



INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

5.3. CASOS DE ÉXITO

ASTROFÍSICA

Proyecto: Estudio de la Maquinaria Central en Galaxias Activas. II (2018 – 2023)

Desarrollado en la Unidad o Subsede: Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), Tonantzintla, Puebla

Empresa: N/A

Monto: 825,194.00

Línea de Investigación que atiende: Astrofísica Extragaláctica, Astrofísica de Altas Energías.

Zona de Influencia: La generación de conocimientos, derivada de este proyecto, impacta directamente en los grupos de investigación que a nivel mundial se encuentran trabajando en este tema. Además, ha servido para el desarrollo de varias tesis de Maestría y Doctorado, impactando directamente en la calidad del posgrado de Astrofísica en el INAOE. También se desarrollaron dos tesis de licenciatura, fortaleciendo la relación del INAOE con las instituciones de nivel superior del Estado de Puebla.

Objetivo:

El estudio de la maquinaria central en Galaxias Activas (AGN) con jets relativistas y sus galaxias anfitrionas es crucial para comprender su relación con los agujeros negros y su impacto en el entorno galáctico. Los objetivos principales son:

- Identificar la ubicación y los mecanismos de emisión de alta energía en AGNs, especialmente en blazares y radio galaxias, para comprender cómo los jets aceleran partículas y cómo esta energía afecta su entorno cercano.
- Investigar el impacto del AGN en su galaxia anfitriona, particularmente, cómo la actividad del AGN influye en el medio ambiente cercano y a gran escala, incluyendo el medio intergaláctico.
- Construir muestras de galaxias activas de diferentes tipos de actividad para estudios futuros detallados en múltiples longitudes de onda.





INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

Descripción:

Para ser considerado como un caso de éxito, mencionaría lo siguiente:

Participaron en el proyecto siete alumnos de doctorado, cuatro alumnos de maestría y dos alumnos de licenciatura, nueve de ellos graduados, además de cuatro alumnos de residencia profesional. El proyecto se centró en investigar la maquinaria central de los núcleos activos de galaxias y desarrollar metodologías para la búsqueda e identificación de candidatos a blazares.

Las contribuciones clave de este proyecto son las siguientes:

(i) La localización precisa de la región de emisión de rayos gamma es desafiante en muchos blazares. La producción de rayos gamma depende de las propiedades físicas y del entorno de cada fuente, lo que permite que cambie de ubicación entre eventos de ráfaga. El mecanismo de producción de rayos gamma es complejo y puede variar con el tiempo. Los modelos de chorro de zona múltiple son altamente recomendados para abordar estas variaciones. Además, se encontró evidencia de un componente saliente de la región de líneas anchas (BLR), que podría contribuir a la producción de rayos gamma al proporcionar un nuevo campo de fotones de baja energía. La presencia de un componente BLR no virializado, así como la capacidad del chorro para ionizar estas nubes de BLR, deben ser considerados al estimar la masa del agujero negro utilizando métodos espectroscópicos.

(ii) El estudio de las propiedades de una muestra de galaxias Seyfert tipo 1 de líneas angostas, radio fuerte (RL-NLSy1) y emisores de rayos gamma (gamma-NLSy1), sugiere que pueden existir potentes chorros relativistas lanzados desde sistemas en forma de disco en lugar de galaxias elípticas o bulbo clásicas. Esto desafía el paradigma convencional de producción de chorro. La evolución secular, impulsada por las propiedades peculiares de la barra en nuestra muestra, podría ser responsable de canalizar el combustible hacia el centro de la galaxia para alimentar el agujero negro y desencadenar la actividad nuclear. Además, la actividad nuclear en gamma-NLSy1s podría ser el resultado de un proceso similar, potenciado por fusiones menores. Se encontraron diferencias significativas entre los discos y bulbo RL-NLSy1s y los gamma-NLSy1s, lo que sugiere diferentes procesos nucleares. Se identificaron seis sistemas que muestran un desplazamiento entre el bulbo estelar y los AGN, lo que sugiere una conexión importante entre los AGN y las fusiones de galaxias. La relación entre la luminosidad nuclear y del bulbo sugiere una retroalimentación positiva. Además, se





INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

observó que los NLSy1 radio fuertes se comportan de manera similar a los cuasares radio fuertes de espectro plano (FSRQ).

(iii) Se llevó a cabo un programa crucial para confirmar la naturaleza de los candidatos a blazar de rayos gamma y determinar sus corrimientos al rojo. Desde 2018, se emprendió una campaña de seguimiento basada en observaciones espectroscópicas realizadas en telescopios terrestres de clase 2-4 m. Gracias a esta campaña, se descubrieron y clasificaron 522 blazares, proporcionando estimaciones confiables de corrimiento al rojo para la mayoría de las fuentes.

(iv) Se presentaron dos catálogos de candidatos a blazares radio fuertes basados en colores medidos en el infrarrojo medio del Wide-Field Infrared Survey Explorer (WISE). Estos catálogos se utilizarán en futuros análisis para determinar la posición precisa de las contrapartes de baja energía en el rango de 0.5-10 keV para fuentes del 3rd Palermo Burst Alert Telescope (BAT) Catalog. Además, se presentó un nuevo catálogo de potentes fuentes de radio, visible desde el Hemisferio Sur, extraído del catálogo The Galactic and Extra-Galactic All-Sky Murchison Widefield Array (MWA) Survey 4 Jy (G4Jy) y basado en criterios de selección equivalentes a los del The Third Cambridge Catalogue of Radio Sources.

El trabajo resultó en la publicación de 37 artículos en revistas científicas de calidad, en 10 de los cuales, los estudiantes del INAOE resultaron ser primer autor. Estas publicaciones generaron más de 500 citas hasta la fecha. El proyecto también facilitó colaboraciones estrechas con diversas instituciones nacionales e internacionales, incluidos centros importantes como el Instituto de Astronomía de la UNAM, el Center for Astrophysics Harvard & Smithsonian, el Istituto Nazionale di Astrofisica y el Max-Planck-Institut für Radioastronomie.

➤ La participación de otros actores o instituciones partes (en caso de que aplique); Center for Astrophysics Harvard & Smithsonian (USA); East Asian Observatory (Hilo, USA); Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (Italy); INAF-Osservatorio Astrofisico di Torino; Universidad Andrés Bello (Chile); Max-Planck-Institut für Radioastronomie (Germany); Universidad Nacional Autónoma de México; Finnish Centre for Astronomy with ESO (FINCA), University of Turku (Finland); Physikalisches Institut Universität zu Köln (Germany); Special Astrophysical Observatory (Russia); Astronomical Observatory (Serbia); Department of Astronomy, Faculty of Mathematics, University of Belgrade (Serbia); Millennium Institute of Astrophysics (Chile); Instituto de Física y Astronomía,





INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

Facultad de Ciencias, Universidad de Valparaíso (Chile), European Southern Observatory (Germany) ...

- El financiamiento, por ejemplo, si fue financiado con la industria; N/A
- El nivel de madurez tecnológica como la generación de propiedad intelectual –en caso de que fuera de desarrollo tecnológico o de innovación; TRL1
- Las evidencias de su incidencia o relevancia;

I. Publicaciones

1. Bruni, G., Panessa, F., Ghisellini, G., Chavushyan, V., Peña-Herazo, H. A., Hernández-García, L., Bazzano, A., Ubertini, P., Kraus, A., 2018. The Astrophysical Journal, 854, L23.

Fermi Transient J1544-0649: A Flaring Radio-weak BL Lac.

[<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018ApJ...854L..23B>]

2. Goyal, A., Stawarz, Ł., Zola, S., Marchenko, V., Soida, M., Nilsson, K., Ciprini, S., Baran, A., Ostrowski, M., Wiita, P. J., Gopal-Krishna, Siemiginowska, A., Sobolewska, M., Jorstad, S., Marscher, A., Aller, M. F., Aller, H. D., Hovatta, T., Caton, D. B., Reichart, D., Matsumoto, K., Sadakane, K., Gazeas, K., Kidger, M., Piirola, V., Jermak, H., Alicavus, F., Baliyan, K. S., Baransky, A., Berdyugin, A., Blay, P., Boumis, P., Boyd, D., Bufan, Y., Campas Torrent, M., Campos, F., Carrillo Gómez, J., Dalessio, J., Debski, B., Dimitrov, D., Drozd, M., Er, H., Erdem, A., Escartin Pérez, A., Fallah Ramazani, V., Filippenko, A. V., Gafton, E., Garcia, F., Godunova, V., Gómez Pinilla, F., Gopinathan, M., Haislip, J. B., Haque, S., Harmanen, J., Hudec, R., Hurst, G., Ivarsen, K. M., Joshi, A., Kagitani, M., Karaman, N., Karjalainen, R., Kaur, N., Koziel-Wierzbowska, D., Kuligowska, E., Kundera, T., Kurowski, S., Kvammen, A., LaCluyze, A. P., Lee, B. C., Liakos, A., Lozano de Haro, J., Moore, J. P., Mugrauer, M., Naves Nogue, R., Neely, A. W., Ogloza, W., Okano, S., Pajdosz, U., Pandey, J. C., Perri, M., Poyner, G., Provencal, J., Pursimo, T., Raj, A., Rajkumar, B., Reinthal, R., Reynolds, T., Saario, J., Sadegi, S., Sakanoi, T., Salto González, J. L., Sameer, Simon, A. O., Siwak, M., Schweyer, T., Soldán Alfaro, F. C., Sonbas, E., Strobl, J., Takalo, L. O., Tremosa Espasa, L., Valdes, J. R., Vasylenko, V. V., Verrecchia, F., Webb, J. R., Yoneda, M., Zejmo, M., Zheng, W., Zielinski, P., Janik, J., Chavushyan, V., Mohammed, I., Cheung, C. C., Giroletti, M., 2018. The Astrophysical Journal, 863, 175. **Stochastic Modeling of Multiwavelength Variability of the Classical BL Lac Object OJ 287 on Timescales Ranging from Decades to Hours.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018ApJ...863..175G>]

3. Hernández-García, L., Vietri, G., Panessa, F., Piconcelli, E., Chavushyan, V., Jiménez-Andrade, E. F., Bassani, L., Bazzano, A., Cazzoli, S., Malizia, A., Masetti, N., Monaco, L., Pović, M., Saviane, I., Ubertini, P., 2018. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 478, 4634. **Variable broad lines and outflow in the weak blazar PBC J2333.9-2343.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018MNRAS.478.4634H>]



INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

4. Patiño-Álvarez, V. M., Fernandes, S., Chavushyan, V., López-Rodríguez, E., León-Tavares, J., Schlegel, E. M., Carrasco, L., Valdés, J., Carramiñana, A., 2018. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 479, 2037. **Multiwavelength photometric and spectropolarimetric analysis of the FSRQ 3C 279.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018MNRAS.479.2037P>]
5. Dey, L., Valtonen, M. J., Gopakumar, A., Zola, S., Hudec, R., Pihajoki, P., Ciprini, S., Matsumoto, K., Sadakane, K., Kidger, M., Nilsson, K., Mikkola, S., Sillanpää, A., Takalo, L. O., Lehto, H. J., Berdyugin, A., Piirola, V., Jermak, H., Baliyan, K. S., Pursimo, T., Caton, D. B., Alicavus, F., Baransky, A., Blay, P., Boumis, P., Boyd, D., Campas Torrent, M., Campos, F., Carrillo Gómez, J., Chandra, S., Chavushyan, V., Dalessio, J., Debski, B., Drozd, M., Er, H., Erdem, A., Escartin Pérez, A., Fallah Ramazani, V., Filippenko, A. V., Gafton, E., Ganesh, S., Garcia, F., Gazeas, K., Godunova, V., Gómez Pinilla, F., Gopinathan, M., Haislip, J. B., Harmanen, J., Hurst, G., Janík, J., Jelinek, M., Joshi, A., Kagitani, M., Karjalainen, R., Kaur, N., Keel, W. C., Kouprianov, V. V., Kundera, T., Kurowski, S., Kvammen, A., LaCluyze, A. P., Lee, B. C., Liakos, A., Lindfors, E., Lozano de Haro, J., Mugrauer, M., Naves Nogues, R., Neely, A. W., Nelson, R. H., Ogloza, W., Okano, S., Pajdosz-Śmierciak, U., Pandey, J. C., Perri, M., Poyner, G., Provencal, J., Raj, A., Reichart, D. E., Reinthal, R., Reynolds, T., Saario, J., Sadegi, S., Sakanoi, T., Salto González, J.-L., Sameer, Schweyer, T., Simon, A., Siwak, M., Soldán Alfaro, F. C., Sonbas, E., Steele, I., Stocke, J. T., Strobl, J., Tomov, T., Tremosa Espasa, L., Valdes, J. R., Valero Pérez, J., Verrecchia, F., Vasylenko, V., Webb, J. R., Yoneda, M., Zejmo, M., Zheng, W., Zielinski, P., 2018. The Astrophysical Journal, 866, 11. **Authenticating the Presence of a Relativistic Massive Black Hole Binary in OJ 287 Using Its General Relativity Centenary Flare: Improved Orbital Parameters.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018ApJ...866...11D>]
6. Longinotti, A. L., Vega, O., Krongold, Y., Aretxaga, I., Yun, M., Chavushyan, V., Feruglio, C., Gómez-Ruiz, A., Montaña, A., León-Tavares, J., Olguín-Iglesias, A., Giroletti, M., Guainazzi, M., Kotilainen, J., Panessa, F., Zapata, L. A., Cruz-Gonzalez, I., Patiño-Álvarez, V. M., Rosa-Gonzalez, D., Carramiñana, A., Carrasco, L., Costantini, E., Dultzin, D., Guichard, J., Puerari, I., Santos-Lleo, M., 2018. The Astrophysical Journal, 867, L11. **Early Science with the Large Millimeter Telescope: An Energy-driven Wind Revealed by Massive Molecular and Fast X-Ray Outflows in the Seyfert Galaxy IRAS 17020+4544.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018ApJ...867L..11L>]
7. Marchesini, E. J., Peña-Herazo, H. A., Álvarez Crespo, N., Ricci, F., Negro, M., Milisavljevic, D., Massaro, F., Masetti, N., Landoni, M., Chavushyan, V., D'Abrusco, R., Jiménez-Bailón, E., La Franca, F., Paggi, A., Smith, H. A., Tosti, G., 2019. Astrophysics and Space Science, 364, 5. **Optical spectroscopic observations of gamma-ray blazar candidates VIII: the 2016-**





INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

2017 follow up campaign carried out at SPM, NOT, KPNO and SOAR telescopes.

[<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019Ap&SS.364...5M>]

8. Peña-Herazo, H. A., Massaro, F., Chavushyan, V., Marchesini, E. J., Paggi, A., Landoni, M., Masetti, N., Ricci, F., D'Abrusco, R., Milisavljevic, D., Jiménez-Bailón, E., La Franca, F., Smith, H. A., Tosti, G., 2019. *Astrophysics and Space Science*, 364, 85. **Optical spectroscopic observations of gamma-ray blazar candidates. IX. Optical archival spectra and further observations from SOAR and OAGH.**

[<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019Ap&SS.364...85P>]

9. D'Abrusco, R., Álvarez Crespo, N., Massaro, F., Campana, R., Chavushyan, V., Landoni, M., La Franca, F., Masetti, N., Milisavljevic, D., Paggi, A., Ricci, F., Smith, H. A., 2019. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 242, 4. **Two New Catalogs of Blazar Candidates in the WISE Infrared Sky.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019ApJS..242...4D>]

10. Shapovalova, A. I., Popović, L. Č., Afanasiev, V. L., Ilić, D., Kovačević, A., Burenkov, A. N., Chavushyan, V. H., Marčeta-Mandić, S., Spiridonova, O., Valdes, J. R., Bochkarev, N. G., Patiño-Álvarez, V., Carrasco, L., Zhdanova, V. E., 2019. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 485, 4790. **Long-term optical spectral monitoring of a changing-look active galactic nucleus NGC 3516 - I. Continuum and broad-line flux variability.**

[<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019MNRAS.485.4790S>]

11. Hernández Santisteban, J. V., Echevarría, J., Zharikov, S., Neustroev, V., Tovmassian, G., Chavushyan, V., Napiwotzki, R., Costero, R., Michel, R., Sánchez, L. J., Ruelas-Mayorga, A., Olgún, L., García-Díaz, M. T., González-Buitrago, D., de Miguel, E., de la Fuente, E., de Anda, R., Suleimanov, V., 2019. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 486, 2631.

From outburst to quiescence: spectroscopic evolution of V1838 Aql imbedded in a bow-shock nebula. [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019MNRAS.486.2631H>]

12. Marchesini, E. J., Masetti, N., Palazzi, E., Chavushyan, V., Jiménez-Bailón, E., Patiño-Álvarez, V. M., Reynaldi, V., Rojas, A. F., Saviane, I., Andruchow, I., Bassani, L., Bazzano, A., Bird, A. J., Malizia, A., Minniti, D., Monaco, L., Stephen, J. B., Ubertini, P., 2019. *Astrophysics and Space Science*, 364, 153. **Optical spectroscopic classification of 35 hard X-ray sources from the Swift-BAT 70-month catalogue.**

[<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019Ap&SS.364..153M>]

13. Patiño-Álvarez, V. M., Dzib, S. A., Lobanov, A., Chavushyan, V., 2019. *Astronomy and Astrophysics*, 630, A56. **Is there a non-stationary γ -ray emission zone 42 pc from the 3C 279 core?** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019A&A...630A..56P>]

14. Hernández-García, L., Panessa, F., Bassani, L., Bruni, G., Ursini, F., Chavushyan, V., González-Martín, O., Cazzoli, S., Jiménez-Andrade, E. F., Arévalo, P., Díaz, Y., Bazzano, A., Ubertini, P., 2019. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 489, 4049. **A young**





INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

and obscured AGN embedded in the giant radio galaxy Mrk 1498. [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019MNRAS.489.4049H>]

15. de Menezes, R., Amaya-Almazán, R. A., Marchesini, E. J., Peña-Herazo, H. A., Massaro, F., Chavushyan, V., Paggi, A., Landoni, M., Masetti, N., Ricci, F., D'Abrusco, R., La Franca, F., Smith, H. A., Milisavljevic, D., Tosti, G., Jiménez-Bailón, E., Cheung, C. C., 2020. *Astrophysics and Space Science*, 365, 12. **Optical spectroscopic observations of gamma-ray blazar candidates. X. Results from the 2018-2019 SOAR and OAN-SPM observations of blazar candidates of uncertain type.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020Ap&SS.365...12D>]

16. Olguin-Iglesias, A., Kotilainen, J., Chavushyan, V., 2020. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 492, 1450. **The disc-like host galaxies of radio-loud narrow-line Seyfert 1s.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020MNRAS.492.1450O>]

17. Chavushyan, V., Patiño-Álvarez, V. M., Amaya-Almazán, R. A., Carrasco, L., 2020. *The Astrophysical Journal*, 891, 68. **Flare-like Variability of the Mg II $\lambda 2798 \text{ \AA}$ Emission Line and UV Fe II Band in the Blazar CTA 102.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020ApJ...891...68C>]

18. Artola, R., Beroiz, M., Cabral, J., Camuccio, R., Castillo, M., Chavushyan, V., Colazo, C., Cuevas, H., DePoy, D. L., Díaz, M. C., Domínguez, M., Dultzin, D., Fernández, D., Ferreyra, A. C., Fonrouge, A., Franco, J., Graña, D., Girardini, C., Gurovich, S., Kanaan, A., Lambas, D. G., Lares, M., Hinojosa, A. F., Hinojosa, A., Hinojosa, A. F., López-Cruz, O., Macri, L. M., Marshall, J. L., Melia, R., Mendoza, W., Castellón, J. L. N., Padilla, N., Perez, V., Peñuela, T., Rattray, W., Renzi, V., Ríos-López, E., Rivera, A. R., Ribeiro, T., Rodríguez, H., Sánchez, B., Schneiter, M., Schoenell, W., Starck, M., Vrech, R., Quiñones, C., Tapia, L., Tornatore, M., Torres-Flores, S., Vilchis, E., Zdrożny, A., 2020. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 493, 2207. **TOROS optical follow-up of the advanced LIGO- VIRGO O2 second observational campaign.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020MNRAS.493.2207A>]

19. Fernandes, S., Patiño-Álvarez, V. M., Chavushyan, V., Schlegel, E. M., Valdés, J. R., 2020. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 497, 2066. **Multiwavelength analysis of the variability of the blazar 3C 273.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020MNRAS.497.2066F>]

20. Peña-Herazo, H. A., Amaya-Almazán, R. A., Massaro, F., de Menezes, R., Marchesini, E. J., Chavushyan, V., Paggi, A., Landoni, M., Masetti, N., Ricci, F., D'Abrusco, R., Cheung, C. C., La Franca, F., Smith, H. A., Milisavljevic, D., Jiménez-Bailón, E., Patiño-Álvarez, V. M., Tosti, G., 2020. *Astronomy and Astrophysics*, 643, A103. **Optical spectroscopic observations of low-energy counterparts of Fermi-LAT γ -ray sources.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020A&A...643A.103P>]

21. Cruz-González, I., Gómez-Ruiz, A. I., Caldú-Primo, A., Benítez, E., Rodríguez-Espinosa, J. M., Krongold, Y., Aretxaga, I., Snell, R., González-Martin, O., Negrete, C. A., Narayanan, G.,





INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

- Hughes, D. H., Yun, M. S., Fazio, G. G., Chavushyan, V., Hiriart, D., Jiménez-Bailón, E., Herrera-Endoqui, M., Martínez-Paredes, M., González, J. J., 2020. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 499, 2042. **Early science with the LMT: molecular torus in UGC 5101.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020MNRAS.499.2042C>]
22. Amaya-Almazán, R. A., Chavushyan, V., Patiño-Álvarez, V. M., 2021. The Astrophysical Journal, 906, 5. **Multiwavelength Analysis and the Difference in the Behavior of the Spectral Features during the 2010 and 2014 Flaring Periods of the Blazar 3C 454.3.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021ApJ...906....5A>]
23. Salomé, Q., Longinotti, A. L., Krongold, Y., Feruglio, C., Chavushyan, V., Vega, O., García-Burillo, S., Fuente, A., Olguín-Iglesias, A., Patiño-Álvarez, V. M., Puerari, I., Robleto-Orús, A., 2021. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 501, 219. **Evidence of galaxy interaction in the narrow-line Seyfert 1 galaxy IRAS 17020+4544 seen by NOEMA.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021MNRAS.501..219S>]
24. Peña-Herazo, H. A., Massaro, F., Gu, M., Paggi, A., Landoni, M., D'Abrusco, R., Ricci, F., Masetti, N., Chavushyan, V., 2021. The Astronomical Journal, 161, 196. **An Optical Overview of Blazars with LAMOST. I. Hunting Changing-look Blazars and New Redshift Estimates.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021AJ....161..196P>]
25. Peña-Herazo, H. A., Massaro, F., Gu, M., Paggi, A., Landoni, M., D'Abrusco, R., Ricci, F., Masetti, N., Chavushyan, V., 2021. The Astronomical Journal, 162, 76. **An Optical Overview of Blazars with LAMOST. II. Gamma- Ray Blazar Candidates and Updated Classifications.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021AJ....162...76P>]
26. Peña-Herazo, H. A., Paggi, A., García-Pérez, A., Amaya-Almazán, R. A., Massaro, F., Ricci, F., Chavushyan, V., Marchesini, E. J., Masetti, N., Landoni, M., D'Abrusco, R., Milisavljevic, D., Jiménez-Bailón, E., Patiño-Álvarez, V. M., La Franca, F., Smith, H. A., Tosti, G., 2021. The Astronomical Journal, 162, 177. **Optical Spectroscopic Observations of Gamma-ray Blazar Candidates. XI. Optical Observations from SOAR, Blanco, NTT and OAN-SPM. The Story So Far.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021AJ....162..177P>]
27. Peña-Herazo, H. A., Massaro, F., Chavushyan, V., Masetti, N., Paggi, A., Capetti, A., 2022. Astronomy and Astrophysics, 659, A32. **Turin-SyCAT: A multifrequency catalog of Seyfert galaxies.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022A&A...659A..32P>]
28. Amaya-Almazán, R. A., Chavushyan, V., Patiño-Álvarez, V. M., 2022. The Astrophysical Journal, 929, 14. **Multiwavelength Analysis and the C IV $\lambda 1549$ Å Emission Line Behavior From 2008 to 2020 of FSRQ B2 1633+382.** [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022ApJ...929...14A>]
29. Gupta, A. C., Kushwaha, P., Carrasco, L., Xu, H., Wiita, P. J., Escobedo, G., Porras, A., Recillas, E., Mayya, Y. D., Chavushyan, V., Villarroel, B., Zhang, Z., 2022. The Astrophysical Journal Supplement Series, 260, 39. **Long-term Multiband Near-infrared Variability of**





INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

the **Blazar OJ 287** during **2007-2021**. [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022ApJS..260...39G>]

30. Benítez, E., Jiménez-Bailón, E., Negrete, C. A., Ruschel-Dutra, D., Rodríguez-Espinosa, J. M., Cruz-González, I., Rodríguez, L. F., Chavushyan, V. H., Marziani, P., Gutiérrez, L., González-Martin, O., Jiang, B. W., D'Onofrio, M., 2022. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 516, 5270. **Unravelling the nature of the dual AGN in the galaxy pair system IRAS 05589+2828 and 2MASX J06021107 + 2828382**. [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022MNRAS.516.5270B>]

31. Marchesini, E. J., Reynaldi, V., Vieyro, F., Saponara, J., Andruchow, I., López, I. E., Benaglia, P., Cellone, S. A., Masetti, N., Massaro, F., Peña-Herazo, H. A., Chavushyan, V., Combi, J. A., Acosta-Pulido, J. A., Agís González, B., Castro-Segura, N., 2023. Astronomy and Astrophysics, 670, A91. **Disentangling the nature of the prototype radio weak BL Lac. Contemporaneous multifrequency observations of WISE J141046.00+740511.2**. [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023A&A...670A..91M>]

32. Kosiba, M., Peña-Herazo, H. A., Massaro, F., Masetti, N., Paggi, A., Chavushyan, V., Bottacini, E., Werner, N., 2023. Astronomy and Astrophysics, 670, A171. **A multifrequency characterization of the extragalactic hard X-ray sky. Presenting the second release of the Turin-SyCAT**. [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023A&A...670A.171K>]

33. García-Pérez, A., Peña-Herazo, H. A., Massaro, F., Chavushyan, V., D'abrusco, R., Masetti, N., Landoni, M., La Franca, F., Patiño-Álvarez, V. M., Amaya-Almazán, R. A., Milisavljevic, D., Paggi, A., Ricci, F., Jiménez-Bailón, E., Smith, H. A., 2023. The Astronomical Journal, 165, 127. **Optical Spectroscopic Observations of Gamma-Ray Blazar Candidates. XII. Follow-up Observations from SOAR, Blanco, NTT, and OAN-SPM**. [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023AJ....165..127G>]

34. Hernández-García, L., Panessa, F., Bruni, G., Bassani, L., Arévalo, P., Patiño-Alvarez, V. M., Tramacere, A., Lira, P., Sánchez-Sáez, P., Bauer, F. E., Chavushyan, V., Carraro, R., Förster, F., Arancibia, A. M. M., Ubertini, P., 2023. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. **Multiwavelength monitoring of the nucleus in PBC J2333.9-2343: the giant radio galaxy with a blazar-like core**. [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023MNRAS.tmp..753H>]

35. Massaro, F., White, S. V., García-Pérez, A., Jimenez-Gallardo, A., Capetti, A., Cheung, C. C., Forman, W. R., Mazzucchelli, C., Paggi, A., Nesvadba, N. P. H., Madrid, J. P., Andruchow, I., Cellone, S., Peña-Herazo, H. A., Grossová, R., Balmaverde, B., Sani, E., Chavushyan, V., Kraft, R. P., Reynaldi, V., Leto, C., 2023. The Astrophysical Journal Supplement Series, 265, 32. **Powerful Radio Sources in the Southern Sky. I. Optical Identifications**. [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023ApJS..265...32M>]





INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

36. Longinotti, A. L., Salomé, Q., Feruglio, C., Krongold, Y., García-Burillo, S., Giroletti, M., Panessa, F., Stanghellini, C., Vega, O., Patiño-Álvarez, V. M., Chavushyan, V., Elías-Chavez, M., Robleto-Orús, A., 2023. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 521, 2134.

NOEMA spatially resolved view of the multiphase outflow in IRAS17020+4544: a shocked wind in action?. [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023MNRAS.521.2134L>]

37. Popović, L. Č., Ilić, D., Burenkov, A., Patiño Alvarez, V. M., Marčeta-Mandić, S., Kovačević-Dojčinović, J., Shablovinskaya, E., Kovačević, A. B., Marziani, P., Chavushyan, V., Wang, J.-M., Li, Y.-R., Mediavilla, E. G., 2023. Astronomy and Astrophysics, 675, A178. **Long-term optical spectral monitoring of a changing-look active galactic nucleus NGC 3516. II. Broad-line profile variability**. [<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023A&A...675A.178P>]

2. Estudiantes

Doctorado

Graduados:

1. Alejandro Olgún Iglesias: The connection between jets and host galaxies of radio loud AGN: Blazars vs NLSy1s. INAOE: June/2018

2. Harold Andrés Peña Herazo: Discovering blazars within the sample of unidentified gamma-ray sources: broadband spectral behavior and variability patterns. INAOE/The University of Turin: Sept/2021

3. Antonio Amaya Almazan: Estudio de actividad multifrecuencia de la maquinaria central de blazares. Dec/2022.

Activos:

1. Eva Martínez Palafox: Estudio de Jets Superlumínicos con Técnicas VLBI para la Localización de la Región de Emisión de Rayos Gamma en Blazares. From Jan/2021. Co-supervisor: Victor Patiño (INAOE).

2. Abigail García Pérez: Deciphering the large scale environments of radio loud active galaxies. From Sep/2021. Co-supervisor: Francesco Massaro (The University of Turin).

3. Alfredo Amador Portes: Study of the relationship between gamma-ray and parsec-scale variability in a selected sample of blazars. From Sept/2023. Co-supervisor: Victor Patiño (INAOE).

4. Jonhatan Uriel Guerrero González: Estudio de la relación entre las luminosidades de continuo y de las líneas de emisión anchas en FSRQ. From Sept/2023. Co-supervisor: Victor Patiño (INAOE).

Maestría

Graduados:





INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

1. Abigail Garcia Perez: Estudio de variabilidad multi-frecuencia del blazar PKS 1510-089. Aug/2021
2. Douglas Enrique Monjardin Ward: Baldwin Effect in FSRQ type blazars. Aug/2021
3. Jonhatan Uriel Guerrero González: Multifrequency variability study of the blazar TON 599. Aug/2023
4. Alfredo Amador Portes: Variability study of the H β emission line in the blazar PKS 1510-089. Aug/2023.

licenciatura

Graduados

1. Héctor Daniel Lozano Ochoa: Estudio de la variabilidad en rayos-gamma, rayos -X, banda V y el espectro óptico del blazar B2 1633+382 durante el periodo de observación 2008-2018. Universidad Veracruzana, Facultad de Física. Julio 2021
2. Miriam Madai Martínez Burelo: Estudio de asimetría de la línea ancha de emisión ultravioleta Mg II ($\lambda 2798$ A) en una muestra de Blazares tipo Cuásares radio-fuertes de espectro plano. Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Octubre 2022





INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

ÓPTICA

Proyecto: TONATIUH: Investigación y Desarrollo de Tecnología Nacional de Agroecología Fotovoltaica con Aplicación en Sistemas de Producción Energéticos-Alimentarios sostenibles en la Sierra Nevada, Puebla

Empresa: TONELHUAYOTZIN NUESTRA RAIZ, ASOCIACIÓN CIVIL

Monto: \$262,355.00 M.N.

Línea de Investigación que atiende: El desarrollo e implementación de un sistema de agroecología-fotovoltaica para la promoción de la democratización energética y de la salud alimentaria.

Zona de Influencia: Santiago Xalitzintla, San Nicolas de los Ranchos, Puebla.

Objetivo: Desarrollo de un sistema Fotovoltaico que beneficie a un Grupo Comunitario de Trabajo Agropecuario "Xalitzintla por la Tierra".

Descripción:

Definir y desarrollar líneas de investigación aplicada, desarrollo tecnológico y servicios técnicos especializados, en las áreas y temas afines al proyecto.

Proponer proyectos específicos de trabajo para colaborar y obtener recursos en relación a áreas y temas afines.

Organizar de forma conjunta o en colaboración con otras instituciones, seminarios, conferencias, encuentros, mesas redondas, cursos, estancias, asesorías, exposiciones y otros eventos análogos sobre temas de interés conjunto, así como apoyar en la celebración de eventos.

Intercambio de experiencias en áreas de interés común, así como de materiales bibliográficos, audiovisuales que forman parte de sus centros de documentación y bibliotecas y, en general, de cualquier tipo de información relacionada con el proyecto.

Servicios tecnológicos, relacionados con la capacidad tecnológica de los laboratorios y demás infraestructura como equipo científico, maquinaria especializada e instalaciones especiales y técnicas, entre otros.





GOBIERNO DE
MÉXICO



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

Proyecto: Síntesis y Post-Procesado de Materiales Ópticos para Aplicaciones Biomédicas: Investigación y Formación de Recursos Humanos”, FONCICYT-NSF/PIRE #246648 (2014-2024)

Desarrollado en la Unidad o Subsede: Laboratorio de Biofotónica de la Coordinación de Óptica

Empresa: INAOE

Monto: \$2'574,500.00

Línea de Investigación que atiende: Biofotónica

Zona de Influencia: Investigación básica de frontera

Objetivo: Desarrollo de implantes intracraneales cerámicos transparentes para la visualización de vasos sanguíneos en el cerebro, así como permitir, en caso de ser necesario, monitoreo y tratamiento mediante fotobiomodulación y/o terapia fotodinámica.

Descripción:

Este fue un proyecto binacional entre la Universidad de California Riverside (UCR, Prof. Guillermo Aguilar) y tres instituciones en México: CICESE (Dr. Santiago Camacho López), UNAM (Dr. Juan Hernández Cordero) e INAOE (Dr. Rubén Ramos García). El financiamiento fue NSF (para UCR) y CONACYT (CICESE, UNAM e INAOE). El monto total del financiamiento para las instituciones mexicanas fue de \$17 000 000.00, de los cuales le correspondieron \$2'574,500.00 al INAOE.

La fabricación de los implantes intracraneales fue labor de la UCR. Utilizaron nanopartículas de Yttria stabilized zirconia. Las nanopartículas se comprimieron a alta presión y temperatura para obtener implantes semitransparentes y mediante tratamientos térmicos adicionales, en colaboración con el CICESE, se mejoró la transmitancia. Ellos realizaron implantes en ratones y probaron su viabilidad.

En el CICESE y la UNAM se encargaron de optimizar el acoplamiento de la luz mediante fibras ópticas al implante.

Primera Sesión Ordinaria de Órgano de Gobierno INAOE 2024

Luis Enrique Erro No. 1, CP. 72840, Tonantzintla, Pue., México.

Tel: (222) 266 3100 Fax: (222) 247 2580 difusion@inaoep.mx www.inaoep.mx





GOBIERNO DE
MÉXICO



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

En el INAOE desarrollamos técnicas como Laser Speckle Imaging y single-pixel imaging para la visualización de vasos sanguíneos profundos, así como técnicas para monitoreo y tratamiento de complicaciones postoperatoria como terapias de fotobiomodulación y terapia fotodinámica.

Información completa del proyecto puede encontrarse en la página:
<https://wttb.cicese.mx/about/>

Primera Sesión Ordinaria de Órgano de Gobierno INAOE 2024

Luis Enrique Erro No. 1, CP. 72840, Tonantzintla, Pue., México.

Tel: (222) 266 3100 Fax: (222) 247 2580 difusion@inaoep.mx www.inaoep.mx





INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

ELECTRÓNICA

Proyecto: Estudio del fenómeno de conmutación resistiva en nanocristales de silicio a través de estructuras multicapa.

Desarrollado en la Unidad o Subsede: INAOE-Coordinación de Electrónica.

Monto: \$ 1,998,611.00

Línea de Investigación que atiende: Dispositivos

Objetivo: Estudiar el fenómeno de conmutación resistiva en ncs-Si a través de estructuras multicapa Si/SiO₂ que nos permita conocer los mecanismos de transporte de portadores que intervienen, los cambios en estructura y composición y dilucidar el mecanismo, electro-térmico o redox, que lo origina.

Descripción:

El proyecto tuvo la finalidad de estudiar y comprender el fenómeno de conmutación resistiva (CR) en nanocristales de silicio (ncs-Si) usando estructuras MOS. La CR se presenta cuando la resistencia eléctrica de un material cambia como resultado de aplicar un campo eléctrico, debe ser reversible, no volátil y repetirse el mayor número de veces posible. El control de la CR es de gran relevancia científica dado que va más allá del posible desarrollo de dispositivos memristor ya que permitiría incluso emular la actividad eléctrica neuronal. Uno de los materiales que exhibe el comportamiento de CR de manera intrínseca es el óxido de silicio enriquecido con silicio (SiO_x, x<2) debido a la formación y aniquilación de filamentos conductivos formados por ncs-Si. No obstante, los ncs-Si en películas de SiO_x se distribuyen de manera aleatoria, con una amplia distribución de tamaños y con un pobre control de su separación. Nuestra propuesta se basó en el uso de ncs-Si conductivos y separados por capas dieléctricas a través de estructuras multicapa Si/SiO₂.

RESULTADOS: La figura 1 muestra una vista superficial de dispositivos MOS fabricados, en el cual se pueden apreciar cuadros de diferentes áreas.



INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

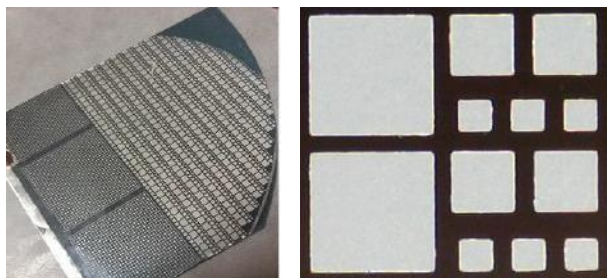


Figura 1. Vista superior de los dispositivos fabricados.

EFFECTO DEL NUMERO DE BICAPAS DE Si/SiO₂:

El perfil de composición de las muestras fue analizado como función de profundidad mediante XPS con el objetivo de corroborar la obtención de sistemas multicapa y estudiar su composición química. En la Figura 2 se observa que el porcentaje atómico de los perfiles del Si2p y O1s tiene varios máximos y mínimos en función del tiempo de erosión, lo que confirma la obtención de un sistema multicapa.

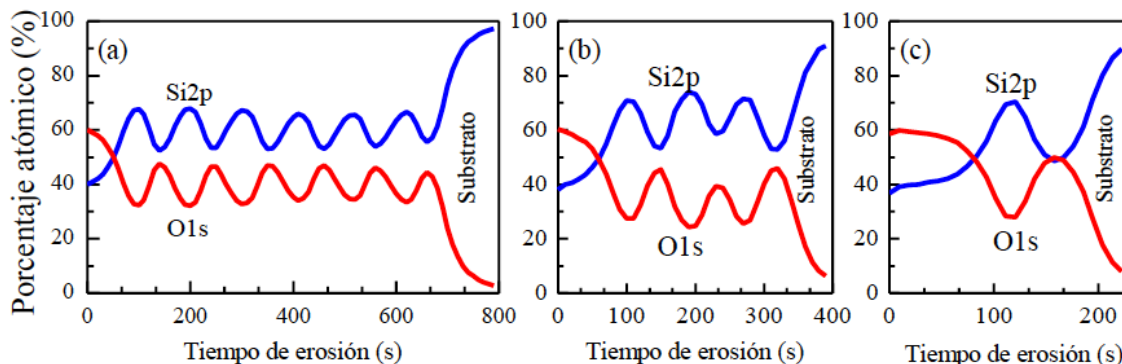


Figura 2. Perfil de concentración atómica de estructuras multicapa Si/SiO₂ con (a) 6, (b) 3 y (c) 1 bicapas.

Las micrografías HRTEM de las figuras 3 (a) y 3 (b) muestran claramente la obtención de una estructura multicapa con una serie capas de Si y SiO₂, mientras que en (c) se observa claramente la presencia de ncs-Si separados por capas de SiO_x.

INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

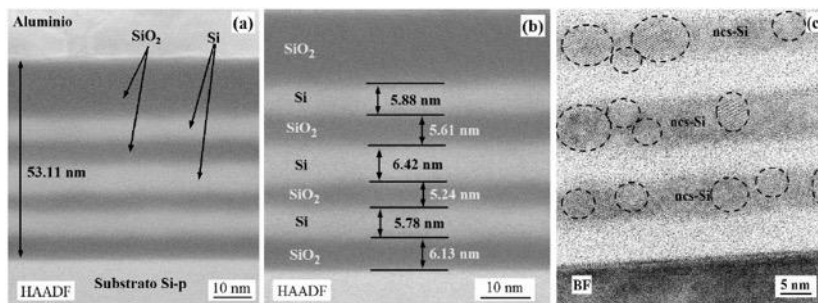


Figura 3. Micrografías HRTEM: a) sección transversal del dispositivo con 3 bicapas Si/SiO₂; b) espesor de las capas de Si y SiO₂; c) evidencia de la formación de ncs-Si.

En la Figura 4 se muestran los resultados de las mediciones eléctricas de los dispositivos con 6 bicapas de Si/SiO₂. Las curvas típicas *I-V*, medidas bajo una polarización directa, presentan un comportamiento de conmutación resistiva unipolar. La primera medición exhibe un comportamiento de conmutación resistiva multinivel con al menos 6 niveles de corriente debido al proceso de electroformación (Figura 4 b) y que está relacionado con la cantidad de capas de ncs-Si.

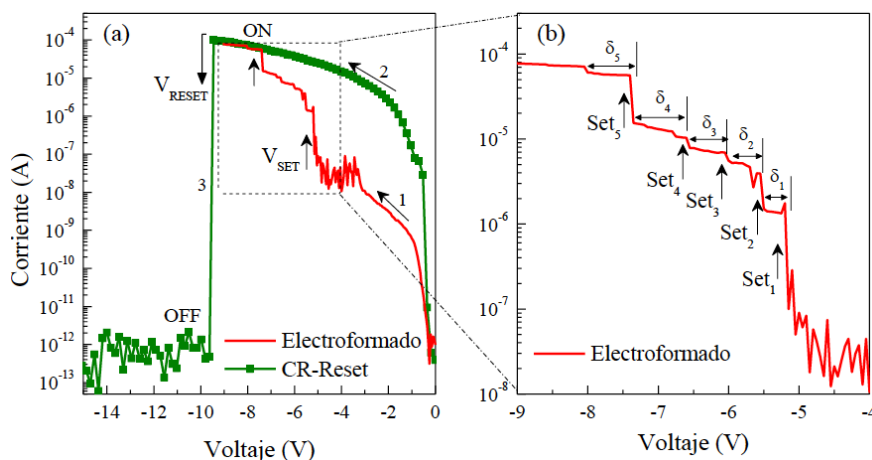


Figura 4. (a) Curvas *I - V* del dispositivo con 6 bicapas Si/SiO₂, sustrato tipo p. (b) Proceso de electroformación con un incremento de corriente tipo escalera.

La figura 5 muestra las curva típicas *I-V* de los dispositivos con (a) 3 y (b) 1 bicapa Si/SiO₂. La relación de resistencia ON/OFF obtenida es de $\sim 10^{10}$ para ambas muestras, la cual es muy superior a la reportada por Yao [1] y Mehonic [2] para sistemas de una capa de SiO_x con valores de 10⁵ y 10⁴, respectivamente. Además, también cabe destacar que el voltaje de lectura, el voltaje de electroformado y V_{RESET} son ($< 5V$) mucho menores a los reportados para sistemas de una capa SiO_x ($V_{electroformación} > 10V$ y V_{RESET} entre -8 y $-10V$) [3].

INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

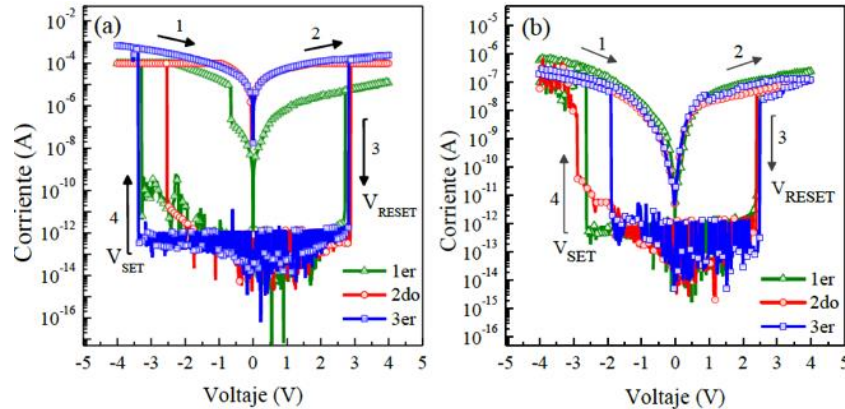


Figura 5. Conmutación resistiva bipolar para dispositivos con (a) 3 y (b) 1 bicapa Si/SiO₂.

EFFECTO DEL ESPESOR DE LA CAPA DE Si EN Si/SiO₂:

Se estudiaron dispositivos con estructura multicapa Si/SiO₂ con 3 bicapas, pero variando el espesor de la capa de Si en 6, 4 y 2 nm. En la figura 6 se puede observar claramente que la conmutación resistiva se va perdiendo conforme el espesor de la capa de Si se reduce. Un análisis de XPS demostró la pérdida de la estructura multicapa cuando el espesor se redujo a 4 y 2 nm. Otra diferencia que observamos al disminuir el espesor de la capa de silicio a 4 nm (Figura 6b) y 2 nm (Figura 6c), es que durante el proceso de electroformado no se presenta el comportamiento tipo escalera con los 3 niveles de corriente intermedios entre el estado OFF y ON, como si sucede en los dispositivos que tienen las capas de Si de 6 nm (Figura 6a). Además, se observa un aumento en los voltajes de electroformación hasta -15 V, y los voltajes de SET y RESET alcanzan valores de hasta -10V y 7V, respectivamente. Al mismo tiempo, observamos una disminución importante de la relación ON/OFF alcanzando un valor de $\sim 10^4$, aunque similar a la reportada en la literatura para películas simples de SiO_x.

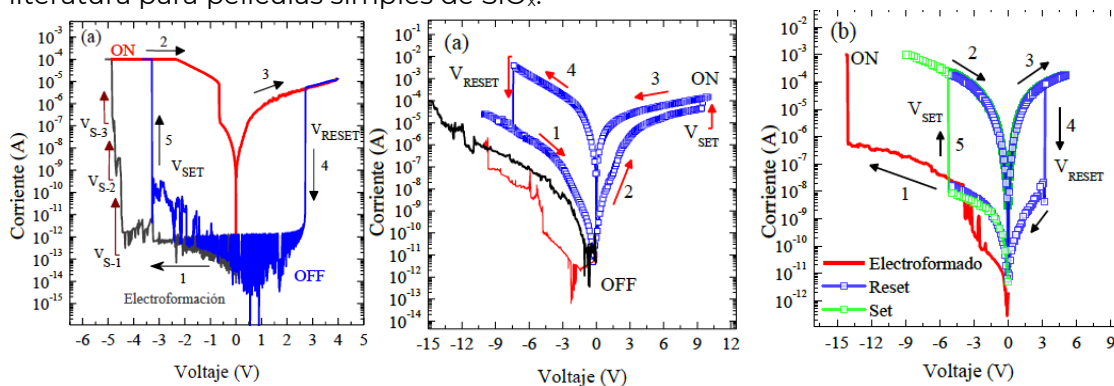


Figura 6. Curvas I-V de multicapas Si/SiO₂ para espesor de la capa de Si de a) 6 nm, b) 4 nm y c) 2 nm.



INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

DURABILIDAD Y ESTABILIDAD:

En la Figura 7 a) se muestran los niveles de corriente en los estados ON y OFF en función del número de ciclos medidos con un voltaje de lectura en 1V. Nuestros dispositivos se midieron, en barridos consecutivos de voltaje (DC), hasta con 72 ciclos de operación y se puede observar una buena estabilidad. Mientras que, en la Figura 7b) se muestra que el dispositivo permaneció manteniendo el nivel de corriente constante en el estado ON y OFF por al menos 10^4 s.

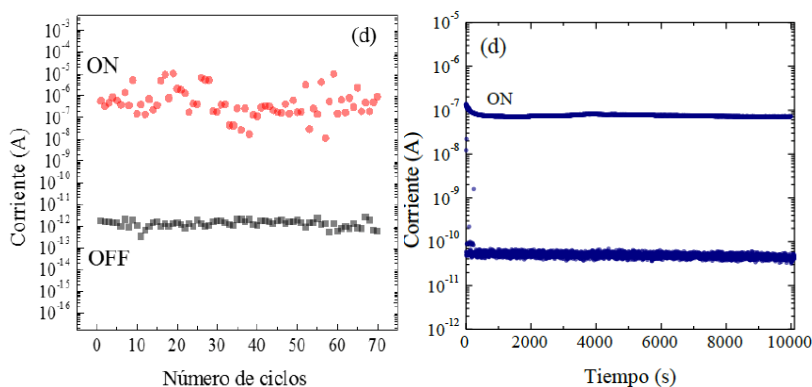


Figura 7. Durabilidad y tiempo de retención de dispositivos con estructura multicapa Si/SiO₂.

CR ANALÓGICA: TRICAPA SiO_x/ncs-Si/SiO_y

La figura 8(a) muestra las curvas corriente vs # de pulso de un dispositivo con estructura tricapa SiO_x/ncs-Si/SiO_y. Se observa claramente un incremento gradual de la corriente conforme se incrementa el número de pulsos de -2V, mientras que la corriente se reduce gradualmente para el tren de pulsos negativos.

Para demostrar que este comportamiento no es debido al atrapamiento de carga, se aplicaron 3 trenes de pulsos consecutivos, figura 3(b), donde se observa que la corriente se mantiene en el último valor de corriente para el último pulso a pesar de que se dejó de aplicar voltaje al dispositivo por hasta 15 minutos. Esto indica claramente un comportamiento de CR analógica. Este comportamiento confiable de potenciación y depresión indica que nuestros dispositivos basados en estructuras multicapa con nc-Si embebidos son un candidato prometedor para emular la sinapsis del cerebro biológico y el desarrollo de sistemas de computación neuromórfica.



INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

La figura 8(c) muestra las curvas I-V de estos dispositivos donde se observa la conmutación de un estado de alta resistencia (HRS) a un estado de baja resistencia (LRS) pasando por un estado intermedio de resistencia (IRS), el cual está relacionado con la capa de ncs-Si. Mientras que el proceso de RESET se observa con un doble comportamiento: 1- transición directa de LRS a HRS o 2- con un nivel intermedio de resistencia, tal como el observado en el proceso de SET.

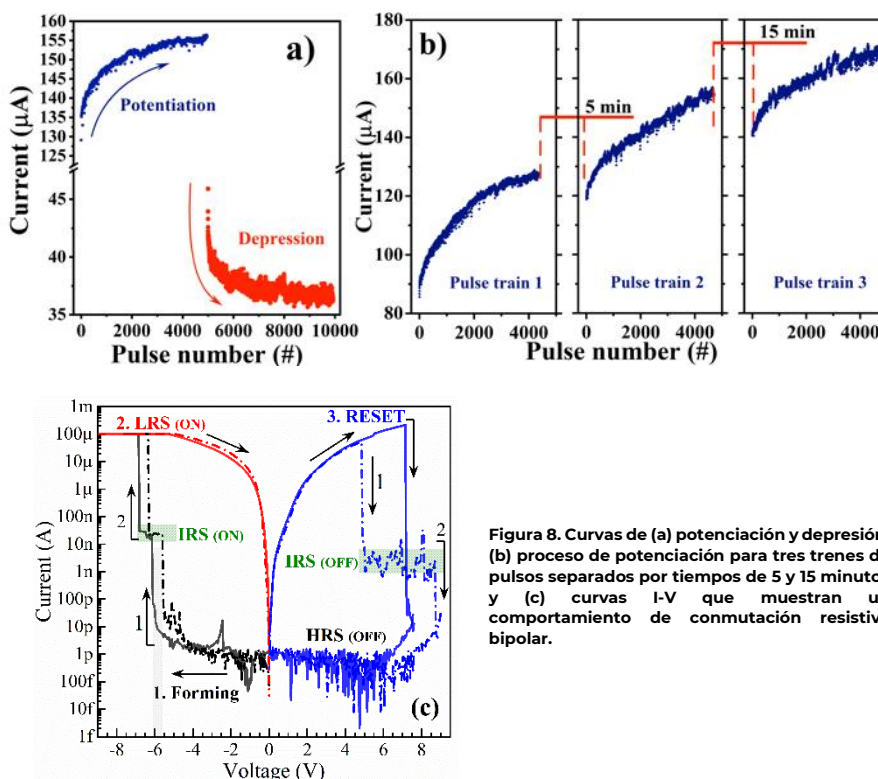


Figura 8. Curvas de (a) potenciación y depresión, (b) proceso de potenciación para tres trenes de pulsos separados por tiempos de 5 y 15 minutos y (c) curvas I-V que muestran un comportamiento de conmutación resistiva bipolar.

Reducción de espesores (10nm / 6nm / 3nm) en la tricapa SiO_x/ncs-Si/SiO_y

Se realizó un nuevo proceso en el cuál se redujo el espesor de las capas de SiO_x en la tricapa SiO_x/ncs-Si/SiO_y para reducir la resistencia eléctrica y con ello reducir los voltajes de operación. La Figura 9 a) muestran las curvas típicas I-V, medidas bajo una polarización inversa (V_{positivo}), donde se observa una conmutación de un estado HRS a LRS (medición 1). El dispositivo permanece en el estado de LRS (medición 2) hasta alcanzar un voltaje negativo, donde se observa una nueva conmutación, ahora de LRS a HRS (medición 3). Una nueva medición (4) muestra que el dispositivo permanece en el HRS. Se observó que la capacitancia en acumulación de estos dispositivos presentan también una conmutación cuando el dispositivo cambia de niveles de LRS y HRS (Figura 9 b). La

INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

relación de resistencia ON/OFF observada en 2V es de $\sim 10^4$, mientras que los voltajes de operación se encuentran entre $\pm 10V$. La reducción del espesor provocó una disminución de la relación ON/OFF.

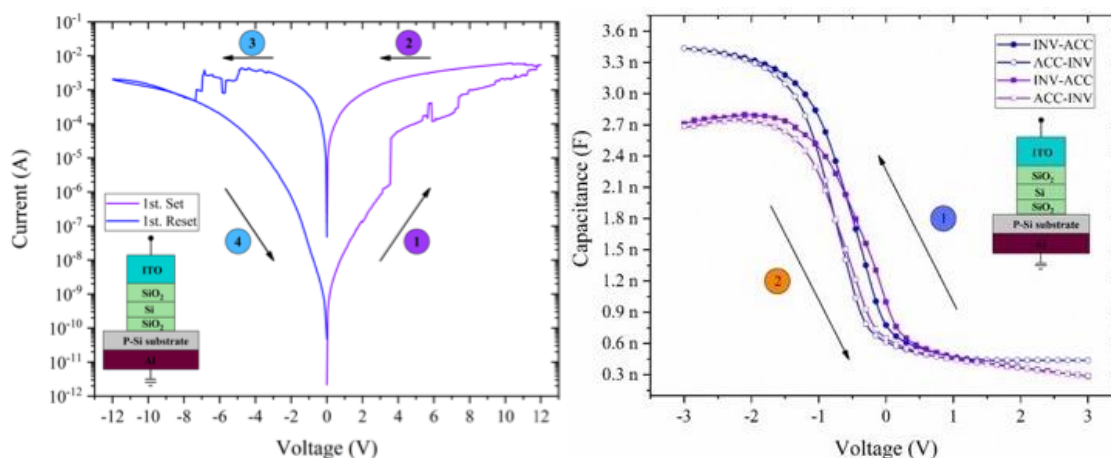


Figura 9. Curvas características (a) I-V y (b) C-V que muestran un comportamiento de conmutación resistiva y de capacitancia bipolar.

Artículos publicados como resultado de este proyecto:

- _ J M Germán-Martínez et. al., Reversely oxide capacitance changes based on the formation-annihilation of conducting filaments in SiO₂/Si-NCs/SiO₂ stack layer-based MIS-like capacitor (Por enviar)
- _ B Palacios-Márquez, Negative differential resistance and resistive switching behavior in broad-spectrum electroluminescent devices based on Si₃N₄/Si multilayers deposited by E-beam, (En revisión) J of Alloys and Compounds.
- _ J Ramirez-Rios, et. al., "Semiempirical Two-Dimensional Model of the Bipolar Resistive Switching Process in Si-NCs/SiO₂ Multilayers", Nanomaterials 2023, 13(14), 2124; <https://doi.org/10.3390/nano13142124>
- _ A Morales-Sánchez, et. al., "Digital and analog resistive switching behavior in Si-NCs embedded in a Si/SiO₂ multilayer for neuromorphic systems", Nanomaterials 2023, 13, 986. <https://doi.org/10.3390/nano13060986>
- _ A Morales-Sánchez, et. al., "Study of the Effect of Nitric Acid in Electrochemically Synthesized Silicon Nanocrystals: Tunability of Bright and Uniform Photoluminescence", Nanomaterials 2022, 12, 2015. <https://doi.org/10.3390/nano12122015>
- _ JJ Avilés Bravo, et. al., "Effect of the Graded Silicon Content in SRN/SRO Multilayer Structures on the Si Nanocrystals and Si Nanopyramids Formation and Their



INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

Photoluminescence Response”, Materials 2021, 14(21), 6582.
<https://doi.org/10.3390/ma14216582>

_ B Palacios-Márquez, et. al., “Broad and nearly white photoluminescence induced by the nitrogen incorporation in Si/SiO_x (x<2) multilayers”, J of Luminescence 239 (2021) 118397.
<https://doi.org/10.1016/j.jlum.2021.118397>

_ KE González-Flores, et. al., “Ultraviolet, visible and near infrared photoresponse of SiO₂/Si/SiO₂ multilayer system in a MOS capacitor”, Mat Sci in Semic Processing 134, 106009 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2021.106009>

_ KE González-Flores, et. Al., “Analysis of the conduction mechanism responsible for multilevel bipolar resistive switching of Si/SiO₂ multilayer structures”, Superlattices & Microstructures 137 (2020) 106347. <https://doi.org/10.1016/j.spmi.2019.106347>

Artículos en Extenso:

_ JJ Avilés Bravo, A Morales Sánchez, L Palacios Huerta, J Federico Ramirez Rios, M Moreno Moreno, “Effect of the thermal annealing temperature on the luminescent and morphological properties of silicon rich oxide bilayer structures”, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10209139>

_ F. Ramirez Rios, S.A. Pérez García, M Moreno Moreno, A Morales Sánchez, “2D simulation of the resistive state in bipolar resistive switching memories based on oxygen vacancies”, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9908188>

_ B. Palacios-Marquez, Z. Montiel-González, S.A. Pérez García, M Moreno Moreno, A Morales Sánchez, “Study of the resistive switching behavior in Si/N:SiO_x (x<2) multilayer-based MOS devices”, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9908211>

_ J. M. G.-Martínez, K.E. González-Flores, B. Palacios-Marquez, M Moreno Moreno, A Morales Sánchez, “Study of the photoresponse of ITO/SiO₂/Si/SiO₂/Al MIS capacitor structures”, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9908220>

Referencias:

- 1) J. Yao, Z. Sun, L. Zhong, D. Natelson and J. M. Tour, Nano Lett. 10, (2010); doi: 10.1021/nl102255r.
- 2) Mehonic, S. Cueff, M. Wojdak, S. Hudziak, O. Jambois, C. Labbé, B. Garrido, R. Rizk and A. J. Kenyon, J. Appl. Phys. 11, 074507 (2012); 074507 (2012); doi:10.1063/1.3701581.
- 3) Mehonic, S. Cueff, M. Wojdak, S. Hudziak, C. Labbé, R. Rizk, A. J. Kenyon, Nanotechnology 23, 455201 (2012); doi: 10.1088/0957-4484/23/45/455201.





INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

CIENCIAS COMPUTACIONALES

Proyecto: Caracterización Automática del Grado de Diferenciación Celular en Imágenes de Carcinoma Mamario

Desarrollado en la Unidad o Subsede: INAOE - Puebla

Empresa: INAOE

Monto: NA

Línea de Investigación que atiende: Visión por Computadora

Zona de Influencia:

Objetivo: identificar estructuras de interés en muestras histopatológicas digitales de mama, núcleos celulares y túbulos, para dos clases de muestras: sano y carcinoma mediante técnicas de procesamiento de imágenes digitales y el cálculo características morfológicas, geométricas o texturales.

Descripción:

El cáncer de mama es el tipo más común en mujeres según datos de la OMS, representando el 15 % de muertes por cáncer en mujeres. Su diagnóstico es realizado por un médico patólogo mediante el análisis bajo el microscopio de una pequeña porción del tejido mamario conocido como evaluación histopatológica, cuyo fin es determinar el grado de diferenciación celular del tejido, que es clave para conocer el grado de malignidad del tejido canceroso. El estándar de oro para la determinación del grado de diferenciación celular es el sistema de graduación histológica de Nottingham que considera tres características morfológicas del tejido: formación tubular, pleomorfismo nuclear y conteo mitótico. Actualmente esta evaluación se hace de manera subjetiva por un patólogo experto, debido a la falta de herramientas computacionales de análisis cuantitativo sobre tejido mamario que asistan la evaluación histológica, por ello la determinación del grado de diferenciación está sujeta a la posibilidad del error humano. En este trabajo de investigación se presenta una metodología computacional para la caracterización del grado de diferenciación celular en imágenes digitales de cortes





INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

histológicos de carcinoma mamario. El trabajo realizado que se presenta comprende la caracterización, identificación y segmentación de las estructuras del núcleo celular y formación de túbulos, utilizando técnicas de análisis, procesamiento digital de imágenes y visión computacional para realizar una medición automática y objetiva de sus características y posteriormente establecer la relación de estas con el grado de diferenciación celular utilizando clasificación de K-vecinos más cercanos.

Se realizó la identificación de estructuras de interés en muestras histopatológicas digitales de mama, (núcleos celulares y túbulos) para dos clases de muestras: sano y carcinoma. El estudio de dichas estructuras permitió relacionar la caracterización que establecen los estándares médicos, en particular el Sistema de Clasificación de Nottingham, con características morfológicas, geométricas y texturales calculadas a partir de imágenes histopatológicas digitales. El proyecto se enfocó en el estudio del pleomorfismo nuclear, alcanzando una precisión del 84% en la clasificación de los 3 grados de diferenciación celular utilizando pleomorfismo nuclear.

En el desarrollo de este proyecto se contó con la colaboración de la Dra. Gabriela del Carmen López Armas (CETI Colomo, Jal.), quién fungió como la parte experta en medicina, y del Dr. José Alfonso Cruz Ramos, patólogo experto en histopatología digital. A raíz de esta colaboración se dirigió una Tesis en el Programa de Maestría de Ciencias Computacionales que se finalizó en 2021, una memoria en extenso de congreso internacional y un artículo publicado en revista internacional JCR:

Guatemala-Sanchez, V. R., Peregrina-Barreto, H., & Lopez-Armas, G. (2021, November). Nuclei segmentation on histopathology images of breast carcinoma. In 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) (pp. 2622-2628). IEEE.

Peregrina-Barreto, H., Ramirez-Guatemala, V. Y., Lopez-Armas, G. C., & Cruz-Ramos, J. A. (2022). Characterization of nuclear pleomorphism and tubules in histopathological images of breast cancer. *Sensors*, 22(15), 5649.

Se dio continuación al proyecto abordando la corrección de tinción en muestras digitales y la identificación automática de regiones de interés mediante modelos de Deep Learning. Derivado de esto se publicó una memoria de congreso internacional:



INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

Reyes, H. E. Z., Barreto, H. P., Ramos, J. A. C., & Armas, G. D. C. L. (2023, October). Comparative analysis of stained normalization in H&E histopathological images of breast cancer for nuclei segmentation improvement. In 2023 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC) (Vol. 7, pp. 1-6). IEEE.

Este fue un proyecto de colaboración interinstitucional. De manera externa, se tuvo financiamiento por parte del CETI, mediante la colaboración con la Dra. López Armas, para cubrir costos de inscripción al congreso atendido en 2021 y la publicación de revista en 2022. De manera interna se financió la inscripción y asistencia al congreso atendido en 2023. Se adjuntan a este documento los documentos probatorios correspondientes a los productos derivados del mismo: convenios de colaboración, tesis y artículos. Con estos productos se da por finalizado el proyecto de investigación.

Proyecto: Caracterización Automática del Grado de Diferenciación Celular en Imágenes de Carcinoma Mamario

Desarrollado en la Unidad o Subsede: INAOE - Puebla

Empresa: INAOE

Monto: NA

Línea de Investigación que atiende: Visión por Computadora

Zona de Influencia:

Objetivo: identificar estructuras de interés en muestras histopatológicas digitales de mama, núcleos celulares y túbulos, para dos clases de muestras: sano y carcinoma mediante técnicas de procesamiento de imágenes digitales y el cálculo características morfológicas, geométricas o texturales.

Descripción:

El cáncer de mama es el tipo más común en mujeres según datos de la OMS, representando el 15 % de muertes por cáncer en mujeres. Su diagnóstico es realizado por un médico patólogo mediante el análisis bajo el microscopio de una pequeña porción del





INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

tejido mamario conocido como evaluación histopatológica, cuyo fin es determinar el grado de diferenciación celular del tejido, que es clave para conocer el grado de malignidad del tejido canceroso. El estándar de oro para la determinación del grado de diferenciación celular es el sistema de graduación histológica de Nottingham que considera tres características morfológicas del tejido: formación tubular, pleomorfismo nuclear y conteo mitótico. Actualmente esta evaluación se hace de manera subjetiva por un patólogo experto, debido a la falta de herramientas computacionales de análisis cuantitativo sobre tejido mamario que asistan la evaluación histológica, por ello la determinación del grado de diferenciación está sujeta a la posibilidad del error humano. En este trabajo de investigación se presenta una metodología computacional para la caracterización del grado de diferenciación celular en imágenes digitales de cortes histológicos de carcinoma mamario. El trabajo realizado que se presenta comprende la caracterización, identificación y segmentación de las estructuras del núcleo celular y formación de túbulos, utilizando técnicas de análisis, procesamiento digital de imágenes y visión computacional para realizar una medición automática y objetiva de sus características y posteriormente establecer la relación de estas con el grado de diferenciación celular utilizando clasificación de K-vecinos más cercanos.

Se realizó la identificación de estructuras de interés en muestras histopatológicas digitales de mama, (núcleos celulares y túbulos) para dos clases de muestras: sano y carcinoma. El estudio de dichas estructuras permitió relacionar la caracterización que establecen los estándares médicos, en particular el Sistema de Clasificación de Nottingham, con características morfológicas, geométricas y texturales calculadas a partir de imágenes histopatológicas digitales. El proyecto se enfocó en el estudio del pleomorfismo nuclear, alcanzando una precisión del 84% en la clasificación de los 3 grados de diferenciación celular utilizando pleomorfismo nuclear.

En el desarrollo de este proyecto se contó con la colaboración de la Dra. Gabriela del Carmen López Armas (CETI Colomo, Jal.), quién fungió como la parte experta en medicina, y del Dr. José Alfonso Cruz Ramos, patólogo experto en histopatología digital. A raíz de esta colaboración se dirigió una Tesis en el Programa de Maestría de Ciencias Computacionales que se finalizó en 2021, una memoria en extenso de congreso internacional y un artículo publicado en revista internacional JCR:

Guatemala-Sanchez, V. R., Peregrina-Barreto, H., & Lopez-Armas, G. (2021, November). Nuclei segmentation on histopathology images of breast carcinoma.





INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

In 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) (pp. 2622-2628). IEEE.

Peregrina-Barreto, H., Ramirez-Guatemala, V. Y., Lopez-Armas, G. C., & Cruz-Ramos, J. A. (2022). Characterization of nuclear pleomorphism and tubules in histopathological images of breast cancer. *Sensors*, 22(15), 5649.

Se dio continuación al proyecto abordando la corrección de tinción en muestras digitales y la identificación automática de regiones de interés mediante modelos de Deep Learning. Derivado de esto se publicó una memoria de congreso internacional:

Reyes, H. E. Z., Barreto, H. P., Ramos, J. A. C., & Armas, G. D. C. L. (2023, October). Comparative analysis of stained normalization in H&E histopathological images of breast cancer for nuclei segmentation improvement. In 2023 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC) (Vol. 7, pp. 1-6). IEEE.

Este fue un proyecto de colaboración interinstitucional. De manera externa, se tuvo financiamiento por parte del CETI, mediante la colaboración con la Dra. López Armas, para cubrir costos de inscripción al congreso atendido en 2021 y la publicación de revista en 2022. De manera interna se financió la inscripción y asistencia al congreso atendido en 2023. Se adjuntan a este documento los documentos probatorios correspondientes a los productos derivados del mismo: convenios de colaboración, tesis y artículos. Con estos productos se da por finalizado el proyecto de investigación.

Proyecto: *Gesture Therapy*

Desarrollado en la Unidad o Subse: Ciencias Computacionales

Empresa: Licencia de Patente a la Empresa Aldawa Technologies

Monto: 5% de regalías sobre ventas

Línea de Investigación que atiende: Aplicaciones Biomédicas

Zona de Influencia: Todo el territorio nacional





INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

Objetivo: desarrollo de un sistema de rehabilitación virtual para recuperación de movimiento de extremidades superiores para personas que han sufrido accidente vascular cerebral (AVC) u otras afectaciones neurológicas y musculo-esqueléticas.

Descripción: Tecnología de bajo costo para rehabilitación de extremidades superiores que permite la práctica de movimientos y no necesita un terapeuta presente todo el tiempo. Incluye una manija patentada, un sistema de seguimiento visual, una serie de juegos especialmente diseñados para rehabilitación, un módulo de detección de compensación y un sistema de adaptación automática. Se cuenta con dos patentes aprobadas en México, Canadá y Europa, y un nivel de desarrollo TRL 7. Se han realizado 4 pruebas clínicas demostrando una mejora significativa con pacientes de AVC y parálisis cerebral, en colaboración con el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía, el Instituto Nacional de Pediatría y el Hospital Universitario de la BUAP.

