

Innovación tecnológica en la agricultura

Instrumentos como sensores remotos, imágenes satelitales y sistemas de posicionamiento global aportan información sobre los cultivos con mayor precisión y eficiencia. Conozca aquí los detalles. Páginas 2 y 3.

Foto: cortesía Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (Laica)



Cambio climático: retos para Centroamérica



Entrevista: Vainilla orgánica con potencial comercial



Fusión nuclear promete transformar sector energético



Los pilotos certificados Bryan Alemán y Kenneth Largaespada se preparan para realizar un sobrevuelo en una finca bananera (foto cortesía CIA).

Innovación en agricultura

Uso de tecnologías aporta nueva mirada al agro

Desde el aire e incluso desde el espacio hoy es posible conocer los detalles más precisos de los cultivos que se desarrollan en nuestro país: el vigor de una plantación, la presencia de signos de estrés y síntomas de enfermedades pueden observarse desde lo alto con ayuda de la tecnología.

Katzy O'neal Coto
katzy.oneal@ucr.ac.cr

Esto es posible gracias a la implementación de sensores remotos como cámaras multiespectrales que viajan a bordo de vehículos aéreos no tripulados (VANT), conocidos como drones; imágenes satelitales y Sistemas de Posicionamiento Global (GPS).

Con estas herramientas, agrónomos y geógrafos del Centro de Investigaciones en Agronomía (CIA) de la Universidad de Costa Rica (UCR) están generando nueva información que permite a los productores tomar decisiones más acertadas sobre el manejo de los cultivos e implementar prácticas en agricultura de precisión.

Las actividades de esta investigación se llevan a cabo en el marco del proyecto

Uso de sensores remotos en la agricultura, en alianza con otras instituciones como la Corporación Bananera Nacional (Corbana) y el Instituto Nacional de Fomento Cooperativo (Infocoop).

El grupo de investigadores vinculado con este proyecto está conformado por el Dr. Carlos Henríquez Henríquez, Lic. Bryan Alemán Montes, Lic. Kenneth Largaespada Zelaya, Licda. Tatiana Ramírez, Dr. Mario Villatoro Sánchez y M.Sc. Rogér Fallas Corrales.

¿Cómo funciona?

Los investigadores realizan sobrevuelos en plantaciones con un vehículo aéreo no tripulado equipado con una cámara multiespectral, que toma una secuencia de imágenes a lo largo de una línea de vuelo previamente establecida sobre áreas de interés o estudio.

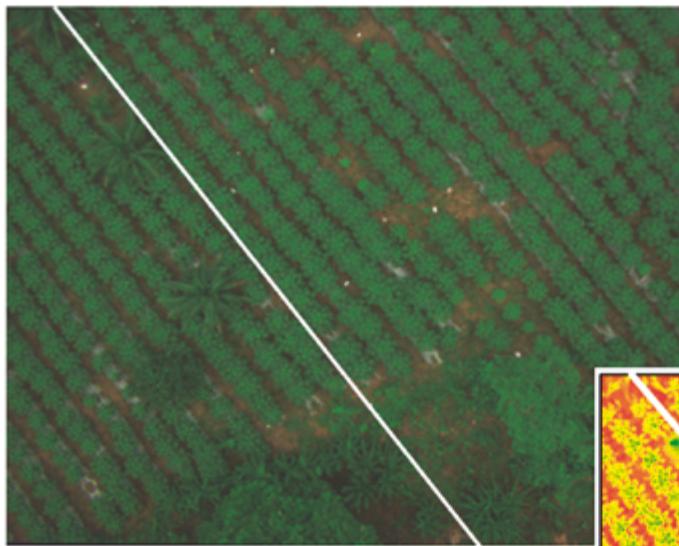
Esta cámara capta la reflectancia en el espectro visible o luz que vemos naturalmente a partir de la combinación de colores azul, verde y rojo; también capta otras longitudes de onda del espectro electromagnético que no son visibles al ojo humano; el borde de rojo y dos bandas de infrarrojo cercano.

El proyecto *Uso de sensores remotos en la agricultura* se lleva a cabo en alianza con otras instituciones, entre ellas la Corporación Bananera Nacional (Corbana) y el Instituto Nacional de Fomento Cooperativo (Infocoop).

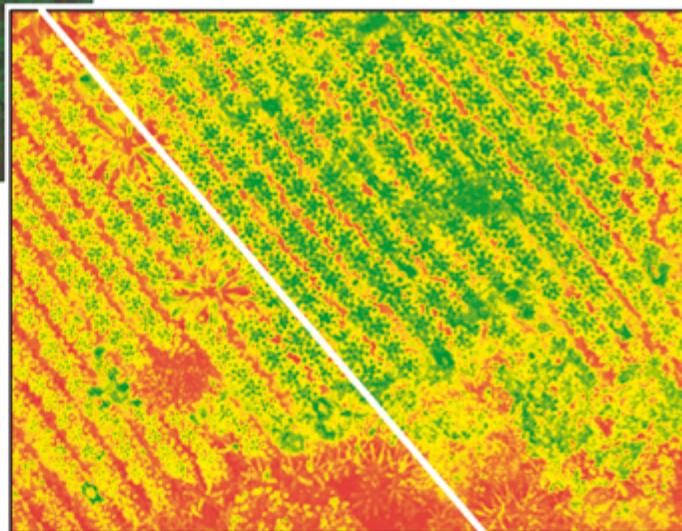
En esas longitudes de onda se registra información sobre las plantas que no es perceptible por los sentidos humanos, pero que con ayuda de software especializados y calibraciones previamente realizadas puede indicar que una planta o una porción de un cultivo está bajo estrés hídrico o exceso de agua, o afectada por una enfermedad, según detalló el Dr. Carlos Henríquez, director del CIA y coordinador del proyecto.

El geógrafo Lic. Bryan Alemán se encarga de unir las imágenes obtenidas con la cámara para formar un mosaico de imágenes multiespectrales geométricamente, que además tienen asociado un modelo digital del total de una plantación.

Para hacer aún más preciso el emparejamiento de las imágenes, en el campo se toman puntos de referencia con un



Papaya en Guácimo, Limón



En la imagen las coloraciones verdes representan mayor vigorosidad de la vegetación y las coloraciones amarillas y rojas representan menor vigorosidad u otro tipo de coberturas (imagen cortesía CIA).

GPS de precisión que permite reducir el margen de error a escala de centímetros y se realizan otras mediciones de campo para efectos de verificación. Este trabajo lo efectúa el Ing. Agrónomo Kenneth Largaespada.

Aplicaciones

El análisis con imágenes multiespectrales se ha aplicado en diversos cultivos, entre ellos banano, caña y papaya para hacer diagnósticos, estimaciones de producción o validación de propuestas de manejo. Próximamente se utilizará en otros cultivos como palma de aceite y arroz.

En el caso de la papaya se usó para validar una propuesta de manejo diferenciado de la fertilización en una plantación en Guácimo, Limón. Con las imágenes multiespectrales pudieron identificarse las variaciones entre un área manejada de forma convencional por el productor y otra donde el investigador MSc. Rogér Fallas, del CIA, aplicó otro tipo de fertilización.

La agricultura de precisión consiste en el manejo de las plantaciones en forma diferenciada de acuerdo con las características de cada sitio, con el fin de maximizar la eficiencia en el uso de los recursos y minimizar los efectos sobre el ambiente.

En la plantación de papaya se calcularon algunos índices de vegetación para identificar la variabilidad espacial del vigor del cultivo. En este caso se utilizó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI) y el análisis se efectuó con información del infrarrojo cercano. El resultado fue que la incidencia del color verde es más fuerte en el área de experimentación, lo cual indica que la vigorosidad es mayor en la zona donde se aplicó la nueva propuesta de fertilización.

En el cultivo de caña esta herramienta ha funcionado para identificar áreas de una plantación en Turrialba, donde hay menos densidad de plantas. Contar con esta información posibilita sugerir a los productores la necesidad de aplicar procesos de resiembra, habilitación de drenajes o fertilización para mejorar la productividad.

En el caso del banano, se ha utilizado para establecer correlación entre variables de vigor de planta e información espectral.

Agricultura de precisión

El uso de cámaras multiespectrales viene a profundizar el trabajo que en los últimos años ha realizado el CIA con herramientas tecnológicas para desarrollar en el sector agrícola nacional lo que se denomina "agricultura de precisión".

La agricultura de precisión consiste en el manejo de las plantaciones en forma diferenciada de acuerdo con las características de cada sitio, con el fin de maximizar la eficiencia en el uso de

los recursos y minimizar los efectos sobre el ambiente.

En los últimos seis años se ha trabajado principalmente con Sistemas de Información Geográfica (SIG) aplicados a la agricultura. Mediante el uso de GPS y de otros recursos se ha registrado la ubicación y el tamaño específico de las fincas, las áreas productivas, linderos, ríos y otras características geográficas de cultivos de cooperativas en todo el país.

La utilización de esta tecnología tiene implicaciones económicas y ambientales positivas, ya que se puede hacer una aplicación más localizada de los productos y lograr mayor eficiencia en la producción.

Con estos datos se han generado mapas interactivos que contienen información detallada como tamaño y ubicación de los terrenos, algunas características geográficas, tipos de suelo, cultivo, edad del sembradío, fertilizantes aplicados e inclusive rendimientos productivos.

Este proyecto se lleva a cabo con la colaboración del Instituto Nacional de Fomento Cooperativo (Infocoop) y han participado 17 cooperativas que producen palma aceitera, café, banano, hortalizas, cacao y caña de azúcar, en sitios como Turrialba, Atenas, Parrita, Osa, San Vito de Coto Brus, Sabalito, Grecia, Pacayas, Zarcero, la Zona de Los Santos y Upala.

Ventajas

El uso de vehículos aéreos no tripulados y sensores remotos sirve para hacer evaluaciones más rápidas, porque se cubren áreas más grandes de terreno en una sola visita, ya que el VANT puede abarcar un área de 12 hectáreas en cinco minutos en lugares que son de difícil acceso a pie.

Henríquez aseguró que además de diagnosticar enfermedades y signos de estrés que afectan una plantación particular, el proceso de georeferenciación también permite estimar con mayor precisión cuánto puede costar el manejo del problema ya sea mediante la aplicación de fertilizantes, fungicidas u otros productos, en un área determinada.

La utilización de esta tecnología tiene implicaciones económicas y ambientales positivas, ya que se puede hacer una aplicación más localizada de los productos y lograr mayor eficiencia en la producción.

Otro de los objetivos del proyecto del CIA es correlacionar las imágenes de multiespectrales, tomadas con el VANT en vuelos de baja altitud, con imágenes de sensores espaciales o satélites para obtener una visión y análisis más regional.

Esta labor de innovación tecnológica e investigación científica desarrollada por el CIA pretende seguir impactando de forma positiva la capacidad del país de producir sus propios alimentos, así como otros productos agrícolas de exportación y, de forma particular, a los pequeños y medianos productores para poner a su disposición herramientas para producir mejor y vender sus productos a nivel local y en el mercado internacional. ■

Firmas espectrales

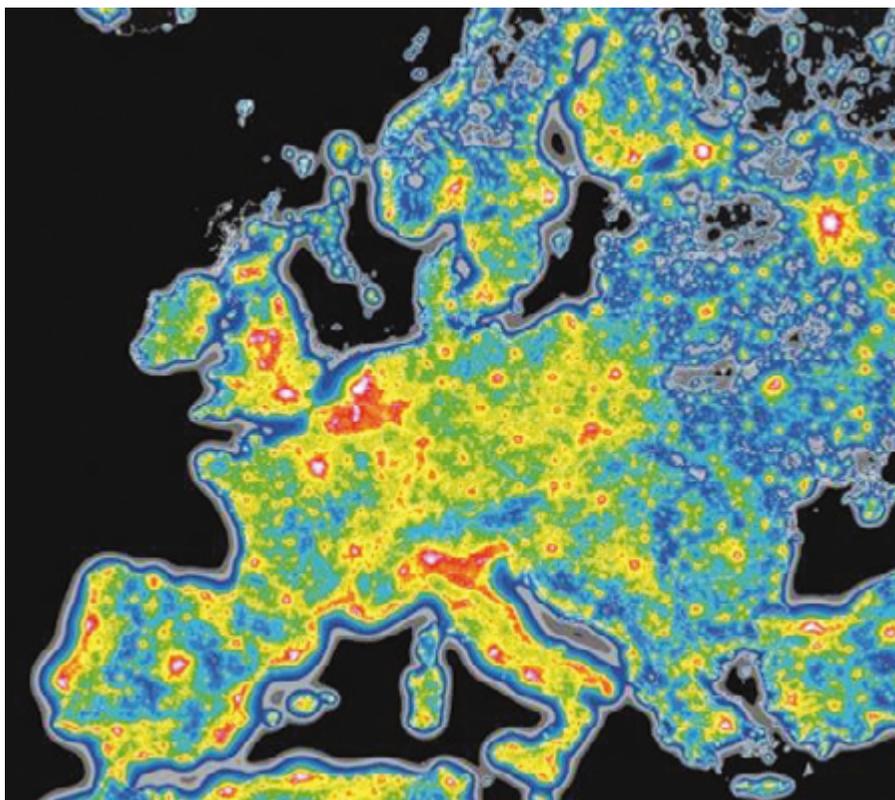
Como parte del proyecto se pretende generar una biblioteca de firmas espectrales para diferentes plantas de importancia para el sector agrícola costarricense, como banano, caña de azúcar o palma aceitera.

Por medio de las imágenes multiespectrales se pueden medir los porcentajes de reflectancia y absorción de la radiación electromagnética que interactúan con las plantas y así obtener la firma espectral de cada una.

Esto es posible porque cada planta interactúa con la radiación de manera diferente, al absorber unas longitudes de onda y reflejar otras.

Contar con estas firmas posibilitará en el futuro comparar la firma espectral de una planta en estado óptimo con otras y así detectar de una manera rápida si existen factores de estrés que están afectando la planta.

Notas breves



Población no puede ver las estrellas

La mayor parte de la población del planeta (cerca de un 83 %) ya no tiene la oportunidad de ver la vía láctea, debido al incremento de la contaminación lumínica de las últimas décadas.

Así lo confirmaron los autores del Nuevo atlas mundial de contaminación lumínica, quienes además advirtieron sobre la necesidad de poner más atención a esta forma de contaminación y abordar las diversas consecuencias de este problema, entre las que se incluye la pérdida de biodiversidad.

Los investigadores actualizaron su mapa anterior elaborado hace más de diez años, y llegaron a la conclusión de que este tipo de contaminación se ha incrementado en un 6 % en Norteamérica y el continente europeo.

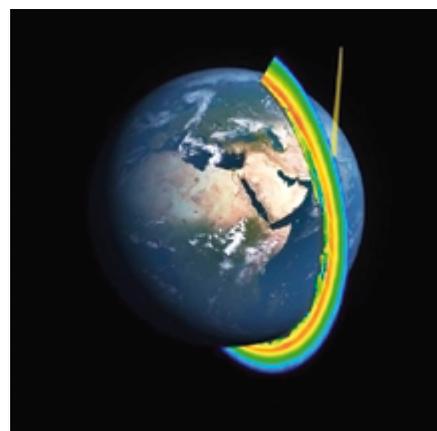
Los porcentajes son alarmantes: el 83 % de la población mundial convive con estos cielos contaminados y esta cifra se eleva hasta el 99 % de la población en Estados Unidos y Europa. Así, los habitantes de estas regiones “ciegas” a las estrellas se verían obligados a recorrer distancias de más de 1000 kilómetros para poder ver la Vía Láctea.

El área en la que existen menos posibilidades de admirar las estrellas se encuentra en El Cairo, Egipto, en las proximidades de la región del delta del Nilo. En regiones europeas como Bélgica, Holanda o el oeste de Alemania también se ha perdido este impresionante espectáculo visual, así como en ciudades del norte de Estados Unidos, como Washington D.C. y Boston.

Además de limitar la visión de la Vía Láctea, la contaminación de luz artificial

posee consecuencias más graves relacionadas directamente con la biodiversidad del planeta. Por ejemplo, una luz artificial de alta intensidad puede afectar los ciclos migratorios de las aves al confundir el período en el que deben iniciar la migración y en caso de tratarse de luz artificial en puertos o playas, puede alterar los ecosistemas submarinos. También afecta al ritmo circadiano de los humanos; es decir, los ciclos de sueño. ■

Fuente: National Geographic
Imagen: Atlas Mundial de Contaminación Lumínica



Recuperación de la capa de ozono

Un grupo de científicos constató que el agujero de la capa de ozono, producido por la gran contaminación de aire, se está reduciendo, tras considerar efectivas las medidas tomadas luego de la firma en 1987 del Protocolo de Montreal.

El estudio fue publicado en la revista estadounidense Science, y según sus cálculos, la capa de ozono se recuperará completamente en el 2050.

El tamaño del agujero, situado sobre la Antártida, alcanzó entre 21 y 27 millones de kilómetros cuadrados en años recientes, un poco más grande que la superficie de América del Sur. El agujero se ha reducido en más de cuatro millones de kilómetros cuadrados desde entonces.

“De forma global, el agujero de ozono parece estar curándose, al tiempo que las emisiones de compuestos químicos, como los gases clorados y los clorofluorocarbonos (CFC), siguen disminuyendo”, señalan los científicos.

La concentración de sustancias químicas en la atmósfera, que destruyen el ozono, ha disminuido entre el 10 % y el 15% en relación con el tope registrado a fines de los años 1990, de acuerdo con el último informe cuatrienal de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, publicado en 2015.

En 1997 fue firmado el tratado internacional de Protocolo de Montreal, que dispone la prohibición progresiva de los gases clorados utilizados en los sistemas de refrigeración, los aerosoles y en algunos procesos industriales.

“Ahora podemos estar seguros de que las medidas internacionales que fueron tomadas impulsaron la sanación del planeta”, aseguró Susan Solomon, principal autora del estudio.

Según simulaciones del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, para el 2030 “el Protocolo de Montreal -adoptado por todos los países- salvará a los humanos de dos millones de cánceres de piel por año, de daños oculares e inmunológicos, y también protegerá la fauna y la agricultura”. ■

Fuente: AFP
Imagen: NASA/NOAA

Nuevo cereal para niños

Los estudiantes de la carrera de Ingeniería de Alimentos de la Universidad de Costa Rica (UCR), Laura Cubero, Jannette Wu, Mariano Calvo, Roberto Navarro y Aurora Ugalde, se unieron para crear un cereal de desayuno para la niñez con problemas nutricionales.

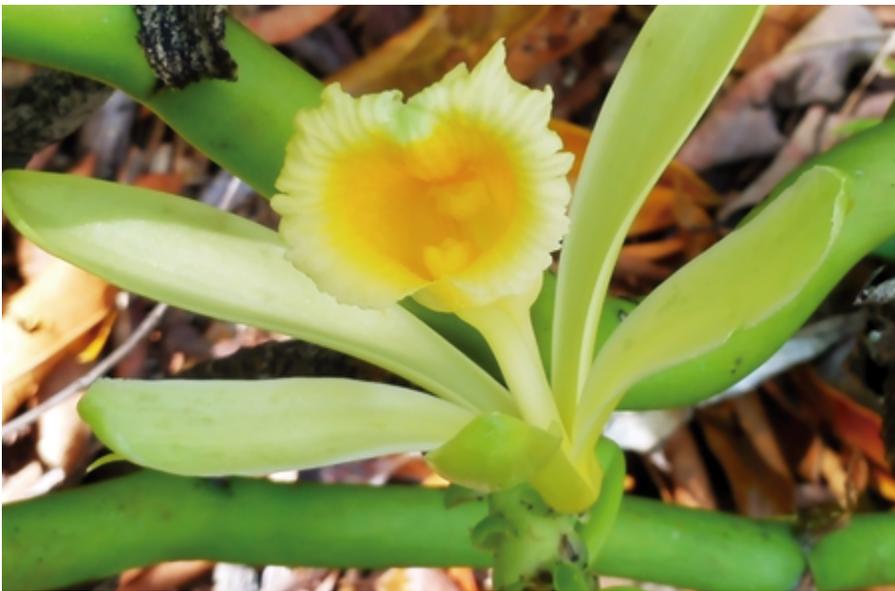
El cereal, denominado Chococrocros, es un alimento alto en proteína y fibra, bajo en azúcar y sodio. Está elaborado a base de frijol negro y cebada. Además, contiene cocoa, lo cual le aporta sabor a chocolate.

Este cereal de bajo costo podría paliar las deficiencias de proteína y fibra de niños y niñas entre cinco y 12 años con poco acceso a otras fuentes de nutrientes, como la carne y las frutas, que necesitan para su crecimiento.

El equipo Chococrocros participó en marzo en un concurso organizado por la Unión Internacional de Ciencia y tecnología de Alimentos (IUFoST, por sus siglas en inglés) y fue seleccionado como finalista en la competencia *Food Science Students Fighting Hunger*. Estos jóvenes emprendedores deberán disputar la final de la competencia en la ciudad de Dublín, Irlanda, del 21 al 25 de agosto del 2016. ■

Katzy O’neal Coto
Crédito foto: Anel Kenjekeeva





Flor de vainilla silvestre en el bosque de la Finca Agroecológica Osa Verde (foto cortesía Laboratorio de Microbiología Agrícola).

Microorganismos, amigos de la vainilla orgánica

Marena Chavarría Vega, ingeniera agrónoma de la Universidad de Costa Rica (UCR), trabaja junto a dos investigadoras con productores de la zona sur del país para incentivar el cultivo de vainilla orgánica.

Rocío Marín González
rocio.marin@ucr.ac.cr

El Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la UCR trabaja desde hace varios años en la búsqueda de nuevas alternativas de producción para el sector agrícola, con énfasis en el desarrollo y producción de controladores biológicos de plagas y enfermedades, biofertilizantes y otras alternativas como la agrohomeopatía.

Esa tarea ha sido desarrollada por el Laboratorio de Microbiología Agrícola, que ha aprovechado la capacidad de los microorganismos del suelo para el desarrollo de productos que buscan mejorar la nutrición y fisiología de los cultivos y el control de plagas, sin dañar el ambiente.

En esta línea, la Chavarría, investigadora de este Laboratorio, trabaja con pequeños productores de Puerto Jiménez para promover el cultivo de vainilla orgánica en sistemas agroforestales. Esta labor la realiza en conjunto con la bióloga Daniela Rodríguez García, también de dicho Laboratorio, y la M.Sc. Amelia Paniagua Vázquez, del Instituto de Investigación y Servicios Forestales (Inisefor) de la Universidad Nacional (UNA) y el Área de Conservación Osa del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (Sinac).

-¿Cuáles son los problemas que enfrenta el cultivo de vainilla en el país?

-La principal limitante natural del cultivo de vainilla son los problemas de reproducción natural. Adicionalmente, en algunas especies se han identificado problemas de falta de vigor y resistencia a plagas y enfermedades, que limitan aún más la reproducción natural. Hasta la fecha, la forma de atacar las enfermedades más comunes por parte de los productores dedicados a la actividad ha sido el control químico, con muy poco efecto o casi nulo, y a la vez, con el gran problema de que con su uso se afectan también hongos y bacterias benéficas, como es el hongo micorriza, que se sabe le induce resistencia al cultivo y mejora su nutrición.

Por años, la Ing. Amelia Paniagua ha venido realizando investigaciones y apoyando a productores de diferentes zonas del país, por lo que decidimos unir esfuerzos y desarrollar un paquete tecnológico orgánico, que esté al alcance de los productores. Este proyecto dará inicio en Puerto Jiménez, en donde existe mucho interés debido a que el cultivo es sumamente rentable, el cual ha alcanzado precios de hasta \$400 por kilo, en especial cuando Madagascar, que es el mayor productor a nivel mundial, sufre alguna baja en la producción.

Partiendo de este interés, iniciamos conversaciones con el Área de Conservación Osa, por medio de su director el Ing. Max Villalobos Vargas, que ha sido un gran apoyo en la investigación. Él ha proporcionado el terreno deseado y el personal de campo necesario para el desarrollo de parcelas demostrativas y de un banco de plantas madres, así como

para desarrollar un paquete tecnológico orgánico, para lo cual se utilizarán diferentes productos desarrollados en el CIA y otros que ya están siendo aislados de plantas silvestres.

-¿Cuáles son los objetivos del proyecto?

-Los objetivos son desarrollar y establecer plantas madres de vainilla orgánica, con el fin de que los agricultores de la zona cuenten con esquejes (trozos de plantas para reproducción) de vainilla de alta calidad y sanidad, para el establecimiento en sus fincas. Además, establecer un cultivo de vainilla que sea demostrativo y didáctico para los agricultores de la zona sur, donde se implemente un protocolo para el cultivo de vainilla orgánica en sistemas agroforestales. También queremos determinar los principales problemas fitosanitarios presentes en plantas de vainilla que se encuentran en estado silvestre e identificar posibles biocontroladores.

-¿Qué han encontrado hasta ahora?

-Por el momento, con la ayuda de Daniela Rodríguez estamos analizando los patógenos y averiguando por qué estos no se manifiestan en plantas silvestres. Esos patógenos están ahí y, sin embargo, están en un equilibrio con microorganismos que se encuentran dentro de la planta y que ya hemos encontrado, como los *Bacillus sp.*, levaduras y otros que aún no han sido identificados.

Lo que queremos es poder decirle al productor dónde está la diferencia del producto del bosque en relación con el de sus parcelas y recomendarles qué tipo de microorganismos deben aplicar para lograr mejores resultados.

Estamos muy satisfechas de haber podido encontrar –gracias al Ing. Villalobos– plantas silvestres en el bosque con ese vigor y con raíces de un diámetro que jamás se ha visto en una plantación comercial. Ahí hay algo y eso es lo que estamos buscando. Además, se trata de vainillas que son nuestras, endémicas de Costa Rica.

-¿Qué otros trabajos realizan actualmente con vainilla?

-En la zona norte estamos trabajando con la empresa Cinco Ramas, perteneciente a la compañía Ethical Forestry, la cual es una de las mayores productoras de vainilla orgánica de nuestro país. Ellos han tenido grandes problemas en el control de enfermedades, por lo que se decidió colaborar en la evaluación de diferentes sustratos procedentes de residuos de la industria cañera y de su propio aserradero, y enriquecerlos con biofertilizantes y biocontroladores producidos en el laboratorio.

Uno de los objetivos es determinar la sobrevivencia de los diferentes microorganismos adicionados, principalmente en bagazo, cachaza, aserrín y mantillo del bosque. Con el uso de los residuos se pretende controlar más el problema de plagas y enfermedades y bajar los costos de producción. La primera evaluación realizada comienza a evidenciar diferencias entre los tratamientos.

Este trabajo es todo un reto porque lo que logremos en la parcela experimental va a ser llevado al resto de la plantación de cuatro hectáreas. El cultivo de vainilla en nuestro país ha sido poco investigado por lo que hay mucho que hacer. ■

La Ing. Amelia Paniagua Vázquez de la Universidad Nacional trabaja desde el 2006 con el cultivo de vainilla en sistemas agroforestales y brinda acompañamiento y asesorías a productores nacionales sobre el cultivo, quienes con financiamiento nacional han ejecutado nueve proyectos. Producto de estos trabajos se creó la Asociación Nacional de Vainilleros Unidos y el Banco de Germoplasma de Vainilla en Costa Rica. Por su parte, la Ing. Marena Chavarría Vega, de la UCR, tiene más de 20 años de investigar sobre diferentes hongos y bacterias de los suelos del país que sirvan de antagonistas a plagas y enfermedades que afectan a los diferentes cultivos, con el fin de proporcionar herramientas a los productores y disminuir la contaminación del ambiente.



El Ing. Max Villalobos, director de Conservación Osa, Amelia Paniagua de la UNA y Marena Chavarría de la UCR, inspeccionan en Piro de Osa el sitio donde se desarrolla la parcela demostrativa de vainilla (foto cortesía Laboratorio de Microbiología Agrícola).



La variabilidad y el cambio climático han afectado de forma reiterada a los países de América Central, en sectores como agricultura, seguridad alimentaria, salud pública, turismo e hidroelectricidad, entre otros (foto Anel Kenjekeeva).

Desafíos ante la variabilidad y el cambio climático en América Central

Los procesos climáticos en la región centroamericana, así como las herramientas de medición científica de su impacto y la cuantificación de la vulnerabilidad en diversos sectores sociales y económicos son algunos de los aspectos que el experto analiza en este artículo.

*Dr. Hugo G. Hidalgo
Profesor catedrático Escuela de Física
y director del Centro de Investigaciones Geofísicas*

Antes de discutir aspectos relacionados con el clima, es indispensable definir lo que entendemos por clima, así como algunos conceptos relacionados con los cambios climáticos naturales y

los efectos antropogénicos en el sistema. El clima se definirá como las condiciones del tiempo prevalecientes en un área en general sobre un largo tiempo (por ejemplo 30 años). Dentro de ese largo período pueden existir variaciones naturales del clima de escalas de tiempo anuales a multidecenales, que se definirán como “variabilidad climática”.

Los cambios climáticos naturales y la variabilidad climática comprenden aspectos de diferentes orígenes físico-químicos, mecanismos forzantes y escalas de tiempo y espacio. Existen modificadores del clima de origen natural que lo afectan global y regionalmente, entre aquellos que tienen escalas de tiempo más largas (1000 años a más de 100 000 años) a aquellos de escalas multidecenales a estacionales o mensuales.

Me enfocaré en las variaciones climáticas naturales de alrededor de 100 años a interanuales. En estas escalas de tiempo se encuentran procesos climáticos

internos multidecenales (i.e. Oscilación Decenal del Pacífico, Oscilación Multidecenal del Atlántico), que hacen que el clima tenga épocas de una o varias décadas en un estado dado semiestable (por ejemplo frío) y luego cambie a condiciones inversas (por ejemplo cálido) en las siguientes décadas; variaciones naturales interanuales (meses a años) a escalas de menos de diez años como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), el cual, luego del ciclo anual, representa la fuente de variabilidad climática más importante a esas escalas de tiempo; efectos de la circulación atmosférica global que a su vez influye en la posición de la Zona de Convergencia Intertropical, y otras fuentes de variabilidad regionales.

Muchos de los eventos hidrometeorológicos naturales de escalas temporales de horas a meses, responsables de gran cantidad de los procesos transitorios y caóticos en el tiempo atmosférico, como frentes fríos, presencia de tormentas tropicales y otros, están influenciados por los cambios a las escalas de tiempo de interés de este artículo.

EL ENOS

Los aspectos de la variabilidad climática natural del planeta a escalas de tiempo relativamente más cortas afectan las actividades humanas. Entre ellas tenemos las oscilaciones multidecenales, que por su naturaleza hacen difícil separar las tendencias climáticas naturales de las antropogénicas. Pero quizás el más conocido de todos los modos naturales de variabilidad es el ENOS.

El ENOS es el principal modo de variabilidad climática en el planeta en escalas de tres a siete años y precisamente su centro de acción se encuentra

muy cerca de nuestra costa Pacífica; por consiguiente estamos fuertemente afectados por sus variaciones.

Los cambios en las tendencias de lluvia en América Central en los últimos 30 años han sido poco consistentes con algunas tendencias hacia condiciones más húmedas y otras hacia condiciones más secas, pero usualmente estas tendencias no son significativas estadísticamente.

“Un problema central asociado con la predicción y protección de los impactos de la variabilidad y el cambio climático es la falta de una cuantificación de su vulnerabilidad en diversos sectores”.

Las tendencias de temperatura, probablemente asociadas en gran parte con la respuesta climática de efectos antropogénicos, son más consistentes y en su mayoría implican calentamiento significativo en grandes áreas de América Central. Estas condiciones hacen que posiblemente la superficie terrestre se vuelva aún más árida durante los años de sequías, pero los cambios en la disponibilidad de agua en forma de tendencias de lluvia parecen no estar cambiando, por lo cual los efectos de la variabilidad climática son todavía muy importantes con respecto a los cambios climáticos. Por ejemplo, los efectos de un fenómeno ENOS en un año determinado son comparativamente más grandes que los cambios en la lluvia de los últimos 30 años en muchas regiones de América Central.

Luego de eliminar el ciclo anual, el cual como se mencionó es la fuente de variabilidad más importante en las series climáticas, el porcentaje de variabilidad asociado a variaciones interanuales, incluyendo al ENOS, en el campo de la precipitación es del 84 %, mientras que el de las tendencias a largo plazo es de alrededor del 2 %. Esto es importante ya que implica que la adaptación a la variabilidad climática del presente es un gran paso hacia la adaptación del potencial cambio climático futuro.

Quizás esto podría considerarse como algo evidente, pero infortunadamente existen repetidos ejemplos en América Central de impactos severos en diversos sectores, como agricultura, seguridad alimentaria, salud pública, turismo, hidroelectricidad y otros, para los cuales no hemos estado bien preparados, y que han sido producidos por el efecto de extremos principalmente asociados con variaciones naturales, aunque no se descarta alguna contribución de los efectos antropogénicos, climáticos o no.

Pareciera que el interés global en el cambio climático y sus impactos es una oportunidad única de aumentar la resistencia o adaptación de nuestros sistemas a las variaciones que se producen actualmente en el clima, para hacerlos más resilientes, aún antes de esperar cambios sustanciales en las condiciones ambientales proyectadas hacia el futuro.

Aunque no debemos dejar de lado el planeamiento a largo plazo y en mejorar las proyecciones climáticas, el enfocar



El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es el principal modo de variabilidad climática en el planeta y su centro de acción se encuentra muy cerca de la costa Pacífica costarricense (foto Anel Kenjekeeva)

recursos en investigar acerca de la variabilidad y el cambio climático del presente nos ayudará no solo a prepararnos mejor para lo que viene, sino que tiene la ventaja de que puede ser políticamente más atractivo, al tener horizontes de tiempo acordes con el planeamiento usual en las instituciones de nuestros países. Además, acompañar estos procesos de una evaluación económica de sus impactos ayudaría a llamar la atención del sector político.

Modelos climáticos

Cabe mencionar otro problema que tenemos con las proyecciones del clima, y es que los modelos climáticos globales que se usan para hacer estas estimaciones futuras presentan deficiencias importantes en reproducir procesos climáticos en la región de América Central. Especialmente desafiante es el modelaje de los patrones observados de lluvia, debido entre otras cosas a que, como su nombre lo indica, el istmo centroamericano es una franja muy delgada de tierra que dificulta su resolución en modelos globales. Solamente el hecho de que los modelos climáticos globales tengan resoluciones horizontales (cuadrículas) de unos pocos cientos de kilómetros con topografías igualmente crudas hacen que sea imposible capturar estas pequeñas variaciones.

En contraste, la región presenta una topografía compleja influenciada por diversos procesos climáticos a escalas locales sinópticas que produce microclimas muy diversos. De hecho, en algunos modelos Costa Rica está representada por uno, dos o tres puntos de cuadrícula, correspondientes en el modelo a los diferentes climas del país, cuando en realidad sabemos que la diversidad de climas es mucho más grande.

Aunque se han desarrollado métodos para obviar el problema de la resolución, los cuales han progresado mucho a

través del tiempo, aún queda la interrogante acerca de la dificultad original de los modelos globales de reproducir procesos climáticos macros en nuestra región, lo cual no puede ser obviado por medio del cambio de escala. En otras palabras, si el modelo global no produce buenos resultados al reproducir las principales características del clima regional, no debe esperarse que el método de cambio de escala (modelo regional o estadístico) vaya a poder arreglar esos errores. El proceso de ajuste de escala es fundamental cuando se desea analizar los impactos climáticos a escala local.

“Hay una clara necesidad de un continuo mejoramiento en el acceso a datos e información, así como la vigilancia continua de diversas variables ambientales”.

Dadas las dificultades en los modelos, aún existe valor en una estimación a mediano plazo (menos de 50 años) de los posibles cambios futuros en la región. Aunque los modelos no sean perfectos, es posible que al escoger los mejores de ellos de acuerdo con algún criterio objetivo, se puedan obtener resultados que aporten una impresión o escenario acerca de la dirección y el posible orden de magnitud del cambio. Esta información, en conjunto con una actitud transparente con respecto a la incertidumbre que conlleva su uso puede ser discutida con los tomadores de decisiones para guiar políticas a mediano plazo.

Estas decisiones, sin embargo, deben ser implementadas dentro de un marco de “manejo adaptativo”, en el que cada cierto tiempo se revisan los planes e incluso las proyecciones para considerar no solo la convergencia o no de

los planes con la realidad, sino también nuevos conocimientos y técnicas que vayan apareciendo en el futuro.

Medición de la vulnerabilidad

Un problema central asociado con la predicción y protección de los impactos de la variabilidad y el cambio climático es la falta de una cuantificación de su vulnerabilidad en diversos sectores. Mientras que el tema de la exposición contenida en la parte física del fenómeno es estimado con mayor precisión, es difícil conocer el riesgo sin una manera adecuada y objetiva de establecer el grado de vulnerabilidad de manera espacial y temporal. Aunque han habido esfuerzos en este sentido, especialmente en el tema de seguridad alimentaria, la poca información disponible sobre vulnerabilidad es dispersa, tiene diferentes escalas espaciales y usualmente no está disponible de manera que favorezca estudios de riesgo climático.

Además, es recomendable que la cuantificación del riesgo sea parte fundamental en los programas de adaptación a la variabilidad y al cambio climático. Dentro de estos programas es importante que incluso se identifiquen posibles riesgos para los cuales no existen actualmente maneras de cuantificarlos. Esto solo es posible si la comunidad que produce los estudios de cambio climático esté en cercana comunicación con los responsables de evaluar los impactos y los tomadores de decisiones.

El entendimiento de las causas y magnitudes de los eventos de alto impacto y baja probabilidad se mantiene incompleto aún desde el punto de vista de la perspectiva de las ciencias físicas. Hay una clara necesidad de un continuo mejoramiento en el acceso a datos e información, así como la vigilancia continua de diversas variables ambientales. El acceso sin restricciones de las bases de datos históricas en poder de las instituciones nacionales debe

hacerse efectivo a grupos de investigación reconocidos para la elaboración de escenarios futuros, en el marco de las políticas gubernamentales vigentes.

El modelaje de algunos aspectos climáticos ayudará a mejorar nuestro entendimiento del clima, especialmente en aquellos casos en que los estudios de los procesos o la cuantificación de impactos es importante. Además, cabe mencionar que uno de los retos más importantes es cómo convertir esta cascada de información en acciones efectivas que reduzcan los impactos.

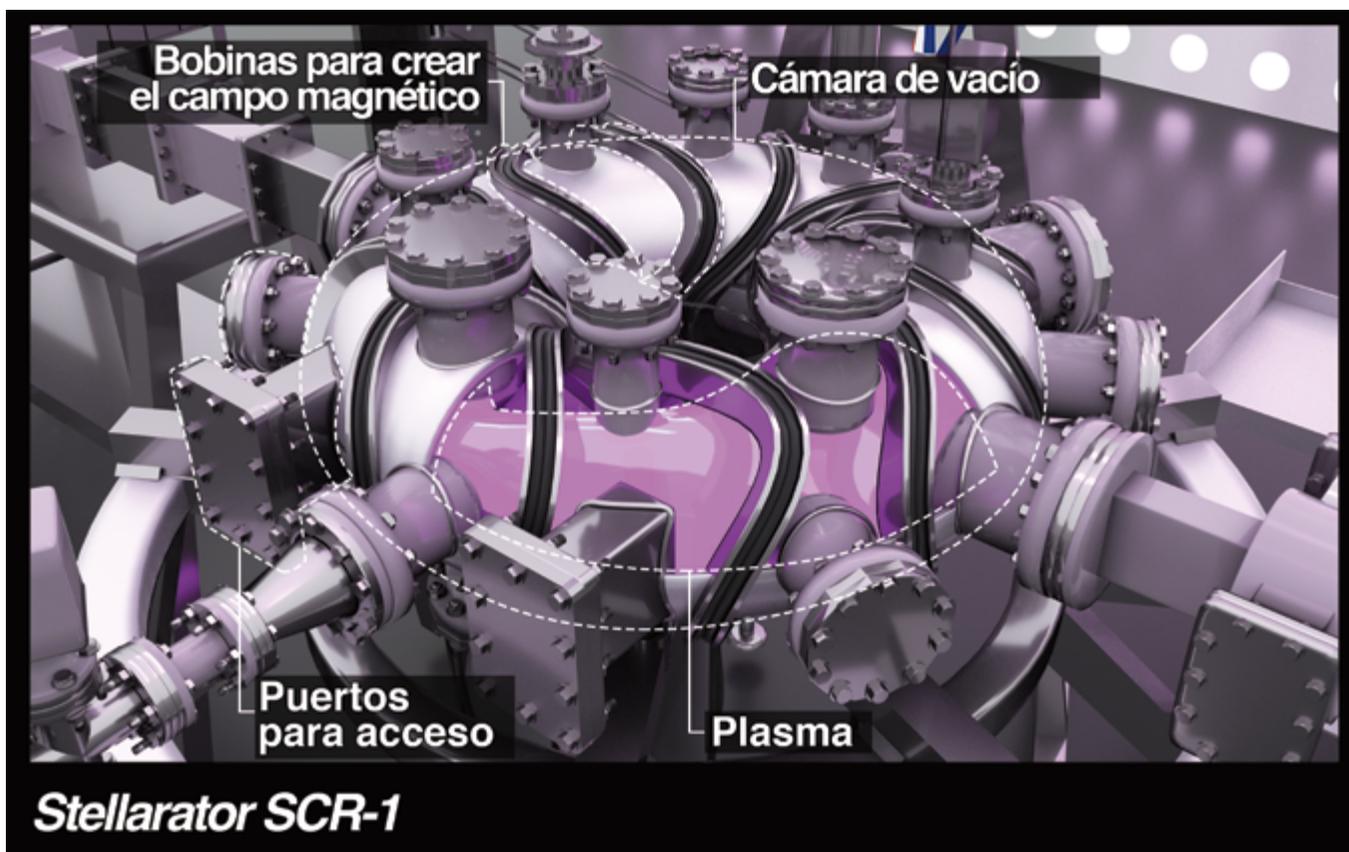
“Es recomendable que la cuantificación del riesgo sea parte fundamental en los programas de adaptación a la variabilidad y al cambio climático”.

En muchos casos existe una desconexión entre las ciencias físicas encargadas de la cuantificación de los posibles escenarios climáticos futuros y los tomadores de decisiones, que usualmente requieren evaluaciones de los impactos o interpretaciones de estas proyecciones con sus respectivas incertidumbres en términos socioeconómicos. El acercamiento de los dos grupos es difícil, debido a que manejan diferentes lenguajes y puntos de vista.

Aunque es necesario buscar las formas de fomentar este entendimiento, existe la opción de formar profesionales que asuman el papel de “gestores” de este proceso de comunicación. Así por ejemplo, algunas universidades en Costa Rica están fomentando programas de posgrado con un énfasis multidisciplinar que podrían ayudar a llenar el vacío mencionado. Esto llevaría a un proceso de retroalimentación en el cual intervienen tres partes: el generador, el gestor y el usuario de la información, dentro del cual se incluye al tomador de decisión.

América Central es un área muy susceptible a los desastres naturales relacionados con la variabilidad hidrológica, por ejemplo durante años extremos de ENOS y cuando las tormentas tropicales y los huracanes tienen características (intensidades o trayectorias) que los hace particularmente dañinos. Nuestro pasado reciente nos indica que en muchos aspectos no estamos suficientemente adaptados para reducir los impactos de estos fenómenos, o también existen casos en que las medidas existentes de adaptación se abandonaron debido a un proceso pobre de gestión. Por ejemplo, construir sobre pilotes en la región Caribe o Sur de Costa Rica.

Esta debería ser nuestra prioridad a la luz de la posibilidad de que estos u otros procesos climáticos similares se vuelvan más o menos frecuentes o intensos en el futuro. El costo social y económico de no hacer nada es por mucho superior a las medidas de adaptación que se pueden implementar con planes integradores de manejo adaptativo. Es nuestra responsabilidad trabajar para ver estos planes hechos realidad. ■



El Stellarator, diseñado y construido en el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), es un dispositivo experimental de confinamiento de plasma de alta temperatura. En este el plasma nunca toca sus paredes, sino que se mantiene “flotando” en su interior (foto cortesía TEC).

Fusión nuclear: la apuesta hacia el futuro

Responsable de las grandes emisiones de energía estelar, el fenómeno de la fusión nuclear promete revolucionar la producción energética. No es magia: se trata de plasma, el cuarto estado de la materia que forma las estrellas del Universo.

Karol Castro Ureña
karol.castrourena@ucr.ac.cr

A casi 150 millones de kilómetros de distancia, los núcleos de hidrógeno en el corazón del Sol, la estrella más cercana a nuestro planeta, se encuentran a temperaturas cercanas a los 15 millones de grados Celsius y se unen para producir átomos de helio, gracias a un proceso de fusión nuclear en el que se liberan grandes cantidades de energía.

Este fenómeno ocurre en la mayoría de las estrellas y promete hacer realidad el sueño dorado de una fuente alternativa de energía limpia, prácticamente inagotable. Es por ello que laboratorios alrededor de todo el mundo tratan de construir “pequeños soles artificiales” en la Tierra.

Costa Rica se ha sumado reciente-

mente a estos esfuerzos. Investigadores y científicos del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) pusieron al país a la vanguardia de las investigaciones en fusión nuclear en toda Latinoamérica, al realizar la primera descarga de plasma en la región el 29 de junio último.

A través del desarrollo tecnológico y de ingeniería de avanzada se ha tratado de reproducir las condiciones del espacio en un dispositivo experimental, el Stellarator, destinado al confinamiento de plasmas de alta temperatura, que ahora solo existe en seis países del mundo

Energía amigable

Actualmente, la energía que se produce en las centrales nucleares se debe al proceso de fisión, donde se dividen los núcleos de átomos pesados, como el uranio y el plutonio, para producir otros más ligeros.

Aunque con este proceso se obtienen grandes cantidades de energía, la fisión nuclear tiene la desventaja de producir residuos radiactivos, cuya gestión implica riesgos, es costosa y compleja.

La fusión nuclear consiste en el proceso contrario. Con la aplicación de altas temperaturas se ionizan los átomos

de hidrógeno; es decir, se separan sus electrones (con carga negativa) de los núcleos (cargados positivamente), para que luego estos últimos se unan y formen otro más pesado: el del helio, un gas que no representa peligro.

Por eso se habla de una energía amigable con el medio ambiente e inagotable, pues no emite gases de efecto invernadero y no consume recursos naturales, utiliza hidrógeno y sus isótopos, el elemento más abundante de la Tierra, que se encuentra en el agua y en el aire.

El uso de temperaturas tan elevadas conduce a la formación de plasma. Sin embargo, el principal reto al que se enfrentan las futuras investigaciones es impedir el enfriamiento del plasma para alcanzar la fusión y, con ella, la generación de energía.

“Lo más importante en esta etapa de la investigación no es llegar a la fusión y durar muchas horas, sino controlar el plasma y comprender su comportamiento, saber que está bien atrapado y que puede alcanzar altas temperaturas”, aseguró el Dr. Iván Vargas Blanco, coordinador del Laboratorio de Plasma para Fusión y Aplicaciones del TEC.

Materia de estrellas

Tan interesante como desconocido, el plasma “es el estado más abundante del universo visible. El 98 % de la materia que se puede ver se encuentra en esta forma”, comentó Leonardo Herrera Vargas, profesor de la Escuela de Física de la Universidad de Costa Rica (UCR).

Si calentamos agua hasta el punto de ebullición (unos 100 °C), esta alcanza el estado gaseoso. Si continuamos calentando ese gas a temperaturas más altas –miles o millones de grados Celsius– se convertirá en plasma.

Este cuarto estado de la materia es un fluido, parecido a los gases, con la diferencia de que posee una proporción significativa de partículas cargadas eléc-

tricamente –iones–, que interactúan con campos magnéticos. “Una sopa de electrones y núcleos atómicos”, en palabras de Vargas.

Esta “sopa” forma las estrellas que están en el espacio, como el Sol, y se puede observar en nuestra vida cotidiana en las bombillas fluorescentes, los rayos y las auroras boreales y australes.

Por su naturaleza de fluido, el plasma tiende a dispersarse o expandirse para ocupar todo el espacio en el que se encuentra. Afuera, en el Universo, los intensos campos gravitatorios de las estrellas se encargan de controlarlo, atrayéndolo hacia el centro de las mismas.

En la Tierra no se pueden reproducir esos campos gravitatorios experimentalmente. Es por ello que se han desarrollado dispositivos que aprovechan la carga eléctrica del plasma para confinarlo y definir su trayectoria.

Generador estelar

El Stellarator es un dispositivo experimental de confinamiento de plasma de alta temperatura. En Costa Rica ha adquirido el nombre de SCR-1 y su diseño, su construcción e implementación estuvieron a cargo del TEC.

En el mundo solo otros cinco países cuentan con este tipo de tecnología: España, Japón, Estados Unidos, Australia y Alemania.

El principio de confinamiento magnético que rige la actividad del Stellarator se basa precisamente en la idea de que el plasma nunca toca sus paredes, sino que se mantiene “flotando” en su interior, gracias a un campo magnético que se construye a partir de bobinas externas.

“Estamos interesados en no perder las partículas en los extremos, por eso doblamos un cilindro logrando una forma toroidal (parecida a una dona). Las partículas quedan atrapadas y para generar el campo magnético utilizamos bobinas. Las partículas dan vueltas alrededor de la forma y se calientan cada vez más para alcanzar la fusión”, explicó Vargas.

En el caso del SCR-1, el sistema de calentamiento funciona a partir de microondas. Una vez inyectado el hidrógeno en el dispositivo, este se ioniza para transformarse en plasma a temperaturas superiores a los 300 000 grados Celsius.

El proyecto más complejo de energía por reacciones de fusión nuclear se construye en Francia. Ubicado en Cadarache, el ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) fue diseñado bajo el concepto de Tokamak –“el primo” del Stellarator–, que además de utilizar bobinas superconductoras para generar el campo magnético, añade una corriente eléctrica impulsada a través del plasma.

Con el ITER se busca probar la viabilidad técnica y económica de la fusión nuclear para generar electricidad. De obtener un resultado positivo se le dará luz verde a un proyecto posterior, DEMO, para producir electricidad con fines comerciales, a través de un mecanismo con el que se aprovecha el calor generado por la fusión para mover turbinas de vapor conectadas a generadores eléctricos. ■