granada, que recabó el apoyo del Parque de las Ciencias de Granada y realizó un excelente trabajo editorial.

**P: ¿Cuál es el futuro de la colorimetría?**

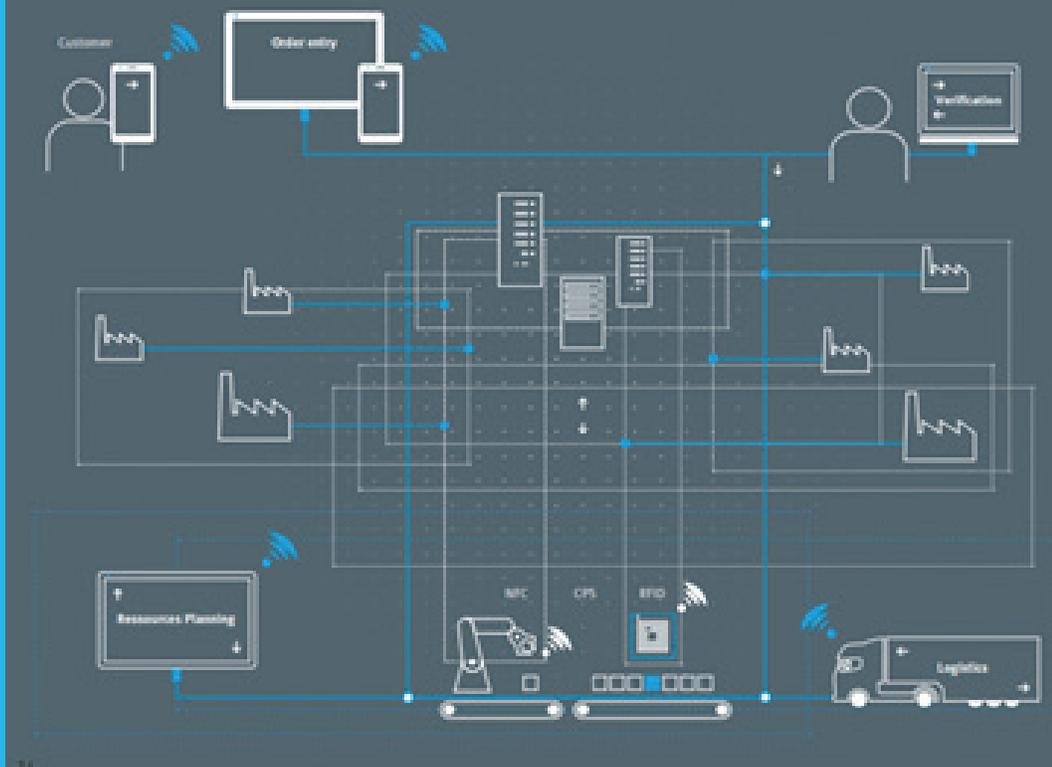
**R:** Hay mucho por hacer, tanto en la investigación que se denomina 'básica' como en el campo de las aplicaciones. En comparación con otras ciencias, la ciencia del color es aún muy joven, pues el primer observador patrón colorimétrico de la CIE se propuso en 1931, hace menos de un siglo. Pienso que veremos nuevos desarrollos de la ciencia del color con una base más fisiológica que los existentes actualmente, lo que permitirá poder medir mejor lo que vemos. ■

\*El doctor Ernesto Montero Zeledón es profesor e investigador de la Escuela de Física del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

# Industria 4.0

## Transformación digital, un cambio en el que participamos todos

**Marcela Meneses-Guzmán\***  
**mameneses@tec.ac.cr**  
**Juan Bautista Hernández-Granados**



Fuente: Festo.

### Palabras clave:

Tecnologías físicas, tecnologías digitales, industria 4.0, transformación digital, sistemas ciber-físicos, cibertización, industria inteligente, cuarta revolución industrial, tecnología inteligente.

Las tecnologías físicas y digitales están creciendo juntas. Modernas tecnologías de la computación, almacenamiento y comunicación se están fusionando con los procesos industriales clásicos para permitir la creación de una empresa digital que no solo está interconectada, sino que también es capaz de tomar decisiones inteligentes en forma autónoma. Estos son los llamados sistemas ciber-físicos (CPS), los cuales trabajan en forma independiente, en conjunto, formando ecosistemas, con servicios remotos de almacenamiento y gestión de datos.

Industria 4.0 es un concepto en evolución, que nace en Europa y es utilizado para discutir justamente este cambio hacia la *cibertización*, una transformación hacia la digitalización; la idea final es lograr fábricas/industrias inteligentes o "Smart Factory", que se adapten rápidamente y en forma autónoma a las necesidades de los mercados. Las funciones y sistemas de comunicación de una industria con estas características

están repartidas entre todos los eslabones de la cadena de la organización, los cuales son flexibles; el producto en sí es parte de toda la red de interacción, como se observa en la siguiente imagen.



Fuente: Festo.

En los Estados Unidos utilizan el término "red de suministro digital" para referirse a este tema, donde el enfoque se centra en una evolución digital holística.

Lo cierto es que Industria 4.0 es la cuarta de una serie de revoluciones industriales; la primera introdujo los equipos mecánicos impulsados por agua y energía de vapor a la industria; la segunda, la producción en masa impulsada por el uso de energía eléctrica y el

concepto de división del trabajo; y la tercera, por la producción automatizada gracias al uso de la electrónica y la informática.

La cuarta revolución se caracteriza por las múltiples formas en que la tecnología conectada se integra con organizaciones, personas y activos para -luego de procesar información- orientar la acción inteligente. El salto de la tercera a la cuarta revolución industrial, por la creciente digitalización

e intercambio de grandes volúmenes de información a través de Internet, es enorme en cuanto a la velocidad, el alcance, el coste y el impacto en los sistemas de trabajo. Por esto es una revolución, por su capacidad para transformar economías, trabajos e incluso la sociedad misma, lo que presenta el reto de cambiar la forma en cómo pensamos, entrenamos y trabajamos usando datos para crear valor a partir de los hallazgos obtenidos mediante tecnologías avanzadas.

La Industria 4.0 normalmente se define con base en tecnologías que conforman lo que se denominaría la *tecnología inteligente*, entre las que destacan:

- **Internet de las Cosas (IoT)**, que se refiere a la interconexión digital de objetos con Internet, permitiendo la descentralización del análisis y la toma de decisiones en tiempo real.
- **Computación en la nube**, que involucra todo tipo de servicios de computación a través de la red permitiendo el intercambio de datos con tiempos de reacción muy cortos. Como resultado, los datos y la funcionalidad de las máquinas se implementarán cada vez más en la nube, permitiendo más servicios basados en datos para los sistemas de producción.
- **Ciberseguridad**. Con el aumento de la conectividad y el uso de protocolos de comunicaciones surge la necesidad de proteger los sistemas industriales críticos y las líneas de fabricación; un ejemplo de esta tecnología es la *blockchain*, o cadena de bloques, que se basa en una serie de registros consensuados distribuidos en varios nodos de una red.
- **Análisis de datos y Big data**. Se refiere a la recopilación y la evaluación integral de datos de muchas fuentes diferentes, como equipos y sistemas de producción, así como sistemas de gestión de empresas y clientes, para apoyar la toma de decisiones en tiempo real.
- **Robots autónomos**, que interactúan, trabajan de manera segura al lado de los humanos y aprenden de ellos.

➤ **Simulación**. En un contexto de operaciones de la planta se usa para reflejar el mundo físico en un modelo virtual que puede incluir máquinas, productos y personas; esto permitirá a los operadores probar y optimizar la configuración de la máquina para el próximo producto en línea en el mundo virtual antes del cambio físico, reduciendo así los tiempos de configuración de la máquina y aumentando la calidad.

➤ **Manufactura aditiva**, como por ejemplo la impresión 3D. Se utiliza principalmente para crear prototipos y producir componentes individuales. Se prevé su utilización para producir lotes pequeños de productos personalizados que ofrecen ventajas de construcción, como diseños complejos y livianos.

➤ **Integración vertical y horizontal**. Se refiere a la integración mediante redes universales de datos entre empresas, departamentos, funciones y tareas que evolucionan y permiten cadenas de valor verdaderamente automatizadas.

### ¿Por qué importa la industria 4.0?

Las nuevas presiones y demandas que trae esta evolución de tecnologías se sienten en todos los niveles de la sociedad, toca todo en nuestra vida diaria; poco a poco evolucionan como sistemas de nodos que conectan el Internet de las cosas con el Internet de las personas y de los servicios. A escala organizacional, por ejemplo, impacta no solo a la cadena de suministro, fabricación y operaciones comerciales, sino a clientes, consumidores, empleados y otras partes del sistema empresarial de todas las industrias y sectores.

### ¿Cómo se logra esta transformación?

La Maestría en Sistemas Modernos de Manufactura de la Escuela de Ingeniería en Producción Industrial del TEC está trabajando con *FestoDidactic* en una serie de talleres de aprendizaje práctico destinado a participantes que desean entender cómo implementar el nuevo modelo de organización y control de la cadena de valor basado en las tecnologías de la información.

En estos talleres, FestoDidactic señala que la estrategia que decidan las organizaciones para la implementación o alineamiento de estas tendencias debe pasar por un proceso de reflexión en forma individual; deben evaluar cómo esta evolución puede afectar a su negocio; qué consecuencias, costes, beneficios y oportunidades les proporcionaría la digitalización de sus productos, servicios y modelo de negocio; deben identificar cuáles tecnologías pueden ayudarles en cada caso a acercarse a sus objetivos y cómo integrarlas a su quehacer.

Recomienda iniciar con la evaluación de la madurez digital de la organización, para entender lo que podría ser factible realizar con los recursos disponibles y qué pasos se deben tomar para construir las capacidades tecnológicas necesarias con estos, frente a los nuevos recursos que podrían necesitar para llegar más allá del alcance actual.

La finalidad de los talleres realizados durante el 2019, y de los que continuarán en el 2020, es entregar una metodología de trabajo que permita dar el primer paso y a su vez motivar a que las organizaciones encuentren su propia definición de industria 4.0, comprendan la utilidad que este enfoque puede tener para su propia empresa y puedan estimar las implicancias financieras de este proceso.

Es importante reconocer que la implementación del enfoque de Industria 4.0 en una organización no está formada necesariamente por nuevas tecnologías emergentes, porque muchas de las tecnologías que puede utilizar existen desde hace años y probablemente están en la empresa; por ello, se debe pensar más en la transición hacia nuevos sistemas contruidos sobre una infraestructura digital. Cada empresa tendrá la necesidad de desarrollar su propia plataforma digital que incluya máquinas, sistemas de automatización y herramientas de software, con la finalidad de explotar los datos recopilados para hacer predicciones útiles. Mediante la planificación de esta transición se decidirá dónde, en qué y cómo invertir en nuevas tecnologías e identificar cuáles podrían satisfacer mejor sus necesidades actuales y futuras. Junto a estos planes de acción deben desarrollarse

las competencias necesarias que aseguren poder alcanzarlos.

### Implicaciones para la universidad

Debido al amplio espectro que la Industria 4.0 considera, su implementación a escala sectorial y de país difícilmente puede ser llevada a cabo en forma individual por las empresas; se necesita de un entorno cooperativo entre organizaciones privadas y públicas, algunas de ellas con capacidad para la organización y cohesión de todos los participantes, pymes innovadoras e investigación conjunta entre empresas y universidades, entre otros. En este contexto, el rol de las universidades es decisivo en la generación de habilidades y capacidades de la formación profesional y de la fuerza laboral en general que el país necesite para enfrentar los retos de esta revolución.

En definitiva, las habilidades que se necesitan -y que son siempre de mayor demanda- son interdisciplinarias, que unan conocimientos clásicos con la automatización, la robótica, las tecnologías de información y las tecnologías de telecomunicación; esto, para mecanizar muchas de las prácticas de negocio asociadas con los aspectos operativos o productivos y la generación de arquitecturas de comunicación, que permitan la integración de estas operaciones, especialmente las que tienen que ver con la

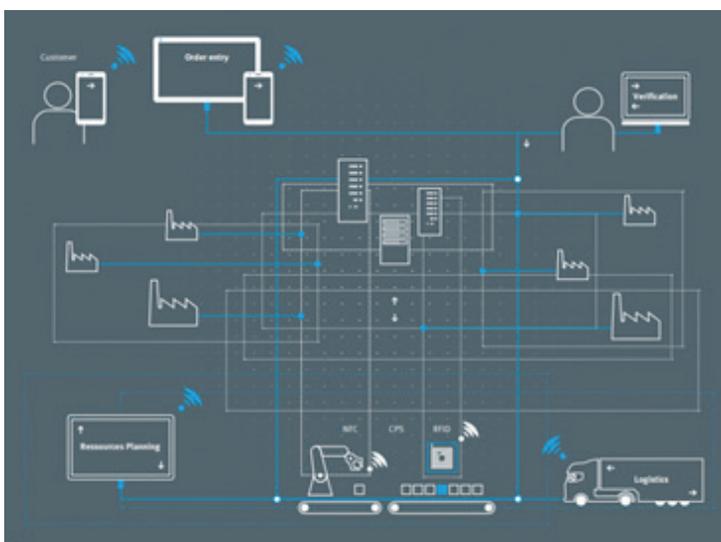
producción, la logística, el inventario, los envíos, los recursos humanos y las finanzas. Sin duda se requerirán científicos de la computación, pero también redes de profesionales en varias disciplinas con capacidades técnicas requeridas, pero además con otro tipo de habilidades blandas como disponibilidad de adaptación a los cambios de trabajo; de comunicación; de trabajo en equipo; trabajo colaborativo; destrezas para el análisis, interpretación y evaluación de datos de los procesos; y entrenamiento y adaptación a entornos complejos, entre otras.

Sin ser exhaustivos, las implicaciones de este tema sobre los planes curriculares de ingeniería sugieren la interdisciplinariedad y flexibilidad; competencias en analítica avanzada, simulación avanzada y modelado virtual de plantas; competencias en ingeniería de computación; habilidades en la interface hombre-máquina; gestión integrada de procesos y de productos, de la gestión de la calidad, optimización de logística y de inventarios; innovación en producción, logística y de negocios; y diseño de manufactura integrada por computador física y virtual, entre otras.

En definitiva, es un gran reto para todos los universitarios, lo que nos obliga a la actualización constante y a la innovación de nuestra metodología de enseñanza. ■

\*Marcela Meneses-Guzmán es profesora e investigadora de la Escuela de Ingeniería en Producción Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC). Tiene un PhD en manufactura y sistemas de producción del Politécnico de Milano en Italia y es máster en economía e ingeniería de la calidad de la Universidad de los Estudios de Florencia en Italia.

Juan Bautista Hernández-Granados es profesor de la Escuela de Ingeniería en Producción Industrial del TEC. Tiene una maestría en sistemas modernos de manufactura y es coordinador de la Maestría en Sistemas Modernos de Manufactura.



Fuente: Festo.



Fuente: Festo.

## NICIA lanza plan piloto de especialización en gestión de economía social y colaborativa



### Palabras clave:

Economía colaborativa, economía social solidaria, emprendimiento, tecnología.

Un plan piloto de formación de especialistas en *Gestión de iniciativas económicas, colaborativas y de economía social solidaria*, lanzó el proyecto INICIA, coordinado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC).

En él participan 19 socios nacionales e internacionales por medio del programa Erasmus+, de la Unión Europea, que financia la actividad. Ver [https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/about\\_es](https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/about_es)

Se trata de una capacitación de 900 horas distribuidas en 14 sesiones, dirigida a personas que trabajan en iniciativas de tipo asociativo en instituciones de gobierno, cooperativas y asadas (asociaciones administradoras de acueductos), y que deseen desarrollar una idea relacionada

con economía colaborativa o economía social.

### El curso

Según información suministrada por las coordinadoras del proyecto Paula Arzadun y Paula Ulloa, funcionarias del TEC, el curso se impartirá por módulos en forma semipresencial entre enero y noviembre del presente año. Para ello se utilizará la plataforma del TEC Digital más una plataforma adicional, especial para el proyecto. El cupo es de 35 personas y los requisitos de entrada son ser mayores de 20 años y manejar entornos virtuales.

La capacitación tiene dos vertientes: una dirigida a la comercialización de productos de economía social solidaria y la otra al modelo de negocios, que incluye gestión de iniciativas y su formalización.

Por otra parte, las coordinadoras informaron que en el mes de octubre, 35 de los

participantes tendrán la oportunidad de viajar a Buenos Aires, Argentina, para realizar una pasantía en el mismo campo. Tanto el viaje como el curso están subvencionados por lo que no tendrán costo para los estudiantes.

El programa de capacitación será impartido por profesores de la Escuela de Administración de Empresas del TEC, todos con amplia experiencia en negocios, especialmente en lo relacionado con emprendimiento y tecnología; además, todos hicieron previamente una capacitación en formación de formadores.

Las funcionarias Arzadun y Ulloa recalcaron que es la primera vez que se da en el país una intención de impulsar la economía social y es precisamente el TEC el que ha acogido la iniciativa, como ente coordinador. Entre los socios del proyecto están también la Universidad Técnica Nacional (UTN), así como universidades de España, Argentina, Francia y Portugal. ■

# C

## osta Rica lanza al mar 440 toneladas de plástico por día

Irina Grajales Navarrete  
igrajales@itcr.ac.cr



### Palabras clave:

Plástico, contaminación, industria del plástico, desechos, ambiente.

Costa Rica es un país pequeño que se distingue por tener el 5% de la biodiversidad del planeta; también es líder a escala mundial, al contar con el 52% de su territorio nacional con cobertura boscosa y, como si fuera poco, se ha puesto la meta de convertirse en el primer país del mundo carbono neutral para el año 2021.

Sin embargo, una investigación periodística realizada por esta comunicadora para el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) señaló que, a pesar de ello, la nación ejemplar por sus políticas de protección del ambiente lanza al mar 440 toneladas de plástico diariamente; es decir, el equivalente a 15 camiones de plástico por día. ¿Cómo ocurre esto?

De acuerdo con el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la industria del plástico es la tercera industria más grande de Costa Rica. “Y no solo eso; también somos el mayor importador de plástico de toda Centroamérica”, afirma Juan Carlos Piñar, representante del PNUD en Costa Rica.

El problema es que la cantidad de plástico que desechamos también es sorprendente. Según el PNUD, Costa Rica desecha por día cerca de 550 toneladas de plástico, las cuales se distribuyen de la siguiente manera: 80% (440 toneladas) se lanza al mar; 11% (60,5 toneladas) queda en botaderos y el ambiente;

y solo el 9% (49,5 toneladas) es reciclado.

“Lo más problemático es que nadie realmente sabe cuánto dura una bolsa de plástico en desintegrarse. Las expectativas o lo que le dicen a usted es que dura 400 años, 500 años, 1000 años. La verdad es que nadie ha hecho un experimento, en el cual se determine que el plástico dura ese tiempo”, señaló Piñar.

Los datos los extrajo el PNUD tras comparar las exportaciones e importaciones de plástico de Costa Rica. Así tras estudiar un informe del Ministerio de Salud, se concluye que el país genera 4 mil toneladas de residuos diariamente, cifras que fueron aportadas de manera exclusiva para esta investigación.

En Costa Rica, los mayores efectos son vistos en playas como Guacalillo, Playa Azul y Tárcoles, que son las zonas de desembocadura de ríos. Justamente, un Informe del Estado la Nación, afirmó que la cuenca del río Grande de Tárcoles es la cuenca más contaminada de toda Centroamérica.

Para la exviceministra de Salud, María Esther Anchía, el efecto de la contaminación por plástico no es solo para el ambiente sino también para la salud. “El plástico contiene algunos químicos que están relacionados con problemas en la reproducción humana, malformaciones genitales, inmunológicos, neurológicos y de desarrollo”, señala.

A pesar de ello, solo en la playa de Guacalillo viven cerca de 200 familias. En su gran mayoría viven del reciclaje y

de los desechos que llegan a la playa. “Por semana recolectamos 15 toneladas entre llantas, zapatos, plástico, refrigeradoras, lavadoras y hasta cilindros de gas. Aquí uno ya no se puede meter a la playa por la contaminación”, puntualizó Víctor Rojas, presidente de la Asociación de Vecinos de Guacalillo.

Este río nace en la Cordillera Volcánica Central. Tiene una longitud de 111 kilómetros y su cuenca hidrográfica cubre un área de 2,1 kilómetros en los que se vierten residuos del Área Metropolitana de San José, donde reside aproximadamente el 50% de la población costarricense.

A escala mundial, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para el 2050 existirán cerca de 12 mil millones de toneladas de desechos plásticos repartidos en vertederos y en los océanos. Así mismo, señala que para esa misma fecha habrá más plástico que peces en el mar.

“Tenemos una situación en la que cinco billones de bolsas de plástico se utilizan cada año y un millón de botellas de plástico son compradas cada minuto. Casi 70%, o más, van al medio ambiente o a vertederos y más de 13 millones llegan al mar cada año”, explica Leo Heileman, representante regional del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente para América Latina y el Caribe (PNUMA).

### Falta regulación

A pesar de los esfuerzos que hace el país por cuidar el ambiente, los expertos concuerdan

# Costa Rica desecha diariamente:

9% de plástico es reciclado

11% (60,5 toneladas) de plástico a los botaderos

80% (440 toneladas) de plástico al mar

Plástico

Fuente: PNUD Costa Rica

en que una de las mayores debilidades es la falta de una ley que regule el uso del plástico. “Ha habido muchos esfuerzos en la Asamblea Legislativa para regular y reducir el consumo del plástico; sin embargo, aún no existe una ley que establezca impuestos o cree prohibiciones”, afirmó la gerente de Incidencia Política de MarViva.

De hecho, una de las propuestas la dio a conocer esta semana la organización *Preserve Planet*, la cual busca presentar un proyecto de ley ante la Asamblea Legislativa, el cual impondría un tributo de ₡100 por cada botella de plástico que se compre.

Mientras tanto, uno de los proyectos que hace fila en el Congreso es una reforma a la Ley para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, la cual busca prohibir la entrega de bolsas gratuitas en los comercios.

El proyecto ya está en el plenario legislativo, tras superar la etapa en Comisión y de ser aprobado, establece un plazo de cinco años para entrar en vigencia.

Otra de las iniciativas busca imponer un impuesto del 40% a las bolsas plásticas desechables con el fin de crear un fondo para la conservación de los mares. El proyecto fue presentado a finales del año anterior y es impulsado por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), el Partido Acción Ciudadana (PAC), el Partido Liberación Nacional, el Frente Amplio y MarViva.

## Acciones

La investigación periodística deja al país al descubierto. Sin embargo, existen una serie de acciones que entidades públicas y privadas proponen para paliar la crisis ambiental.

Entre ellas, un total de 65 instituciones públicas y privadas se han declarado libres del plástico de un solo uso, luego de adoptar de manera oficial la Estrategia Nacional para la Sustitución de Plástico de un Solo Uso. Así lo dio a conocer el PNUD para esta investigación.

El objetivo de esta estrategia es que para el 2021, el 80% de las instituciones públicas, municipalidades y comercios hayan sustituido sus materiales de empaque o embalaje por opciones cuyo impacto ambiental sea menor.

La iniciativa es liderada por el Ministerio de Salud y el MINAE en conjunto con el PNUD.

De acuerdo con el PNUD, ya 23 municipalidades y dos concejos municipales de distrito prohibieron a sus proveedurías comprar plástico de un solo uso.

Los ayuntamientos involucrados son: La Unión, El Guarco, Cartago, Turrialba, Oreamuno, Jiménez, Paraíso, Alvarado, Goicochea, Garabito, Aserri, Desamparados, Moravia, Tibás, Alajuela, San Carlos, San Isidro, Santo Domingo, San Pablo, San Rafael, Barva, Flores y Santa Bárbara. Los concejos municipales de distrito son Cervantes y Cóbano.

Además, 10 instituciones públicas, entre ellas el Tecnológico de Costa Rica, el Ministerio de Cultura y Juventud, el Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto y el Grupo ICE.

“En relación con las empresas privadas, su interés en ayudar al ambiente ha sido magnífico. Hoy, más de 30 empresas privadas ya se han comprometido con la Estrategia

Nacional y esta cantidad crece día a día”, señaló Kifah Sasa, Oficial de Desarrollo Sostenible y Resiliencia del PNUD Costa Rica.

Estos datos no contemplan la última directriz firmada por el presidente de la República, Carlos Alvarado, el pasado 5 de junio. En ella ordena al Ministerio de Educación Pública (MEP), a la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS) y al Ministerio de Justicia y Paz, abstenerse de comprar, usar y consumir productos plásticos de un solo uso, incluyendo el estereofón.

Así mismo, busca que todas las entidades públicas trabajen en campañas de educación y sensibilización sobre el daño ambiental que provoca el uso de plásticos de un solo uso. “Si se aplica la directriz, podríamos decir que estamos llegando casi a las 100 instituciones públicas que se unirían a la Estrategia”, agregó entusiasmado el Oficial de Desarrollo Sostenible y Resiliencia del PNUD Costa Rica.

## Acciones del TEC

Entre las buenas prácticas también se incluye al Tecnológico de Costa Rica, la primera universidad pública en el país en declararse libre del plástico de un solo uso.

Así lo dio a conocer el PNUD Costa Rica, ente coordinador de la Estrategia Nacional para la Sustitución de Plásticos de un Solo Uso por alternativas renovables y compostables.

“Agradecemos a los diferentes centros de educación que se han sumado a la Estrategia Nacional, especialmente al Tecnológico de Costa Rica, primera universidad pública en emitir una directriz institucional para la

sustitución del plástico de un solo uso en sus diferentes sedes”, afirmó Kifah Sasa.

El Oficial de Desarrollo Sostenible también agregó que los “centros educativos son fundamentales en términos de sensibilización y educación para promover generaciones comprometidas con la justicia social, los derechos humanos y la responsabilidad ambiental, sobre todo ante el panorama de adaptación y resiliencia al cambio climático”. El acuerdo del TEC fue tomado en la sesión del Consejo Institucional 3040, del 29 de septiembre de 2017. En él se declararon todas las sedes y centros académicos, espacios libres de plástico.

Entre ellos se prohibió la compra, comercialización y uso de pajillas, removedores para café, envases para batidos, cápsulas para comida, bolsas plásticas, vajillas desechables, tapas para vasos, envolturas, cubiertos y botellas, incluyendo productos hechos de estereofón.

El mismo acuerdo ordenó a la administración crear un reglamento que regulara esta decisión, y recalcó que esta medida aplica para todas las actividades, tanto internas como de promoción externa.

“Nos unimos a esta estrategia tan importante porque somos una universidad

comprometida con el ambiente. Nosotros reflejamos esto en las políticas generales, en el plan estratégico de desarrollo y en todos nuestros ejes del conocimiento”, aseveró el entonces rector del Tecnológico, Julio César Calvo.

Sin embargo, unirse a la Estrategia Nacional para contribuir con el ambiente no es una novedad para esta Casa de Enseñanza.

En la actualidad, la institución tiene estrategias para el reciclaje. Así mismo, “estamos fomentando la biodiversidad. Por ejemplo, en el Campus Tecnológico Local San Carlos y en el Campus Central Cartago pronto van a tener un diseño de implementación de corredores biológicos. De igual manera vamos a tener un parque solar, inicialmente en el campus de Cartago, para generar energías limpias para nuestro propio uso”, agregó el Exrector.

En el caso de otras universidades estatales, el PNUD dio a conocer que la Universidad de Costa Rica (UCR) se declaró libre del plástico de un solo uso el 16 de enero de 2018, mediante la circular VRA-1-2018. La Universidad Estatal a Distancia (UNED) y la Universidad Técnica Nacional (UTN) están en proceso de declaratoria.

Kifah Sasa explicó que cuando una institución se declara libre del plástico de un solo uso le está diciendo al país que se une a la Estrategia Nacional para la Sustitución del Plástico de un Solo Uso, y el documento oficial es subido al sitio oficial de la Estrategia.

Por su parte la Universidad Nacional (UNA), en la sesión ordinaria N. 03-2017, por el momento prohibió el uso de pajillas, removedores y empaques plásticos en los servicios de alimentación.

“Estamos convencidos que a través del trabajo conjunto podemos convertir a Costa Rica en una zona libre de plástico, por lo que necesitamos que los actores sociales, económicos y gubernamentales se comprometan a garantizar acciones para sustituir el plástico de un solo uso”, puntualizó Sasa. ■

1. La fotografía de la playa es cortesía del PNUD, Costa Rica.
2. Las fotografías del botadero son de la fotógrafa Ruth Garita.
3. El gráfico es de la diseñadora María Quesada.
4. La foto del camión es de María Quesada.



# Talleres de Ciencia y Tecnología para niños y jóvenes

## Creando competencias STEM en las nuevas generaciones

Grettel Trejos Salas<sup>1</sup>  
Renato Rimolo Donadio<sup>1</sup>



Figura 1. Grupo de estudiantes en la graduación de uno de los talleres de ciencia y tecnología. Los acompañan los instructores Daniel León y Sofía Cortés.

### Palabras clave:

STEM, ciencia, tecnología, ingeniería, matemática, habilidades, competencias, ventaja competitiva, constructivismo.

Competencias en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, frecuentemente acuñadas bajo el acrónimo STEM (del inglés *science, technology, engineering and mathematics*), se tornan cada vez más relevantes debido a la tecnificación generalizada de las actividades humanas y productivas. Fomentar el gusto y el desarrollo de habilidades en estos campos desde edades tempranas se considera un aspecto muy relevante en el proceso de formación de las nuevas generaciones. Así como hoy en día se fomenta de manera generalizada el aprendizaje temprano de una segunda lengua, las competencias STEM se tornan cada día más relevantes y se consolidan como una herramienta fundamental para procurar una incorporación futura exitosa de las personas en las actividades productivas de la sociedad.

Aunque frecuentemente se tiende a pensar que estas competencias son solo importantes para personas que deseen finalmente dedicarse a estos campos, las habilidades STEM son positivas en prácticamente todos los campos del conocimiento. Por ejemplo, un abogado que posea habilidades STEM

está en mejor capacidad de incorporar tecnología en sus actividades y dar un valor agregado a sus clientes con la utilización de plataformas digitales, minería de datos y servicios en línea, que serían más difíciles de comprender y adaptar para un profesional que no tiene esas habilidades.

De forma semejante, un emprendedor que tenga habilidades STEM podría generar más fácilmente ideas de negocio que estén enlazadas con las capacidades tecnológicas modernas, lo que presupone una ventaja competitiva importante.

### Talleres

En este contexto, el Programa de Actualización Profesional y Educación Continua de la Escuela de Ingeniería en Electrónica del TEC, en colaboración con la Fundación Tecnológica, desde el 2017 ha venido ofreciendo talleres de Ciencia y Tecnología dirigidos a niños y jóvenes, como un apoyo al sistema de educación formal en la creación de competencias STEM.

La metodología de los cursos se basa en un acercamiento constructivista en el cual se brinda una pequeña introducción sobre los conceptos a estudiar, para que luego los estudiantes resuelvan un problema a través de la construcción de un modelo con los *kits* de aprendizaje. Finalmente, la sesión cierra con una discusión sobre lo que lograron, reforzando los conceptos aprendidos.

Los cursos responden a un currículo estructurado y son impartidos por estudiantes avanzados de las carreras de Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica, quienes a la vez que instruyen a los niños, desarrollan experiencia docente y habilidades de expresión oral, planeación de clases y manejo de grupos. A la fecha han participado en el programa más de una docena de estudiantes de grado y posgrado, incluyendo a los estudiantes: Karina Aguilar Quirós, Alejandra Artal Godínez, Alejandro Navares Luis, Daniel León Gamboa, Marco Oviedo Hernández, Joel Alpízar Castillo, María Laura Aguilar González, Sofía Cortés Muñoz, Isela Aley de la Hoz, Leonardo Castro Vindas, Andrés Quesada Martínez, José Campos Araya y Santiago López Rojas.

### Módulos

Actualmente se cuenta con tres módulos de cursos dirigidos a niños y jóvenes: principios de ingeniería, principios de programación y principios de electrónica. Los cursos se han diseñado para ser impartidos en periodos bimestrales (ocho semanas), en sesiones de 90 minutos semanales, para un total de 12 horas de clase por curso.

En las sesiones se utilizan las plataformas *EV3 de Lego Education* y en el programa de Electrónica la plataforma *Arduino*. Adicionalmente, estos mismos cursos



Figura 2. Estudiantes del programa resolviendo prácticas de programación e ingeniería.

se imparten en modalidad intensiva en periodos de vacaciones, donde se completa cada curso en una semana. Los talleres de ingeniería y los talleres de programación constan de cuatro niveles cada uno, mientras que el de electrónica consta de tres niveles. Cada bimestre el estudiante aprende nuevos temas a la vez que se va aumentando la profundidad en el tratamiento de los temas y la complejidad de los modelos. -

### Principios de ingeniería

En el caso de los cursos de principios de ingeniería se cubren conceptos básicos de la física, presentados de una manera sencilla y aplicada, ejemplificados por medio de modelos físicos programables. Se cubren temas asociados con definiciones y leyes físicas fundamentales, así como aplicaciones y sistemas básicos. La temática de los cursos cubre:

- **Sistemas en ingeniería:** solución de problemas y ejemplos de aplicación, sensores, actuadores.
- **Definiciones y principios físicos:** fuerza, masa, gravedad, peso, velocidad, inercia, aceleración, energía, leyes de Newton, movimiento lineal y angular, conservación de la energía, movimiento oscilatorio, Ley de Hooke, principio de Bernoulli, electromagnetismo, ondas.

- **Máquinas simples:** rueda y eje, plano inclinado, tornillo, palanca, poleas y engranajes.
- **Sistemas mecánicos:** transmisión de velocidad y potencia, sistemas de engranaje, seguimiento de trayectorias, movimiento elástico.
- **Aplicaciones:** generación de energía de fuentes renovables, principio de radar, óptica, redes de comunicación.

### Programación

Para el módulo de programación se enseñan conceptos fundamentales de algoritmos mediante un lenguaje de programación gráfico en el que se interacciona con dispositivos físicos, sensores y actuadores. Los contenidos se centran en:

- **Programación de algoritmos:** solución de problemas, planificación, diagramas de flujo, pseudocódigo.
- **Elementos y estructuras de programación:** variables, arreglos, listas, cálculos, estructuras condicionales, ciclos, funciones.
- **Evaluación y validación de programas:** evaluación y optimización de código, modificación y validación, documentación de programas.
- **Aplicaciones:** manejo de entrada/salida, sensores y actuadores, comunicación y redes de datos, programación

paralela, solución de problemas con programación, sistemas robóticos.

### Principios de electrónica

Recientemente se han agregado los talleres de principios de electrónica, en los cuales se instruye a jóvenes en fundamentos de sistemas electrónicos modernos. En estos cursos se cubre:

- **Fundamentos y medición de variables eléctricas:** señales, voltaje, corriente, resistencia, potencia, circuitos eléctricos, multímetros.
- **Dispositivos electrónicos:** resistencias, capacitores, inductores, transistores, diodos, interruptores, sensores.
- **Sistemas de computadoras y adquisición de datos:** sistemas embebidos, señales digitales, manejo de memoria e I/O, comunicación, interfaces humanas, digitalización de señales.
- **Aplicaciones:** manejo y control de sensores de temperatura, humedad, luz, sonido y redes de comunicación, entre otros.

Además del contenido técnico, se debe rescatar que, como ejes transversales, los talleres fomentan el desarrollo de otras habilidades blandas: la creatividad, el pensamiento lógico-matemático,

resolución de problemas, trabajo en equipo y habilidades sociales; además, crean en los participantes un sentido de realización al poder resolver tareas complejas que les permiten comprender mejor su entorno. A la fecha se han atendido unos 250 participantes y al finalizar el 2019 se habrán tenido los primeros graduados de módulos completos. La realimentación recibida por los participantes, sus padres, madres e instructores, ha sido muy positiva y apuntan de manera clara a calificar los talleres como una experiencia muy enriquecedora.

Como gestores y coordinadores de este programa creemos firmemente que esta iniciativa está contribuyendo a crear intereses y habilidades positivas en las nuevas generaciones, quienes quizá -además- se conviertan en nuestros estudiantes universitarios a futuro.

Si bien niños y jóvenes están hoy en día expuestos a la tecnología de una forma natural, esta interacción no siempre es constructiva. Con estos talleres se busca dirigir y enfocar los avances en áreas STEM en beneficio de los niños y jóvenes,

para contribuir a una formación integral y orientada a potenciar sus habilidades naturales. ■

Para más información se puede consultar el sitio web del programa:

<https://www.tec.ac.cr/en/principios-ingenieria-principios-programacion-ninos-jovenes>



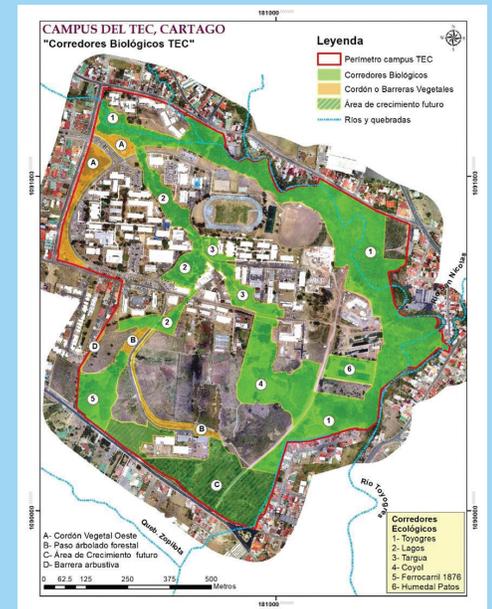
Figura 3. Actividades grupales durante la ejecución de los talleres de programación e ingeniería.



Figura 4. Actividad en grupo avanzado de programación, en el que se programan manos robóticas para tocar un piano eléctrico.

# Tecnológico implementa corredores biológicos en sus campus

• Es la primera universidad en la región que lo hace



## Palabras clave:

Corredor biológico, paisajismo, conservación, recursos naturales, vida silvestre, servicios ecosistémicos.

Desde el 2016, la Rectoría del TEC ha impulsado el paisajismo y el establecimiento de una red de corredores biológicos en el Campus Tecnológico Central Cartago y en el Campus Tecnológico Local San Carlos.

Según el exrector Julio Calvo, los objetivos principales de esta iniciativa han sido dos: “desarrollar un paisajismo agradable para el ambiente universitario y para la conservación, con un bajo costo de mantenimiento; y delimitar y restaurar una red de corredores biológicos para contribuir con la conservación de los recursos naturales, la vida silvestre del valle de El Guarco y la restauración de los servicios ecosistémicos.

Dentro de los nuevos planes maestros para ambos campus, se han incluido los proyectos de corredores biológicos, que se enmarcan en las tendencias de corredores biológicos interurbanos. Un corredor biológico “es un territorio continental, marino-costero e insular delimitado, cuyo fin primordial es proporcionar conectividad entre áreas silvestres protegidas, así como entre paisajes, ecosistemas y hábitats, naturales o modificados, sean rurales o urbanos, para asegurar el mantenimiento de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, proporcionando espacios de concertación social para promover la inversión en la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales”.

## Intervenciones

Por estas razones se han venido realizando intervenciones en el paisajismo de varios sectores de impacto dentro del campus de Cartago; a partir del 2019 se inició la restauración de tres sectores dentro de la red de corredores biológicos del TEC, mediante la siembra de especies arbóreas de importancia para la conservación y el paisajismo.

De acuerdo con Vladimir Jiménez, de la Escuela de Ingeniería Forestal, “estas especies son clave para la atracción de aves, mamíferos e insectos, por su follaje, frutos y flores, lo que crea las condiciones para restablecer un hábitat apropiado para su permanencia temporal o fija”.

Del total de 88,5 hectáreas del campus de Cartago, explicó el Exrector, casi un 32% está ahora bajo una zonificación de conservación/protección; es decir, su uso tiene restricciones para el desarrollo de actividades antrópicas que no sean debidamente reguladas. Muchas de las áreas conservadas incluyen nacientes de agua, humedales y orillas de ríos. No obstante, también se incluyeron algunas áreas urbanizables como Los Corredores, El Coyol, Ferrocarril 1876 y el humedal Patos, que son áreas necesarias para garantizar la conectividad estructural y funcional de todo el proyecto.

Entre los meses de abril y octubre del presente año se han realizado varias campañas de siembra de árboles en diferentes sectores de la red de corredores, con participación de las Oficinas Ambientalmente Conscientes de GASEL (Gestión Ambiental y Seguridad Laboral), varias asociaciones de estudiantes y voluntarios

externos. En total se han plantado 1266 árboles (sectores Lagos, El Coyol y Ferrocarril 1876) para un total de 2 hectáreas de restauración.

Dado que el TEC es la primera universidad en desarrollar un proyecto de esta envergadura a nivel regional, el 2 noviembre anterior sus gestores recibieron a un grupo de participantes del “Primer Simposio Internacional de Corredores Biológicos Interurbanos”, organizado por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC-MINAE) y la Universidad Nacional (UNA).

Finalmente, hay que destacar que la red de corredores biológicos del campus central del TEC forma parte integral del corredor biológico COBRI SURAC de la provincia de Cartago, que a su vez es parte del Programa Nacional de Corredores Biológicos que impulsa el SINAC. Estas acciones van a continuar en los próximos años con el apoyo de unidades del TEC como GASEL, la Escuela de Ingeniería Forestal, el Departamento de Administración de Mantenimiento, la Oficina de Ingeniería y la Vicerrectoría de Administración. ■



# R ENACE: fortaleciendo capacidades de los docentes de matemática de la educación secundaria

Zuleyka Suárez Valdés-Ayala\*

zsuarez@tec.ac.cr

Luis Gerardo Meza Cascante

Evelyn Agüero Calvo

Carlos Monge Madriz

*El Instituto Tecnológico de Costa Rica, en lo que le corresponda, tiene un compromiso con el mejoramiento del sector educativo nacional en todos sus niveles.*

*(Modelo Académico del TEC aprobado en el III Congreso Institucional).*

Palabras clave: enseñanza de la matemática, formación de docentes, estrategia didáctica, innovación tecnológica, estadística, probabilidad, geometría analítica.

El proyecto **RENACE**<sup>1</sup> se formuló y desarrolló en la Escuela de Matemática del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) en el año 2019, como proyecto de extensión formalmente aprobado por el Consejo de Investigación y Extensión, para dar continuidad a los hallazgos del proyecto de investigación REMEYC<sup>2</sup>. Este proyecto develó la necesidad de mejorar la formación de los docentes de matemática de la educación secundaria, tanto en el campo disciplinar como en el pedagógico y en el uso de tecnologías en los procesos educativos.

El objetivo general de RENACE fue “Actualizar, capacitar y formar a docentes de matemática en estrategias didácticas, contenidos matemáticos e innovaciones tecnológicas”. El proyecto se ejecutó con la participación de docentes de las regiones educativas de Turrialba y Cartago y de un grupo de docentes graduados de la carrera de Enseñanza de la Matemática con Entornos Tecnológicos (MATEC).

1 **RENACE**: Capacitación, actualización y formación de profesores de matemática de la educación media en el contexto de los programas aprobados en el 2012 por el Consejo Superior de Educación. Desarrollado durante 2019.

2 **REMEYC**: Reforma de la Educación Matemática en Costa Rica: Evaluación de avance a tres años de aplicación y sistemas de creencias de los profesores sobre la reforma. Desarrollado en el 2016 y el 2017 con aprobación de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE), bajo el código 1440030, por el Dr. Luis Gerardo Meza Cascante, la Dra. Zuleyka Suárez Valdés-Ayala y la Dra. Evelyn Agüero Calvo.



Como estrategia operativa se desarrolló una combinatoria de sesiones presenciales en el campus central del TEC y de talleres virtuales, para un total de 16 talleres con cada grupo de docentes. En total se capacitaron 37 docentes.

Los temas atendidos versaron sobre metodologías didácticas activas, estadística, probabilidad y geometría analítica, cada uno impartido a cuatro grupos de docentes, dos grupos en el primer semestre y dos en el segundo, con el fin de fortalecer sus capacidades para enfrentar de mejor manera los desafíos que les plantea el programa de matemática vigente aprobado por el Consejo Superior de Educación en el año 2012.

Los talleres, tanto en forma presencial como virtual, se desarrollaron siguiendo la estructura que se presenta a continuación.

Como productos obtenidos, podemos mencionar los proyectos formulados por los docentes participantes en cada uno de los talleres realizados y videos y fotos que evidencian el uso de lo aprendido en sus propias lecciones. Adicionalmente, el equipo de extensionistas está elaborando un folleto en formato digital que sistematiza la experiencia desarrollada y que recopila las mejores propuestas de actividades/proyectos formuladas por los docentes participantes en los talleres, para ponerlas al servicio de otros docentes y así extender el impacto del proyecto.

A continuación, se muestran dos fotos de los talleres desarrollados y se adjuntan dos ejemplos de problemas redactados por docentes como

## Talleres de Estadística

- Explicación de temas, según el programa de matemática vigente del Ministerio de Educación Pública (MEP).
- Redacción de un problema introductorio contextualizado, que no requiera del uso de tecnología en su resolución.
- Redacción de un problema contextualizado, que requiera del uso de tecnología en su resolución.
- Realización de ejercicios de práctica.
- Explicación de cómo desarrollar un concepto estadístico mediante un problema contextualizado usando material audiovisual.
- Análisis de cómo relacionar los temas de estudios sociales, economía y geografía con la estadística.

## Talleres de Probabilidad

- Explicación de temas, según el programa de matemática vigente del MEP.
- Estudio de aspectos teóricos, de ejemplos aplicados y de problemas; se realizan recomendaciones metodológicas para el abordaje de los temas en secundaria.
- Lectura de los artículos: “¿Enseñar probabilidad en primaria y secundaria? ¿Para qué y por qué?”; “Haciendo matemática: Aprender probabilidades jugando torneos con dados a papel, piedra o tijera”; “Internet para trabajar la probabilidad”; y “Elementos clave de la cultura estadística en el análisis de la información basada en datos”.
- Redacción de un problema contextualizado introductorio, que no requiera uso de tecnología en la solución.
- Redacción de un problema introductorio contextualizado o guía didáctica, que requiera del uso de tecnología en su resolución.
- Formulación de un problema de probabilidad en el cual se pueda utilizar un juego de mesa seleccionado.

### Talleres de metodologías activas

- Explicación de tres metodologías para mejorar el aprendizaje en el aula: *Team based learning*, *Peer tutoring* y *Just in time teaching*.
- Lectura del artículo “Elementos esenciales del aprendizaje basado en equipos”.
- Uso de Socrative y de cuestionarios Google para poner en práctica *Peer tutoring* y *Just in time teaching*.
- Tutoriales para mejorar la enseñanza. Muestra de tutoriales filmados y su uso a través de *Screencast*.
- Diseño de un tutorial, un Socrative o app similar y un cuestionario Google con temas que permitan evaluar en el aula y trabajar con el manejo del error.
- Resolución de problemas y trabajo con metodologías que mejoran el aprendizaje de conceptos matemáticos.
- Presentación de evidencias de la puesta en práctica en el aula de lo aprendido.

### Talleres de Geometría Analítica

- Explicación de temas según programa de matemáticas vigente del MEP.
- Reflexión sobre las posibilidades reales de desarrollar esos contenidos en la educación secundaria.
- Resolución de ejercicios propuestos para cada uno de los temas estudiados.
- Lectura del artículo “Aplicaciones de la geometría del doblado de papel a las secciones cónicas”.
- Elaboración de un problema contextualizado en temas de geometría analítica.
- Desarrollar, mediante doblado de papel, al menos un ejemplar de una circunferencia, una elipse, una parábola y una hipérbola.
- Diseño de una guía de trabajo para que los estudiantes desarrollen una actividad de generación de cónicas mediante doblado de papel.
- Discusión del concepto de geometría axial y desarrollo de actividades didácticas usando GeoGebra.
- Realización de ejercicios de práctica.
- Uso de la “fotografía matemática” en la enseñanza de temas de geometría analítica en la educación secundaria.

producto de su participación en el proyecto RENACE.

Un aspecto a destacar es la participación de estudiantes de MATEC, quienes acudieron en forma voluntaria a capacitarse en estas áreas, colaborar como asistentes en el desarrollo de algunas actividades y, en general, enriquecer su formación para la docencia en matemática.

**Problema confeccionado por la profesora Adriana González**

**Nivel:** octavo año

**Tema:** Definición clásica de probabilidad (Regla de Laplace)



**Habilidad a desarrollar:** Determinar la probabilidad de un evento como la razón entre un número de resultados favorables entre el total de resultados.

Enunciado del problema: En el colegio se acerca la celebración del día del niño, siempre se hacen actividades que involucren juegos tradicionales y como parte de las actividades se ha montado una feria. Cuando un estudiante participa y gana un juego, debe girar la ruleta para reclamar su premio.

Marcelo, después de haber ganado el juego de los dardos se acerca a la ruleta y debe girarla.

Según las indicaciones de la ruleta en la figura adjunta, responda a las interrogantes:

1. ¿Cuántas divisiones tiene en total la ruleta?
2. ¿Cuál es la probabilidad de hacer girar la ruleta y obtener por premio un algodón de azúcar?
3. ¿Cuál es la probabilidad de hacer girar la ruleta y obtener por premio un helado?
4. ¿Cuál es la probabilidad de hacer girar la ruleta y obtener por premio una galleta suiza?
5. ¿Cuál de todos los premios tiene menor probabilidad de obtener Marcelo?
6. ¿Cuál de todos los premios tiene mayor probabilidad de obtener Marcelo?

### Conclusiones

- Los resultados exitosos del proyecto develan que los temas seleccionados para los talleres eran pertinentes.
- La experiencia desarrollada muestra, una vez más, la importancia de las alianzas estratégicas con los asesores de matemática del MEP, pues se constituyen en enlaces efectivos entre los extensionistas y el MEP para concretar los permisos, identificar las mejores opciones de fechas y realimentar el proceso de extensión en procura de mayores niveles de pertinencia.
- El proyecto RENACE dio continuidad de manera efectiva al proyecto de investigación REMEYC, fortaleciendo la integración entre la docencia, la investigación y la extensión, y generando espacios de participación de los y las estudiantes de la carrera MATEC para fortalecer su formación y tener contacto con la realidad de la educación secundaria costarricense. ■

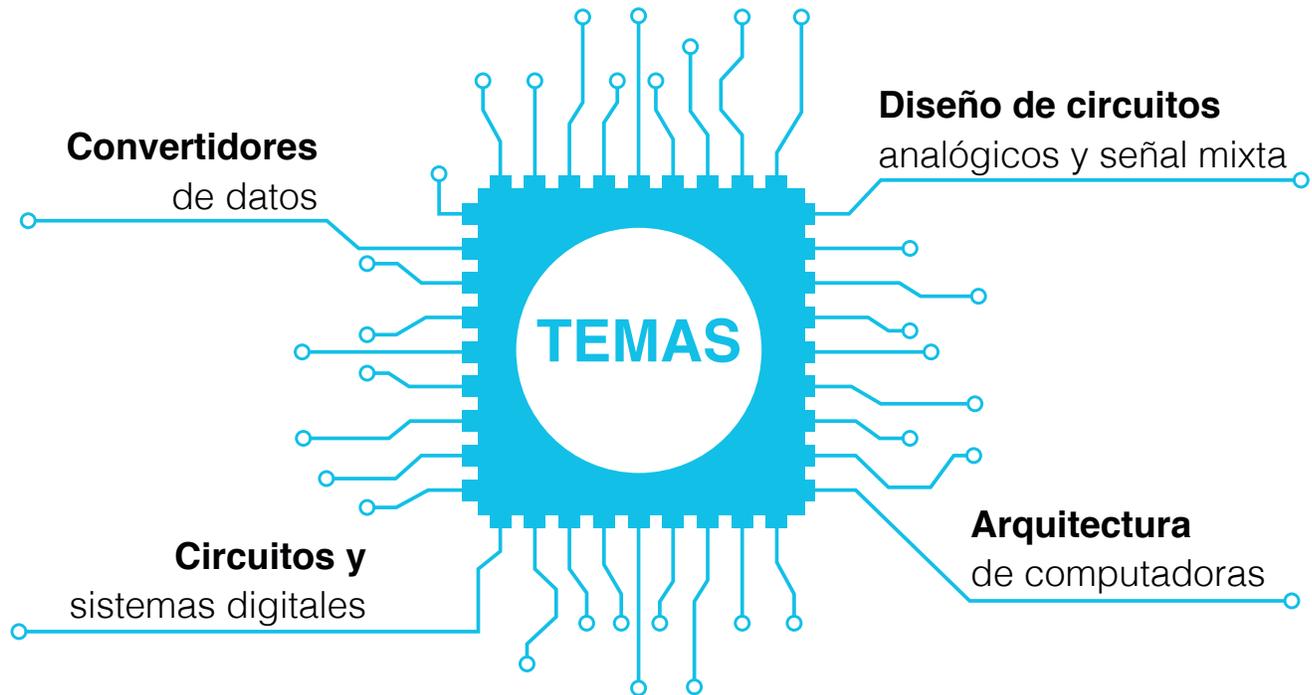
\*Los autores de este artículo son profesores de la Escuela de Matemática del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC). Ellos son: Dra. Zuleyka Suárez Valdés-Ayala ([zsuares@tec.ac.cr](mailto:zsuares@tec.ac.cr)); Dr. Luis Gerardo Meza Cascante ([gemeza@tec.ac.cr](mailto:gemeza@tec.ac.cr)); Dra. Evelyn Agüero Calvo ([evaguero@tec.ac.cr](mailto:evaguero@tec.ac.cr)); y Lic. Carlos Monge Madriz ([camonge@itcr.ac.cr](mailto:camonge@itcr.ac.cr)).

### Agradecimientos

Se agradece el apoyo de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica y a los docentes participantes.

## UN EVENTO IMPERDIBLE

Acompáñenos y comparte con expertos en Circuitos y Sistemas las últimas tendencias y descubrimientos en esta área.



Del 25 al 28 de febrero. Hotel Holyday Inn. San José. Costa Rica