



Talento joven para hacer prevención en sistemas eléctricos

El Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad del Rosario es el epicentro de una investigación científica en la que estudiantes de pregrado de diversas áreas tienen un papel protagónico. Su trabajo para la clasificación e identificación inteligente de fallas en sistemas de energía a partir del uso de cámaras infrarrojas ha sido reconocido en escenarios internacionales y vislumbra perspectivas promisorias.

Por Felipe Gaitán García

Fotos EICT-URosario

DOI https://doi.org/10.12804/dvcn_10336.42691_num7

Cuando [David Celeita Rodríguez](#), exdirector del Programa de Ingeniería de Sistemas Energéticos –impulsado por la Escuela de Ingeniería, Ciencia y Tecnología de la Universidad del Rosario–, empezó a concebir su investigación, recordó a Marie Curie. La científica polaca, pionera en el estudio y descripción de la radiactividad, fue la primera mujer en recibir un premio Nobel y la única persona hasta hoy en ganarlo en dos categorías diferentes de ciencia: física (1903) y química (1911). Gracias a sus hallazgos se logró el desarrollo de los rayos x. Celeita Rodríguez evocó a aquella revolucionaria científica porque, si con ondas electromagnéticas fue posible divisar lo más profundo de la anatomía humana, su estudio le permitió auscultar en el interior de sistemas energéticos, como si se tratara de una radiografía a los equipos eléctricos para examinar su estado y diagnosticar o prever posibles daños.



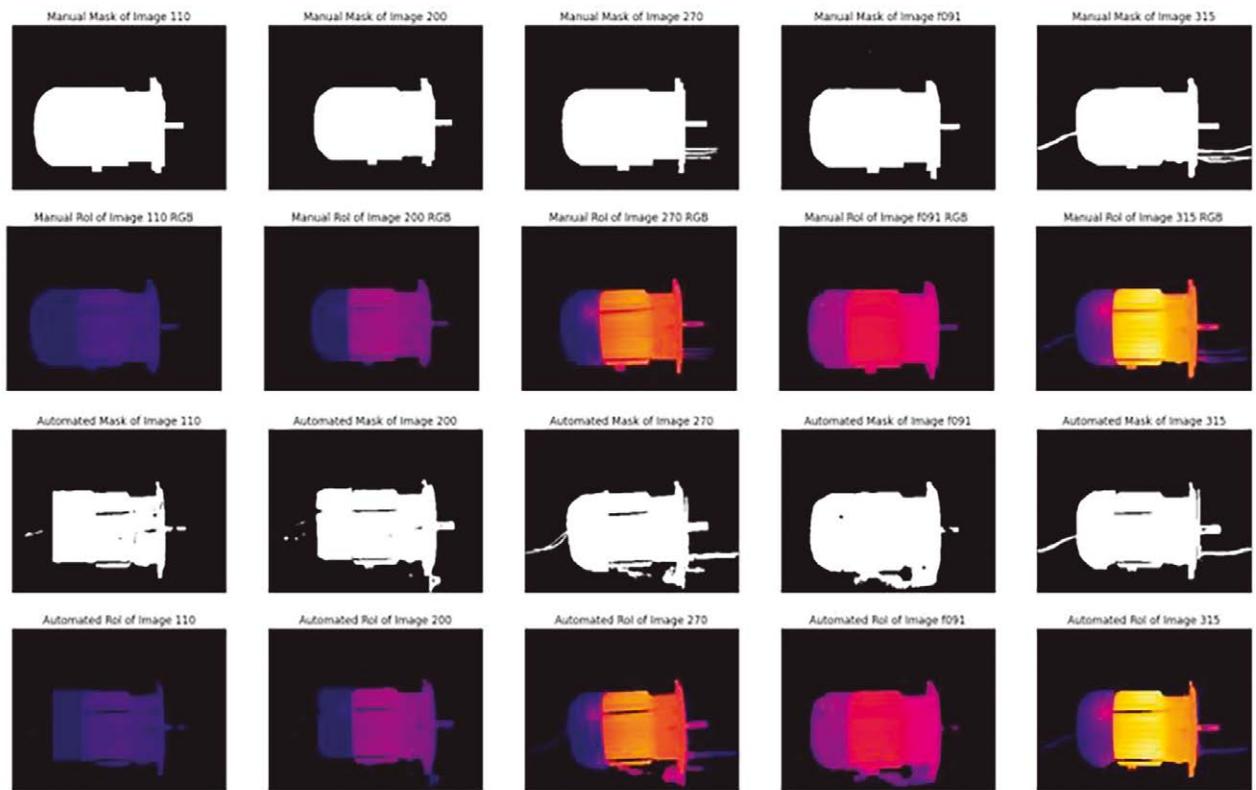


Image 110: 79.122 % ----- Image 200: 87.651% ----- Image 270: 82.096% ----- Image f091: 89.765% ----- Image 315: 89.373%

A inicios de 2023, mientras se desempeñaba como profesor de la Universidad del Rosario, Celeita Rodríguez reunió a un grupo interdisciplinario de estudiantes de pregrado en Matemáticas Aplicadas y Ciencias de la Computación, así como en Ingeniería de Sistemas Energéticos, con el propósito de explorar el campo de la clasificación y detección inteligente de fallas en equipos eléctricos mediante la toma de imágenes termográficas, es decir, de fotografías logradas a distancia que permiten determinar la temperatura de los sistemas energéticos para identificar funcionamientos defectuosos. En su rol de líder durante ese año, orientó a los alumnos para que fueran parte esencial dentro del proceso de observación, análisis y divulgación, en un área de estudio que ha cobrado relevancia en el mundo.

La idea de forjar este proyecto surgió a partir de una convocatoria del [Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos](#) (IEEE, por sus siglas en inglés), organización con sede en Nueva York (Estados Unidos), que promueve avances e innovaciones científicas dentro de estos campos del conocimiento. El requisito

↑
Imágenes termográficas de motores organizados en cinco grupos, analizadas con escala de grises y los índices de Jaccard correspondientes, tomadas del artículo científico *Smart equipment failure detection with machine learning applied to thermography inspection data in modern power systems*.

primordial exigido por la entidad norteamericana consistió en que los estudiantes debían desempeñar un rol estelar dentro del proceso.

Sumado a ello, el equipo de investigación contó el respaldo científico del profesor asistente de Ingeniería Electrónica e investigador de la universidad francesa Centrale Supélec, [Trung Dung Le](#). Fue así como los estudiantes Ana María Garzón, Natalia Laiton y Víctor Sicachá se aventuraron a contribuir desde sus saberes con el propósito del estudio.

Pronto el trabajo desplegado empezaría a brindar retribuciones para su todavía reciente vida académica. Los hallazgos de su actividad investigativa se publicaron inicialmente en la revista indexada del IEEE, mediante un artículo titulado [Smart equipment failure detection with machine learning applied to thermography inspection data in modern power systems](#) (*Detección inteligente de fallas de equipos, mediante aprendizaje automatizado aplicado a datos de inspección termográfica en sistemas de energía modernos*). Uno más será divulgado, otros dos ya fueron aceptados y uno restante permanece en revisión.

Con ello, la etapa de socialización del proyecto está en plena consolidación y busca un alto impacto dentro de la industria a corto, mediano y largo plazo.

Pero ¿de qué se trata la investigación y por qué es tan relevante? Como primera medida, el equipo construyó un

estado del arte desde el cual pudieron identificar aquellos estudios similares que se han realizado en todo el mundo. A partir de esos trabajos se configuró una base de datos e imágenes.

Luego vino la etapa experimental, la cual consistió en utilizar cámaras infrarrojas para medir la temperatura de equipos eléctricos y electrónicos, como transformadores y motores, en espacios cerrados. Una vez logradas las imágenes termográficas, se emplearon técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automatizado (*machine learning*), con la intención de procesar dichas fotografías e introducir un algoritmo que permitiera su clasificación en *clusters*.

Dentro de la muestra de estudio se obtuvieron 624 imágenes termográficas (369 de motores de inducción y 255 de transformadores). A partir de un método de aprendizaje automático no supervisado llamado máquina de soporte vectorial fue posible clasificar las fotografías de los equipos eléctricos en dos categorías: frías y calientes, lo que permitió determinar temperaturas anormales en los sistemas.

Mediante el uso de una escala de grises, además de la observación de los píxeles, se pudo establecer qué tipo de daños se podían identificar. Después de ello se segmentaron las imágenes para encontrar las regiones de interés. Allí, al eliminar el fondo de las fotos obtenidas y focalizar un área específica de los dispositivos se hicieron evidentes aquellas que presentaban defectos; así mismo, las características encontradas según la escala de grises configuraron elementos para anticipar y predecir eventuales fallas.

Como resultado del procedimiento se hallaron defectos en los sistemas con una precisión del 90 por ciento, según el índice de Jaccard, que mide la tasa de similitud entre dos conjuntos de datos. De acuerdo con los expertos, este logro contribuye a la predicción de errores en sistemas eléctricos mucho antes de que ocurran y permite tomar decisiones hacia el futuro.

Celeita Rodríguez, quien es magíster y doctor en Ingeniería Eléctrica, explica que la investigación nace de la idea de aportar al desarrollo del “internet de las cosas” (concepto que se usa para definir un sistema de dispositivos electrónicos interconectados a través de una red inalámbrica y que permite compartir datos o información) dentro de las plantas eléctricas, sobre todo en sectores como la industria y el comercio, cuyo funcionamiento depende en buena parte de aparatos vulnerables a diferentes tipos de afectaciones.

“Hace muchas décadas trabajábamos sólo con señales análogas eléctricas, como con el uso de termostatos para regular la temperatura. Hoy en día, con la coyuntura de la industria 4.0 (también denominada cuarta revolución industrial), que supone la utilización de inteligencias artificiales, la digitalización, la interconectividad y la captación de datos en tiempo real, podemos tomar fotografías infrarrojas y ver cómo están los equipos en su interior, lo cual nos permite obtener información valiosa”, explica el investigador. Por lo tanto, ya no sólo se trata de capturar imágenes del presente, sino que también se puede llegar a predecir defectos, a fin de tomar decisiones proactivas, uno de los objetivos principales del proyecto que encabeza.



Ana María Garzón, estudiante de Matemáticas Aplicadas y Ciencias de la Computación de la UROSario e integrante del equipo que expuso los avances de la investigación en el congreso realizado en Francia, sostiene que “estamos haciendo cosas de vanguardia, no sólo para Colombia y Latinoamérica, sino para el mundo...”.



Víctor Sicachá, estudiante de Matemáticas Aplicadas y Ciencias de la Computación, añade que su aporte al proyecto ha constituido un punto de ruptura en sus perspectivas profesionales. “Si antes no era investigador, ahora quizás tenga una puerta abierta para serlo más adelante. Este equipo me ha brindado esa posibilidad”.

El valor de la detección y la predicción

El ser humano ha construido una civilización contemporánea que se sustenta en sistemas eléctricos. Para que las dinámicas de la sociedad puedan continuar desarrollándose sin problemas hay que vigilar su correcto funcionamiento y efectuar mantenimientos periódicos. En ese escenario, una inconsistencia en cualquier dispositivo, derivada, por ejemplo, de una condición anormal que altera el voltaje o la corriente, es capaz de generar serias perturbaciones a grandes escalas económicas, sociales y humanas. Un incendio causado por un defecto en los equipos de una fábrica no sólo conlleva pérdidas materiales, sino también un riesgo para la vida de los trabajadores.

Según el profesor Celeita, el mantenimiento convencional de los sistemas eléctricos supone la interrupción en cerca del 45 por ciento de las operaciones, lo cual igualmente implica una inversión económica en la evaluación de los equipos. Esta se ha constituido en una preocupación constante para el sector industrial. De allí que la clasificación y la detección de fallas por imágenes termográficas sean una opción eficaz y no invasiva como método predictivo y de prevención de defectos que pueden escalar y causar daños mayúsculos.

Cuando se habla de protección e inspección en la seguridad de los operarios, “la vida humana es lo que prima ante una posible alteración que puede generar explosiones de transformadores y grandes volúmenes de energía”, enfatiza Celeita. En segundo lugar está el equipo: “Si lo podemos proteger antes de que suceda una catástrofe, mucho mejor”. Por ello, identificar los defectos a partir de imágenes termográficas contribuye a evitar la interrupción de sistemas eléctricos esenciales, como los de las viviendas, el comercio y la infraestructura hospitalaria. “Al analizar las fotografías y explorar el interior de los dispositivos nos convertimos en una especie de médicos de los sistemas energéticos, para tomar decisiones preventivas y proactivas”, complementa.

Para [Camilo Salazar Palacio](#), ingeniero electrónico de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y docente de la Escuela de Ciencias Exactas e Ingeniería de la Universidad Sergio Arboleda, “un sistema de predicción y detección temprana de averías mediante el uso de imágenes termográficas, y con un nivel adecuado de entrenamiento, puede disminuir de manera sustancial los accidentes en cualquier escenario”. Destaca que, por ejemplo, las altas temperaturas pueden causar incidentes como cortocircuitos y



↑
Las estudiantes de Matemáticas Aplicadas y Ciencias de la Computación, Ana María Garzón y Natalia Laiton, recibieron el *Outstanding Young Scientist Award* por su investigación en el Smart Grid 2023 de París, Francia.

explosiones, por lo que poder identificar estas anomalías en los rangos de operación de los artefactos permite reducir la ocurrencia de posibles accidentes térmicos.

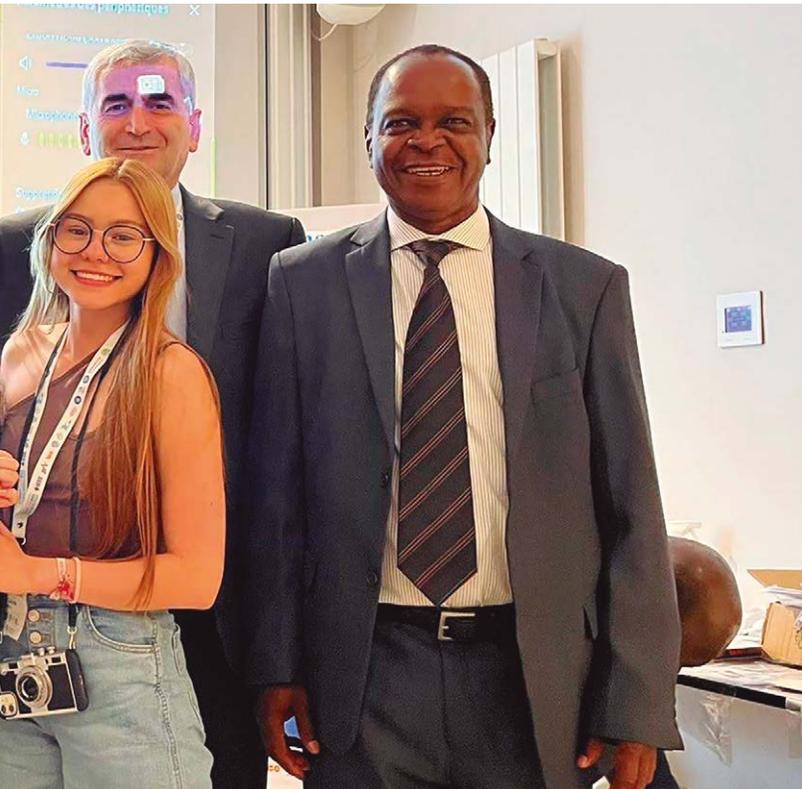
Las repercusiones de la investigación

Si bien la exploración de imágenes termográficas como método de clasificación y detección de fallas en equipos eléctricos ha ganado espacio en diversos centros de investigación del mundo, en Colombia este enfoque apenas ha empezado a ocupar un lugar preponderante en los laboratorios de ingeniería de sistemas energéticos. Es por esta razón que el estudio liderado por la Universidad del Rosario ha despertado el interés de instituciones académicas de Europa y Estados Unidos.

El proyecto fue impulsado por el [Grupo de Ingeniería Electrónica de París \(GeePs\)](#), de la Universidad Centrale Supélec, y cofinanciado por la [Zucker Faculty Grant del IEEE](#), así como por la [Escuela de Ingeniería, Ciencia y Tecnología de la Universidad del Rosario](#), la [Sociedad de Aplicaciones de la Industria \(IAS\)](#) del IEEE y la [Fundación IEEE](#).

Los reconocimientos para este equipo de trabajo no se han hecho esperar. En junio de 2023 recibió el *Outstanding Young Scientist Award* (mejor trabajo desarrollado por científicos jóvenes), en el marco de la *11th International Conference on Smart Grid (icSmart Grid)* llevada a cabo en París.

“Es un hito que estudiantes de pregrado logren cierto protagonismo o visualización en reconocimientos internacionales”, resalta Celeita Rodríguez a la vez que nos comparte que académicos y aspirantes doctorales de instituciones de ingeniería francesas se sorprendieron al saber sobre el nivel de los



trabajos científicos que se están desarrollando en el Rosario. “Es muy significativo darnos cuenta de que esos intereses de la industria se pueden vincular desde muy temprano durante la formación en los pregrados, en cursos, en semilleros y en grupos de investigación”, recalca.

Por su parte, [Ana María Garzón](#), estudiante de Matemáticas Aplicadas y Ciencias de la Computación de la Institución e integrante del equipo que expuso los avances de la investigación en el congreso realizado en Francia, sostiene que “estamos haciendo cosas de vanguardia, no sólo para Colombia y Latinoamérica, sino para el mundo. Creo que en la Universidad del Rosario se está haciendo investigación de alto nivel. Al poder participar en la conferencia aprendí mucho de la industria”. Además, refiere que las imágenes termográficas son relativamente nuevas, por lo que no es tan sencillo encontrar conjuntos de datos que muestren las fallas y la información que se requiere. Todo ello, en su opinión, es una gran recompensa por el trabajo adelantado.

Mientras tanto, [Víctor Sicachá](#), también estudiante de Matemáticas Aplicadas y Ciencias de la Computación, añade que su aporte al proyecto ha constituido un punto de ruptura en sus perspectivas profesionales. “Si antes no era investigador, ahora quizás tenga una puerta abierta para serlo más adelante. Este equipo me ha brindado esa posibilidad”.

Perspectivas hacia el futuro

Uno de los objetivos del proyecto es extender su foco de estudio hacia sistemas energéticos en espacios abiertos, como, por ejemplo, los paneles solares fotovoltaicos, muy en boga



Natalia Laiton, estudiante de Matemáticas Aplicadas y Ciencias de la Computación, también hizo parte del equipo de investigación y se aventuró a contribuir desde sus saberes con el propósito del estudio.

en la actualidad por la inminente transición energética. Esto implica un esfuerzo en términos de exploración, pero también un desafío económico.

Replicar el modelo de imágenes termográficas del proyecto en sistemas de espacios abiertos supone una mayor inversión en investigación y tecnología. Se necesitan drones y cámaras térmicas, entre otras herramientas que son relativamente costosas. Hoy por hoy, comenta el profesor Celeita Rodríguez, los que más desarrollan termografía tienen suficiente infraestructura para monitorizar los equipos en espacios cerrados, pero el campo de acción está migrando hacia las áreas abiertas. “Hacia allá vamos, estamos en proceso de adquirir la cámara térmica y así poder trabajar con equipos propios”, concluye.

En octubre del año pasado el equipo de trabajo fue invitado a una conferencia en Nashville (Estados Unidos) para presentar los avances de su proyecto y socializar una nueva publicación que describe sus hallazgos científicos, con lo cual los alcances del estudio continúan expandiéndose. Entretanto, en el [Laboratorio de Energías Renovables de la URosario](#), que opera con paneles solares y una turbina eólica ubicados en la cubierta del edificio, los estudiantes siguen debatiendo y construyendo juntos el curso de su investigación. ■