

# **3er Encuentro Julio Garavito**

miércoles, 13 de noviembre de 2024 - viernes, 15 de noviembre de 2024

Universidad Industrial de Santander

## **Libro de resúmenes**



# Contents

Sistemas Binarios de Estrellas de Neutrones como Super-Emisores de Ondas Gravitacionales . . . . .	1
Propagación de Ondas gravitacionales en la Teoría de Proca SU(2) . . . . .	1
VSL-Gravity in lighth of PSR B1913+16 Full Data Set: Upper limits on graviton mass and its theoretical consequences . . . . .	2
Forming supermassive black holes in the early universe . . . . .	2
Disrupciones de marea en el centro de la Vía Láctea: modelo de agujero negro frente a modelo de núcleo de materia oscura fermiónica . . . . .	2
MODELO COSMOLOGICO DE DE SITTER . . . . .	3
Objetos rotantes en simetría hiperbólica . . . . .	4
RAYOS CÓSMICOS Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN: ESTIMACIÓN DE LA HUMEDAD EN EL SUELO . . . . .	5
Aplicaciones de neutrones cósmicos de bajas energía para agricultura de precisión . . . . .	6
Aplicación de Astropartículas en la determinación de densidades en la Industria Petroquímica . . . . .	7
Implementación de un modelo de detector Cherenkov en Geant4 para detectar neutrones térmicos . . . . .	8
Desarrollo y calibración del telescopio de muones, MuTe 2.0 . . . . .	9
Buscando lentes gravitacionales producidos por galaxias de canto en UNIONS . . . . .	10
EXACT SOLUTIONS OF THE EINSTEIN-MAXWELL EQUATIONS FOR SPHERICALLY SYMMETRIC ASTRONOMICAL OBJECTS WITH ELECTRICALLY POLARIZED MATERIAL . . . . .	11
Impact of Resistivity on the Kruskal-Schwarzschild Instability and Magnetic Reconnection in Relativistic Striped Winds . . . . .	12
AXIALLY SYMMETRIC RELATIVISTIC THIN DISKS AND SPHEROIDAL HALOS WITH MAGNETICALLY POLARIZED MATTER . . . . .	12
Fuentes ovoidales en la teoría gravitacional de Einstein . . . . .	13
Formalismo 1+3 en Relatividad General: Resultados y Perspectivas. . . . .	14

Interpretando fluidos anisotropos en objetos compactos . . . . .	15
Astrogeofísica en el Volcán Cerro Machín: una experiencia social . . . . .	16
Extended FLRW models, non-Abelian gauge fields and the weak cosmological principle . . . . .	17
Simulación de campos cosmológicos con Cosmolattice . . . . .	17
EXACT SOLUTIONS OF THE EINSTEIN-MAXWELL EQUATIONS FOR AXIALLY SYMMETRIC ASTRONOMICAL OBJECTS WITH MAGNETICALLY POLARIZED MATERIAL . . . . .	18
Colapso gravitacional en las estrellas de neutrones en el modelo de hipernova impulsada por binarias (BdHN) . . . . .	18
Chaos in Spacetimes with Magnetic Dipoles . . . . .	19
Chaotic Dynamic Comparison of Kerr-like and Hartle-Thorne Spacetimes . . . . .	19
Modelos semi-analiticos de radiación de ondas gravitacionales en la astrofísica . . . . .	19
Dark Matter in Galactic Structure . . . . .	20

## Charlas Paralela II / 4

## Sistemas Binarios de Estrellas de Neutrones como Super-Emisores de Ondas Gravitacionales

**Autores:** Jose Fernando Rodriguez Ruiz<sup>1</sup>; Juan Diego Figueroa Hernández<sup>1</sup>

**Co-autores:** Laura Marcela Becerra Bayona<sup>2</sup>; Luis Nunez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Industrial de Santander

<sup>2</sup> Universidad Mayor

**Autores responsables de la comunicación:** juan2200815@correo.uis.edu.co, lnunez@uis.edu.co, laura.marcela.becerra@gmail.com, joferoru@gmail.com

En el presente trabajo se calculó la eficiencia de la emisión de ondas gravitacionales en el proceso de fusión de objetos compactos con un enfoque particular en estrellas de neutrones binarias. Asimismo, se determinó el intervalo de frecuencias de las ondas durante la parte final del proceso. Lo anterior permitió inferir la detectabilidad de estos sistemas por los interferómetros terrestres actuales, LIGO-Virgo, así como por futuros proyectos, e.g., el Telescopio Einstein. Para lograr este objetivo, se estudiaron y se extendieron modelos aproximados ya propuestos en la literatura. Estos modelos dividen la fusión en cuatro fases principales: i) régimen espiral adiabático, ii) caída y fusión, iii) amortiguamiento o “ringdown”, iv) objeto final: agujero negro de Kerr o estrella de neutrones con rotación rápida. Para el análisis y la correspondencia entre las diferentes fases, se utilizaron, además de la fórmula Newtoniana de radiación cuadrupolar, leyes generales de la física, tales como la conservación de la energía, la conservación del momento angular, la conservación de la materia bariónica; y relaciones cuasi-universales que describen a la estrella de neutrones final que no emite radiación gravitatoria. Con lo anterior, se pudo discernir cuáles son los sistemas que emiten mayor energía por unidad de masa en forma de ondas gravitacionales, i.e., cuáles sistemas son super-emisores. Por último, se estudió el impacto de la presencia o ausencia de un disco alrededor del objeto final y el efecto de la rotación de las estrellas de neutrones que formaron el sistema binario inicial. Modelos aproximados que siguen leyes generales de la física, como los modelos en cuestión, sirven de guía para investigaciones numéricas más detalladas.

## Charlas Paralela II / 5

## Propagación de Ondas gravitacionales en la Teoría de Proca SU(2)

**Autores:** Angie Milena Sánchez Méndez<sup>1</sup>; Jose Fernando Rodriguez Ruiz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Industrial de Santander

**Autores responsables de la comunicación:** angiemilesanchez@gmail.com, joferoru@gmail.com

De la Teoría General de la Relatividad de Einstein es sabido que las ondas gravitacionales admiten dos grados de polarización. De otro lado, las teorías de la gravedad que van más allá de Einstein pueden cambiar las propiedades de las ondas gravitacionales, e.g., una rapidez de propagación no lumínica, la existencia de dispersión o la existencia de modos de polarización extra. La detección directa de ondas gravitacionales es un proceso de alta precisión debido a la pequeñez del efecto que producen. En el caso de los detectores de ondas gravitacionales, el análisis de datos se realiza con plantillas que dependen de la tasa de cambio de la fase y la amplitud de las ondas gravitacionales. Estas plantillas dependen de la teoría específica de la gravedad. Por lo tanto, la elección de una teoría de la gravedad particular puede afectar el cómo se interpretan los resultados de dichas mediciones. En este trabajo se propone analizar la propagación de las ondas gravitacionales en la teoría Generalizada de Proca SU(2). Se pretende examinar los modos de polarización, las velocidades de propagación y la posible existencia de birefringencia de las ondas gravitacionales. Lo anterior se realizará mediante el formalismo de la óptica geométrica y el formalismo de Newman-Penrose. Para ello, se tomarán en cuenta varios tipos de fondos: Un primer fondo cosmológico homogéneo e isótropo de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker (FLRW), junto con fondo vectorial denominado “triada cósmica”; un

fondo vectorial tipo tiempo. Por último, un fondo astrofísico, donde la métrica de fondo es estacionaria, con simetría esférica, y el fondo vectorial corresponde al monopolo de t'Hooft-Polyakov. Todo lo anterior con el ánimo de determinar la viabilidad de la teoría Generalizada de Proca SU(2) para describir la interacción gravitacional a través de la perspectiva de la propagación de ondas gravitacionales.

6

## VSL-Gravity in lighth of PSR B1913+16 Full Data Set: Upper limits on graviton mass and its theoretical consequences

**Autor:** Alexander Bonilla Rivera<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Observatório Nacional (ON), Rj / Brasil*

**Autor responsable de la comunicación:** alex.acidjazz@gmail.com

Very Special Linear Gravity (VSLG) is an alternative model for linearized gravity, featuring massive gravitons while still retaining two physical degrees of freedom. Recently, its gravitational period decay dynamics has been calculated through effective field theory techniques. In this work, we aim to test this new model by a complete Bayesian analysis over the dataset of the PSR B1913+16 binary. We found a 95% CL upper bound for the graviton mass  $m_g$  around  $10^{-19}$  eV while also obtaining a relevant discrepancy for the predicted value of the mass of one of the two companion stars. Finally, we discuss some potential repercussions for a non-zero graviton mass at the cosmological level.

**Charla Plenaria / 8**

## Forming supermassive black holes in the early universe

**Autor:** Jorge Armando Rueda Hernandez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *ICRANet*

**Autor responsable de la comunicación:** jorge.rueda@icra.it

The problem of forming supermassive black holes (SMBHs) with masses up to a billion solar masses at redshifts close to the dawn of galaxy and stellar formation is exacerbated by their daily observations from the James Webb Space Telescope (JWST). I discuss a novel channel of SMBH formation due to the gravitational collapse of superdense structures of dark matter made of sub-MeV fermions. I also discuss the motivation and consequences of such fermionic dark matter from galactic structures.

**Nivel de formación:**

Profesor

**Charlas Paralela II / 10**

## Disrupciones de marea en el centro de la Vía Láctea: modelo de agujero negro frente a modelo de núcleo de materia oscura fermiónica

**Autor:** Gabriela Sánchez Ariza<sup>1</sup>

**Co-autores:** Jose Fernando Rodriguez Ruiz <sup>1</sup>; Laura Becerra <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Universidad Industrial de Santander*

**Autores responsables de la comunicación:** gabrielasanchezariza2003@gmail.com, laura.marcela.becerra@gmail.com, joferoru@gmail.com

La Vía Láctea alberga en su núcleo un objeto compacto, Sagitario A (*Sgr A*), cuya masa es  $10^6 M$ . Este objeto es generalmente identificado como un agujero negro supermasivo, una hipótesis respaldada por el monitoreo de las órbitas de las estrellas del cúmulo S [1] y las imágenes obtenidas con el Event Horizon Telescope [2]. Sin embargo, esta evidencia no es suficiente para descartar otros modelos. Por ejemplo, se han sugerido modelos como Gravastar, singularidades desnudas, un núcleo de materia oscura fermiónica, entre otros.

Este trabajo tiene como objetivo investigar la naturaleza de *Sgr A\**, mediante el estudio de las curvas de luz generadas por disrupciones de marea (TDEs), comparando tanto el modelo de un agujero negro como el modelo Ruffini-Argüelles-Rueda (RAR) [3], que asocia el centro galáctico con un núcleo de materia oscura fermiónica. Los TDEs [4] son eventos astronómicos en los que una estrella es desgarrada por las fuerzas de marea de un objeto más masivo. Durante este proceso, una parte del material de la estrella es acretao por el objeto masivo [5], emitiendo radiación en diversas bandas de energía.

Para este trabajo se realizaron simulaciones SPH de los TDEs de una estrella de  $1 M_{\odot}$  con agujeros negros de 15, 50, 100, 1000 hasta  $10^6 M$  con el código GADGET-3 [6]. Se obtuvo un pico de luminosidad del orden de  $1e44$  erg/sec en un tiempo de acreción de aproximadamente 700 seg. Además, se realizaron simulaciones con el núcleo de materia oscura modificando el potencial gravitacional con una expresión analítica con el fin de comparar las curvas de luz. Hasta el momento, no se han observado TDEs de *Sgr A\**, pero se espera que el Legacy Survey of Space and Time del Observatorio Rubin detecte miles de estos eventos anualmente [7] a partir del 2025.

#### Referencias

- [1] GRAVITY Collaboration. (2022). Mass distribution in the Galactic Center based on interferometric astrometry of multiple stellar orbits. *Astronomy & Astrophysics* 657(1), 17.
- [2] Event Horizon Telescope Collaboration. (2022). First Sagittarius A\* Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole in the Center of the Milky Way. *The Astrophysical Journal Letters*, 930(2), L12.
- [3] C. Argüelles, E. Becerra-Vergara, and et al. (2023). Fermionic Dark Matter: Physics, Astrophysics, and Cosmology. *Universe*, 9(4), 197.
- [4] K. Kremer, W. Lu, and et al. (2021). Fast Optical Transients from Stellar-Mass Black Hole Tidal Disruption Events in Young Star Clusters. *The Astrophysical Journal*, 911(2), 104.
- [5] K. Kremer, W. Lu, and et al. (2019). Tidal Disruptions of Stars by Black Hole Remnants in Dense Star Clusters. *The Astrophysical Journal*, 881(1), 75.
- [6] V. Springel, N. Yoshida, and et al. (2001). GADGET: a code for collisionless and gas dynamical cosmological simulations. *New Astronomy*, 6(2), 79–117.
- [7] K. B. Bricman, S. van Velzen, and et al. (2023). Rubin Observatory's Survey Strategy Performance for Tidal Disruption Events. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 268(1), 13.

**Nivel de formación:**

Pregrado

Charlas Paralela II / 11

## MODELO COSMOLOGICO DE DE SITTER

**Autor:** Jorge Enrique Pinzon Quintero<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Universidad del Tolima*

**Autor responsable de la comunicación:** jepinzonqui@ut.edu.co

En este trabajo se analiza el campo gravitacional creado por la constante cosmológica en el modelo cosmológico estático de De Sitter, la naturaleza gravitacional de la constante cosmológica origina la curvatura del espacio – tiempo.

El espacio tiempo de De Sitter, está interrelacionado con un tensor de energía de vacío, tensor que depende de la constante cosmológica, al relacionarla con la velocidad de la luz, origina una nueva constante cosmológica temporal. La relación entre éstas dos constantes cosmológicas y las magnitudes cuánticas de Planck, nos crea la conexión entre la energía de vacío y el vacío cuántico, unificando el campo gravitacional de De Sitter y el campo cuántico.

La constante cosmológica crea una superficie de horizonte de singularidad cosmológica, que surgió en la etapa primigenia de la formación del Universo, en las proximidades del tiempo Planck. A causa de los fenómenos de: perturbaciones, fluctuaciones y resonancia de la energía de vacío - vacío cuántico, la densidad de energía creció extremadamente, generando una fuerte curvatura del espacio tiempo de De Sitter hasta un punto de colapso gravitacional.

El campo gravitacional comprimió la energía, que originó el agujero negro primordial de De Sitter, de tiempo muy corto de vida, liberando enormes cantidades de energía que provocaron una gran explosión - Big Bang. Energía que al liberarse dio origen al nacimiento de las galaxias, estrellas y otros objetos estelares.

En la actualidad pueden existir vestigios en el Universo, las galaxias, estrellas y otros objetos estelares, formando parte de su estructura e influenciar en formación de nuevas.

La superficie del horizonte singularidad, divide el espacio tiempo de De Sitter en dos regiones, una interna y otra externa, del análisis del movimiento de las partículas relativistas, se observa, interacciones de tipo radial y giroscópica, originando en la superficie puntos de retorno y otros de no retorno.

**Nivel de formación:**

Doctorado

**Charlas Paralela II / 12**

## Objetos rotantes en simetría hiperbólica

**Autores:** Adriana Victoria Araujo Salcedo<sup>1</sup>; Justo Ospino<sup>2</sup>; Luis Núñez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Observatorio Astronómico Julio Garavito Armero, Centro de Estudios, Gimnasio Campestre*

<sup>2</sup> *Departamento de Matemática Aplicada e Instituto Universitario de Física Fundamental y Matemáticas, Universidad de Salamanca, Salamanca 37007, España*

<sup>3</sup> *Escuela de Física, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia Departamento de Física, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela*

**Autor responsable de la comunicación:** adrianaVictoriaa@gmail.com

En el estudio de la física de los agujeros negros, la investigación tradicional se ha centrado en la región exterior al horizonte de eventos. No obstante, la búsqueda de una descripción global de la métrica espacio-temporal, abarcando tanto las zonas internas como externas al horizonte, ha impulsado el desarrollo de nuevas aproximaciones. Un enfoque reciente sugiere que, en la región interior del horizonte, la métrica puede describirse mediante una simetría hiperbólica, lo que permitiría obtener soluciones estáticas en ambas regiones [1]. Además, este marco podría proporcionar una explicación coherente sobre la fuerza repulsiva que experimentan las partículas de prueba dentro del horizonte y sobre el origen de los jets relativistas [2].

Las observaciones recientes relacionadas con objetos compactos, como estrellas de neutrones y agujeros negros [3,4], han llevado a la búsqueda de modelos teóricos más precisos. Debido a la complejidad inherente en la búsqueda de soluciones a las ecuaciones de Einstein, se ha propuesto un

enfoque basado en el formalismo de tetradas, utilizando la división ortogonal  $1 + 3$  del tensor de Riemann y sus correspondientes derivadas covariantes [5]. Este método simplifica la integración de las ecuaciones de campo de Einstein al reducirlas a un sistema de ecuaciones de primer orden en términos de escalares de estructura.

Siguiendo este formalismo, hemos derivado nuevas relaciones entre estos escalares, las funciones métricas y los parámetros físicos de las soluciones obtenidas. A través de este proceso, integramos las ecuaciones para el caso estático, reobteniendo la solución de Kerr para el caso estacionario. Se comprobó que la métrica de Kerr es una de las métricas con simetría axial que admite un tensor de Killing, satisfaciendo la respectiva ecuación de Killing con las adecuadas condiciones asintóticas. Finalmente, presentamos una versión de la solución de Kerr en el contexto de la simetría hiperbólica y proponemos continuar la investigación sobre las geodésicas [6] en este marco.

Palabras claves: Objetos rotantes, soluciones exactas, simetría axial hiperbólica

Referencias:

[1] Luis Herrera, Louis Witten, et al. An alternative approach to the static spherically symmetric, vacuum global solution to the Einstein equations. *Advances in High Energy Physics*, 2018, 2018.

2] L. Herrera, A. Di Prisco, J. Ospino, and Louis Witten. Geodesics of the hyperbolically symmetric black hole. *Phys. Rev. D*, 101:064071, Mar 2020.

[3] K. Akiyama, A. Alberdi, R. Azulay, et al, and EHT Collaboration. First m87 event horizon telescope results. i. the shadow of the supermassive black hole. *The Astrophysical Journal Letters*, 875(1):L4, 2019.

[4] Kazunori Akiyama, Antxon Alberdi, Walter Alef, Juan Carlos Algaba, Richard Anantua, Keiichi Asada, Rebecca Azulay, Uwe Bach, Anne-Kathrin Baczko, David Ball, et al. First sagittarius A\* event horizon telescope results. vi. testing the black hole metric. *The Astrophysical Journal Letters*, 930(2):L17, 2022.

[5] J. Ospino, J.L. Hernández-Pastora, and L.A. Núñez. An equivalent system of Einstein equations. *Journal of Physics: Conference Series*, 831:012011, mar 2017.

[6] J Ospino, JL Hernández-Pastora, and LA Núñez. All analytic solutions for geodesic motion in axially symmetric space-times. *The European Physical Journal C*, 82(7):591, 202

**Nivel de formación:**

Doctorado

**Charlas Paralela II / 13**

## **RAYOS CÓSMICOS Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN: ESTIMACIÓN DE LA HUMEDAD EN EL SUELO**

**Autor:** luigui Joel Miranda Leuro<sup>1</sup>

**Co-autores:** Christian Sarmiento Cano <sup>2</sup>; Luis Nunez <sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Unicersidad Industrial de Santander*

<sup>2</sup> Universidad Industrial de Santander

**Autores responsables de la comunicación:** ljmirandal@eafit.edu.co, christian.sarmiento@correo.uis.edu.co, lnunez@uis.edu.co

### **RAYOS CÓSMICOS Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN: ESTIMACIÓN DE LA HUMEDAD EN EL SUELO**

Los rayos cósmicos, partículas de origen extraterrestre altamente energéticas desde  $10^9$  eV a  $10^{15}$  eV en su rango de energía, al interactuar con las moléculas del aire en la atmósfera, generan lluvias de astropartículas [Kampert et al., 2012], entre ellas, neutrones cosmogénicos que son capaces de penetrar en el suelo e interactúan con los núcleos de hidrógeno ahí presentes. Debido a que existe una relación entre la disminución de la energía en los neutrones y la humedad del suelo, los Sensores de Neutrones de Rayos Cósmicos (CRNS) [Zreda et al., 2008; Anderson, 1961], emergen como una herramienta que promete ayudar a mejorar la gestión del riego en la agricultura, sector que utiliza el 70% del agua dulce mundial [Banco Mundial, 2023].

Dado que los neutrones tienen una mayor probabilidad de interactuar con los núcleos de hidrógeno que con otros átomos, y estas interacciones presentan la mayor tasa de pérdida de energía [Köhli et al., 2021], resultan ideales para medir la humedad del suelo. Con el fin de encontrar un método de calibración para los CRNS, se llevaron a cabo simulaciones con el software Geant4. Estas simulaciones modelan la interacción de neutrones con suelos en los que se variaron los niveles de humedad, desde 0% hasta 30%. Los resultados mostraron una disminución del 39,8% en el flujo de neutrones en suelos con 30% de humedad en comparación con suelos secos. Además, se encontró que los neutrones con energías menores a 1 MeV generan 66% más neutrones secundarios, junto a lo anterior se determinó que la energía mínima con la que emergen es del orden de los meV.

Las simulaciones estimaron que el área efectiva de detección del método es de 1,68 hectáreas, con una partícula detectada por metro cuadrado. Además, se sugirió que el área de cobertura de los CRNS podría alcanzar 2,83 hectáreas, permitiendo distinguir entre suelos secos y húmedos. Estos resultados representan un paso para lograr una correcta gestión del riego, lo que no solo beneficia la eficiencia de la producción agrícola sino también la sostenibilidad ambiental.

[Anderson, 1961] Anderson, C. D. (1961). Early work on the positron and muon. *American Journal of Physics*, 29(12):825–830.

[Banco Mundial, 2023] Banco Mundial (2023). AG.LND.AGRI.ZS - porcentaje de tierras agrícolas. <https://datos.bancomundial.org/indicadores/AG.LND.AGRI.ZS>

[Kampert et al., 2012] Kampert, K. and A. Watson (2012). Extensive air showers and ultra high-energy cosmic rays: a historical review. *EPJ H* 37, 359–412. doi:10.1140/epjh/e2012-30013-x.

[Köhli et al., 2021] Köhli, M., Weimar, J., Schrön, M., Baatz, R., and Schmidt, U. (2021). Soil moisture and air humidity dependence of the above-ground cosmic-ray neutron intensity. *Frontiers in Water*, 2:544–847.

[Zreda et al., 2008] Zreda, M., Desilets, D., Ferré, T., and Scott, R. L. (2008). Measuring soil moisture content non-invasively at intermediate spatial scale using cosmic-ray neutrons. *Geophysical research letters*, 35(21).

**Nivel de formación:**

Maestría

**Charlas Paralela II / 14**

## **Aplicaciones de neutrones cósmicos de bajas energía para agricultura de precisión**

**Autor:** Yessica Dominguez Ballesteros<sup>1</sup>

**Co-autores:** Christian Sarmiento Cano<sup>1</sup>; Luis Núñez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Industrial de Santander

<sup>2</sup> Escuela de Física, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia Departamento de Física, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

**Autores responsables de la comunicación:** yessicadomin@gmail.com, christian.sarmiento@correo.uis.edu.co

Los rayos cósmicos son partículas provenientes del espacio exterior, con energías que abarcan desde  $10^9$  eV hasta aproximadamente  $10^{20}$  eV, que al interactuar con las moléculas del aire, generan cascadas de diversas partículas, incluyendo los neutrones. En los últimos años se ha investigado el uso de los neutrones cósmicos para medir la humedad del suelo [1]. Para calibrar las mediciones y garantizar resultados confiables es fundamental conocer el flujo incidente. Por esta razón, es imprescindible estudiar los factores que afectan el flujo de neutrones, como la altitud y la latitud.

Para estudiar los efectos del cambio de altitud en el flujo de neutrones cósmicos implementamos simulaciones en URANOS (Ultra Rapid Adaptable Neutron-Only Simulator), un simulador de propagación e interacción de neutrones con el suelo [2]. Simulamos el espectro de neutrones para dos altitudes diferentes (0 m s.n.m y 3000 m s.n.m) y no se observaron cambios significativos en el flujo de neutrones. Por lo que extendimos el estudio implementando otros simuladores de partículas como CORSIKA y Geant4.

CORSIKA es un software utilizado para simular cascadas de partículas, pero no incluye las interacciones de neutrones con energías menores a 300 MeV. Por esta razón, complementamos el análisis con Geant4, que permite simular interacciones en un rango de energías más amplio. En Geant4, modelamos la atmósfera terrestre como un paralelepípedo de 600 m de ancho, 600 m de profundidad y 2000 m de altura. Utilizamos un modelo atmosférico basado en el gas ideal para representar las variaciones en la densidad del aire desde el nivel del mar hasta los 2000 m de altitud. En CORSIKA, los rayos cósmicos se propagaron desde el tope de la atmósfera hasta 2000 m s.n.m en las ciudades de Buenos Aires, Bucaramanga y Berlín (Colombia). De esta manera se recolectó el espectro de neutrones en la superficie de cada ciudad.

Los espectros de neutrones obtenidos mostraron una relación significativa entre el número de neutrones que alcanzaron la superficie y la altitud. Obtuvimos que el flujo de neutrones en Bucaramanga (956 m s.n.m.) es 2.2 veces mayor que en Buenos Aires (10 m s.n.m.), mientras que en Berlín (3450 m s.n.m.) es 4.8 veces mayor que en Buenos Aires.

[1] Zreda, M., D. Desilets, T. Ferré, and R. Scott (2008). Measuring soil moisture content non-invasively at intermediate spatial scale using cosmic-ray neutrons. *Geophys. Res. Lett.* 35, L21402. doi:10.1029/2008GL035655.

[2] Köhli, M., M. Schrön, S. Zacharias, and U. Schmidt (2023). URANOS v1.0 –the Ultra Rapid Adaptable Neutron-Only Simulation for Environmental Research. *Geosci. Model Dev.* 16, 449–477.

**Nivel de formación:**

Maestría

Charlas Paralela II / 15

## Aplicación de Astropartículas en la determinación de densidades en la Industria Petroquímica

**Autor:** Rafael Martínez<sup>1</sup>

**Co-autores:** Christian Sarmiento Cano <sup>1</sup>; Luis Nunez <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Industrial de Santander

**Autores responsables de la comunicación:** rafari712@gmail.com, christian.sarmiento@correo.uis.edu.co, lnunez@uis.edu.co

La radiación cósmica de fondo es una fuente continua de muones, generados por la interacción de rayos cósmicos primarios con núcleos en la atmósfera. Principalmente se producen por la desintegración de piones y kaones cargados. Con energías en el rango de los GeV y una vida media de  $2,2\mu s$ , los muones alcanzan la superficie terrestre y penetran estructuras densas, lo que los hace útiles para

detectar variaciones de densidad en objetos masivos como torres de hidrotreatmento en la industria petroquímica.

Este trabajo propone evaluar la muografía como técnica para identificar variaciones de densidad en torres de hidrotreatmento. Se simuló la radiación de fondo en Bucaramanga usando el marco ARTI, que considera condiciones geográficas y atmosféricas locales. En Geant4 se modeló el detector, compuesto por dos paneles de centelladores acoplados a fibra óptica y un SiPM. Se diseñó un blindaje de plomo para atenuar la componente electromagnética, simulando la atenuación de electrones monocromáticos.

El modelado de la torre incluyó una envolvente de acero para el lecho de catalizador, una capa de aire como aislante y una envolvente de aluminio. Dentro de la torre se modeló diésel y catalizadores de NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Se evaluaron distribuciones homogéneas y una interfase de dos densidades. Se simuló la propagación de partículas a través de la torre y la respuesta del detector.

Los resultados determinaron el flujo de radiación cósmica en Bucaramanga. Se estableció que es posible lograr una atenuación total con 2cm de blindaje. Además, se reconstruyó el muograma del detector ante el flujo de muones que atraviesa la torre, detectando contrastes de densidad de hasta un 20%. Estos hallazgos demuestran la viabilidad de un diagnóstico temprano para optimizar la eficiencia operativa en plantas de hidrotreatmento.

#### Nivel de formación:

Maestría

#### Charlas Paralela II / 16

## Implementación de un modelo de detector Cherenkov en Geant4 para detectar neutrones térmicos

**Autores:** Christian Sarmiento Cano<sup>1</sup>; Jaime Betancourt<sup>2</sup>; Luis Nunez<sup>1</sup>

**Co-autor:** Jesús Peña Rodríguez <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Industrial de Santander

<sup>2</sup> Grupo Helley-uis

<sup>3</sup> BUW

**Autores responsables de la comunicación:** jaimebetancourtudenar@gmail.com, penarodriguez@uni-wuppertal.de, christian.sarmiento@correo.uis.edu.co, lnunez@uis.edu.co

### Implementación de un modelo de detector Cherenkov en Geant4 para detectar neutrones térmicos

Jaime A. Betancourt M.1\*, Luis A. Núñez1, Christian Sarmiento Cano1 y Jesús Peña Rodríguez2

1) Escuela de Física, Universidad Industrial de Santander (UIS), Bucaramanga - Colombia.

\*jaime2208002@correo.uis.edu.co

2) Bergische Universität Wuppertal, Alemania

#### Resumen

Los rayos cósmicos llegan desde el espacio exterior y bombardean constantemente la Tierra en todas las direcciones. Compuestos por protones, partículas alfa y el resto son núcleos pesados [1]. Al interactuar con la atmósfera crean cascadas, como las de neutrones [2]. El espectro energético de neutrones contiene las componentes epitérmicas con energías de 0.5 eV a 100 KeV y térmicas de 0.025 eV a 0.5 eV [3] producidas por la colisión de neutrones rápidos con núcleos atómicos como el hidrógeno [4].

La abundancia de neutrones epitérmicos es inverso a la humedad del suelo [5]. Concepto utilizado para detectar neutrones y monitorear la humedad del suelo. Los detectores gaseosos son los más

utilizados para realizar dicha medición [6]. En la actualidad se evalúan detectores de centelleo para detectar neutrones [7], así como los detectores Cherenkov de agua [8].

En este trabajo, se implementa y adapta un modelo de radiación Cherenkov en Geant4 para la detección de neutrones. Se evaluaron los procesos en el volumen del detector mediante la interacción de los neutrones con agua pura y agua sal, con el fin de generar radiación Cherenkov. Se inyectaron flujos de neutrones a diferentes energías y con distintas concentraciones de sal en el agua.

Los resultados muestran que la reacción principal en el agua es la captura del neutrón por el hidrógeno, lo que produce un fotón de 2.223 MeV, suficiente para impulsar electrones por efecto Compton y generar radiación Cherenkov. Además, se observó una mayor producción de radiación gamma para energías superiores a 2.223 MeV cuando se utiliza agua sal.

Estos hallazgos indican que la incorporación de sal en el agua mejora significativamente la detección de neutrones a través de la radiación Cherenkov, lo que puede ser de gran utilidad en la detección de neutrones.

### Referencias

- [1] Gaisser, T., Engel, R., Resconi, E. (2016). Extensive air showers. In *Cosmic Rays and Particle Physics* (pp. 313-340). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139192194.018.
- [2] M. Andreassen, K.H. Jensen, D. Desilets, T.E. Franz, M. Zreda, H.R. Bogena, M.C. Looms. 2017. Status and perspectives on the cosmic-ray neutron method for soil moisture estimation and other environmental science applications. *Vadose Zone J.* 16(8). doi:10.2136/vzj2017.04.0086
- [3] Kohli, M., M. Schron, M. Zreda, U. Schmidt, P. Dietrich, S. Zacharias (2015), Footprint characteristics revised for field-scale soil moisture monitoring with cosmicray neutrons, *Water Resour. Res.*, 51, 5772–5790, doi:10.1002/ 2015WR017169.
- [4] Glasstone, S. and Edlund, M. C.: *Elements of nuclear reactor theory*, 5th Edn., Van Nostrand, New York, 416 pp., 1952.
- [5] Desilets, D., Zreda, M., and Ferre, T.: Nature's neutron probe: Land#surface hydrology at an elusive scale with cosmic rays, *Water Resour. Res.*, 46, W11505, doi:10.1029/2009WR008726, 2010.
- [6] Stefaan T., 2014. *Experimental Techniques in Nuclear and Particle Physics.* (pp. 209-224). Springer; 2010 edición.
- [7] Zreda, M., W.J. Shuttleworth, X. Zeng, C. Zweck, D. Desilets, T. Franz, R. Rosolem. 2012. COSMOS: The COSmic-ray Soil Moisture Observing System. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16:4079–4099. doi:10.5194/hess-16-4079-2012.
- [8] Evans, J.G., H.C. Ward, J.R. Blake, E.J. Hewitt, R. Morrison, M. Fry. 2016. Soil water content in southern England derived from a cosmic-ray soil moisture observing system: COSMOS-UK. *Hydrol. Processes* 30:4987–4999. doi:10.1002/hyp.10929Evans et al., 2016

### Nivel de formación:

Doctorado

### Charlas Paralela II / 17

## Desarrollo y calibración del telescopio de muones, MuTe 2.0

**Autor:** Christian Sarmiento Cano<sup>1</sup>

**Co-autores:** Jose David Sanabria Gomez<sup>1</sup>; Luis Nunez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Universidad Industrial de Santander*

**Autores responsables de la comunicación:** jsanabri@uis.edu.co, christian.sarmiento@correo.uis.edu.co, lnunez@uis.edu.co

La muografía[1] es una técnica de escaneo no invasiva que utiliza los muones cósmicos como fuente de radiación. Estos son capaces de atravesar grandes cantidades de materia, pero se atenúan dependiendo de la densidad del material que encuentran en su trayectoria. Al medir el flujo de muones que atraviesan estructuras naturales como volcanes, es posible obtener imágenes de su interior, revelando contrastes de densidad que ayudan a comprender su composición y estructura. Este método es particularmente útil en geofísica, ya que complementa las técnicas tradicionales al proporcionar información detallada y tridimensional de zonas inaccesibles bajo la superficie.

El MuTe 2.0 es un telescopio de muones desarrollado para llevar a cabo estudios de muografía del volcán Cerro Machín, ubicado en el departamento del Tolima, Colombia. Este instrumento tiene como objetivo complementar las mediciones geofísicas tradicionales, proporcionando una visión interna de la estructura interna del volcán.

Este telescopio consta de dos paneles centelladores paralelos, cada uno compuesto por una matriz de 15x15 barras centelladoras de 4 cm de ancho, creando una superficie de detección de 60 cm por lado. Para mejorar la precisión de las mediciones y minimizar el ruido electrónico, se ha implementado un blindaje de 3 cm de plomo en los paneles frontal y trasero, lo que reduce eficazmente la influencia de electrones indeseados en la señal.

El sistema de adquisición de datos está basado en una tarjeta FERS A5202 de CAEN Instruments[2], que se comunica con una PC mediante una conexión Ethernet. La energía del telescopio proviene de un sistema fotovoltaico diseñado para ofrecer una autonomía de hasta 4 días, utilizando paneles solares de 18V, baterías de 200 Ah, y un conjunto de protecciones contra sobrevoltajes y cortocircuitos, asegurando un funcionamiento confiable incluso en las condiciones ambientales exigentes del sitio.

Para garantizar un flujo de datos continuo y un análisis remoto eficaz, el telescopio está equipado con un sistema de comunicación robusto que envía los datos recopilados a la nube para su preprocesamiento. La red local establecida entre la tarjeta FERS A5202 y la PC está conectada a internet a través de un router Starlink, lo que permite la supervisión en tiempo real y el acceso remoto a los datos. Este trabajo presenta el desarrollo, diseño y calibración de este instrumento, construido íntegramente en la Universidad Industrial de Santander, en Bucaramanga, Colombia.

1. Kaiser Ralf 2019 Muography: overview and future directions Phil. Trans. R. Soc. A. <http://doi.org/10.1098/rsta.2018.0111>
2. Y. Venturini et al., "Novel gamma spectroscopy measurements with ASIC front-end electronics," 2023 IEEE Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference and International Symposium on Room-Temperature Semiconductor Detectors (NSS MIC RTSD), Vancouver, BC, Canada, 2023, pp. 1-1, doi: 10.1109/NSSMICRTSD49126.2023.10338635

**Nivel de formación:**

Postdoctorado

Charlas Paralela II / 18

## Buscando lentes gravitacionales producidos por galaxias de canto en UNIONS

**Autor:** Javier Acevedo Barroso<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *École polytechnique fédérale de Lausanne*

**Autor responsable de la comunicación:** ja.acevedob12@gmail.com

La combinación de estudios de cinemática con el modelado de lente gravitacional permite romper degeneraciones en los modelos de masa, tales como la contribución relativa entre materia oscura

y bariónica en galaxias o cúmulos de galaxias (Suyu et al., 2014; Schuldt et al., 2021). En particular, lentes gravitacionales que tienen como deflector principal una galaxia espiral vista de canto (edge-on) son excelentes objetos de estudio para este tipo de análisis, puesto que tienen curvas de rotación bien definidas que pueden ser utilizadas para estudiar su cinemática (Dutton et al., 2011). Sin embargo, incluso después de la explosión en número de candidatos producto de búsquedas masivas de lentes usando inteligencia artificial (Rojas et al., 2022; Savary et al., 2022; Jaelani et al., 2023), el número de sistemas de este tipo no ha aumentado de forma significativa, con solo alrededor de 100 candidatos conocidos; sugiriendo la necesidad de búsquedas dedicadas a este tipo de sistema en particular.

En este trabajo realizamos una búsqueda de lentes gravitacionales producidos por galaxias en espiral en 3600 grados cuadrados de observaciones del survey astronómico UNIONS (Ultraviolet Near Infrared Optical Northern Survey). Utilizamos redes neuronales convolucionales (CNNs) para preseleccionar candidatos, que luego inspeccionamos visualmente. Asimismo, inspeccionamos 120 000 galaxias seleccionadas aleatoriamente para estimar el número de lentes gravitacionales en la población. Descubrimos 82 nuevos candidatos a lente gravitacional producido por una galaxia vista de canto, duplicando el número de candidatos conocidos anteriormente. Estimamos que esto representa entre el 20 y el 40 por ciento de los lentes de este tipo en las observaciones de UNIONS. Asimismo, descubrimos 50 candidatos a lente gravitacional producidos por otros tipos de galaxias.

Nuestra búsqueda demuestra la existencia de una población considerable de este tipo de lentes, así como la viabilidad de encontrarlos usando CNNs en observaciones de alta calidad. Por último, esta búsqueda sirve para probar algoritmos y técnicas en preparación para la búsqueda de lentes gravitacionales con el telescopio espacial Euclid.

## Referencias

- Dutton, A. A., Brewer, B. J., Marshall, P. J., et al. 2011, MNRAS, 417, 1621
- Jaelani, A. T., More, A., Wong, K. C., et al. 2023, arXiv:2312.07333
- Rojas, K., Savary, E., Clément, B., et al. 2022, A&A, 668, A73
- Savary, E., Rojas, K., Maus, M., et al. 2022, A&A, 666, A1
- Schuldt, S., Chirivì, G., Suyu, S. H., et al. 2019, A&A, 631, A40
- Suyu, S. H., Treu, T., Hilbert, S., et al. 2014, ApJ, 788, L35

## Nivel de formación:

Doctorado

## Charlas Paralela II / 19

# EXACT SOLUTIONS OF THE EINSTEIN-MAXWELL EQUATIONS FOR SPHERICALLY SYMMETRIC ASTRONOMICAL OBJECTS WITH ELECTRICALLY POLARIZED MATERIAL

**Autores:** Daniel Mauricio Celis Mantilla<sup>1</sup>; Guillermo A González Villegas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Universidad Industrial de Santander*

**Autores responsables de la comunicación:** guillego@uis.edu.co, danielmauriciocelis@hotmail.com

A family of solutions to the Einstein-Maxwell equations for spherically symmetric, electrically polarized astronomical objects is presented. These solutions are obtained by considering a seed solution that describes one of the metric components and an equation of state that relates the variables of the fluid. By solving the Maxwell equations, a form of the electric field in terms of the electric polarization is derived, enabling us to solve the Einstein equations for a static and spherically symmetric

space-time, assuming the source is a non-dissipative anisotropic fluid. Once a solution for the system of equations is obtained, we determine the pressure and density that describe the material content of the model. Similarly, we obtain the variables associated with the electric field and the electric polarization.

**Nivel de formación:**

Maestría

Charlas Paralela II / 21

## **Impact of Resistivity on the Kruskal-Schwarzschild Instability and Magnetic Reconnection in Relativistic Striped Winds**

**Autor:** David Bambague<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Universidad Nacional De Colombia*

**Autor responsable de la comunicación:** dbambague@unal.edu.co

### **Abstract**

The Kruskal-Schwarzschild instability in relativistic striped winds is a key mechanism in magnetized outflows, such as those observed in gamma-ray bursts and active galactic nuclei. Previous studies have investigated the magnetic reconnection driven by this instability without accounting for resistivity. In this study, we extend these investigations by incorporating resistivity into two-dimensional relativistic magnetohydrodynamic (RMHD) simulations to explore how it impacts both the growth of the instability and the dynamics of magnetic reconnection.

Our simulations use various values of resistivity to analyze how it affects the dissipation of magnetic energy over time. Preliminary results show that higher resistivity accelerates the rate of magnetic energy dissipation, suggesting more efficient magnetic reconnection. In contrast, lower resistivity values result in slower energy dissipation, and the evolution appears more gradual. Interestingly, intermediate resistivity values display oscillations in the dissipation rate, potentially indicating additional instabilities or effects that require further investigation.

These findings suggest that resistivity could play an important role in the overall evolution of the Kruskal-Schwarzschild instability, influencing the timescale and efficiency of magnetic reconnection. However, further analysis is needed to fully understand the implications of these effects on the dynamics of the instability, especially regarding how resistivity might interact with other physical processes within the striped wind structure.

In conclusion, while resistivity appears to enhance the efficiency of magnetic reconnection in our simulations, further investigation is necessary to clarify its full impact on the Kruskal-Schwarzschild instability in relativistic outflows. These results contribute to a deeper understanding of how magnetic energy dissipation occurs in highly magnetized astrophysical environments.

**Nivel de formación:**

Pregrado

Charlas Paralela II / 22

## **AXIALLY SYMMETRIC RELATIVISTIC THIN DISKS AND SPHEROIDAL HALOS WITH MAGNETICALLY POLARIZED MATTER**

**Autores:** Guillermo A González<sup>1</sup>; Nicolás González Ogliastri<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Universidad Industrial de Santander*

**Autores responsables de la comunicación:** guillermoagonzalezv@gmail.com, nicolasogliastri@gmail.com

A family of relativistic models of thin disks and spheroidal haloes with magnetically polarized material source is presented. The models are built using exact solutions of the Einstein-Maxwell equations for a conformastatic and axially symmetric spacetime, by assuming that the material content of the halo is described by a non-dissipative anisotropic fluid and that the magnetic polarization it is proportional to the magnetic field. The solutions are obtained by expressing the metric function in terms of an auxiliary function which satisfies the Laplace equation, a characteristic property of the conformastatic spacetimes, and by using the displace, cut, and reflect method, which introduces a discontinuity in the first derivative of the metric tensor across the plane of the disk. Once a solution to the system of equations is obtained, not only the solution of the Einstein-Maxwell equations but also the energy-momentum tensor is completely determined, which describes the matter content of the halo and the disks, as well as the variables associated with the magnetic field and the magnetic polarization. The energy densities of the disk and the halo are everywhere positive and well behaved, and their energy-momentum tensor agrees with all the energy conditions.

**Nivel de formación:**

Pregrado

**Charlas Paralela II / 23**

## Fuentes ovoidales en la teoría gravitacional de Einstein

**Autor:** Juan Andrés Guarín Rojas<sup>1</sup>

**Co-autores:** Antonio Calixto Gutiérrez Piñeres<sup>1</sup>; Rafael Ángel Torres Amaris<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *UIS*

**Autores responsables de la comunicación:** juanguarin210@gmail.com, acgutier@uis.edu.co, rafael.torres@saber.uis.edu.co

En este trabajo se estudian espaciotiempos con simetría ovoidal en la relatividad general. Para ello, se propone un ansatz métrico y se caracteriza este ansatz mediante un invariante geométrico. Estos espaciotiempos ovoidales permiten modelar una fuente con forma de ovoide de Descartes. Estos ovoides son unas superficies que generalizan a las superficies cónicas. Se ha visto que estos son útiles en múltiples problemas de óptica<sup>1 2 3 4</sup>. Dada su importancia en óptica, surge la pregunta si los ovoides son útiles en relatividad general y si dan lugar a un modelo interesante, como un modelo con cuadrupolo de masa. Se considera el trabajo hecho por Krasinski<sup>5</sup> como base para construir el ansatz métrico ovoidal. Para caracterizar este ansatz se exploran algunos invariantes de la literatura<sup>6 7 8 9</sup>, entre los que se incluyen los vectores de killing. Además, en este trabajo se crea el sistema de coordenadas ortogonales ovoidales. Como resultados se tiene la creación del sistema de coordenadas ovoidales, la formulación de un ansatz métrico ovoidal, y el descarte de que la métrica tenga algunos invariantes como los vectores de killing. En conclusión, este trabajo muestra que si se busca caracterizar la simetría de espaciotiempos ovoidales no se puede recurrir a los vectores de killing.

### Referencias

<sup>1</sup> A. W. Greynolds. Superconic and subconic surface descriptions in optical design. In International Optical Design Conference, page IMA1. Optica Publishing Group, 2002.

<sup>2</sup> A. Silva-Lora and R. Torres. Rigorously aplanatic descartes ovoids. *J. Opt. Soc. Am. A*, 38(8):1160–1169, Aug 2021.

<sup>3</sup> A. Silva-Lora and R. Torres. Achromatic stigmatism: achromatic cartesian ovoid. *J. Opt. Soc. Am. A*, 39(9):1524–1532, Sep 2022.

- <sup>4</sup> Valencia-Estrada, J.C., Vaca Pereira-Ghirghi, M., Malacara-Hernández, Z. et al. Aspheric coefficients of deformation for a Cartesian oval surface. *J Opt* 46, 100–107, 2017.
- <sup>5</sup> A. Krasinski. Ellipsoidal space-times, sources for the kerr metric. *Annals of Physics*, 112(1):2240, 1978.
- <sup>6</sup> G. H. Katzin and J. Levine. Applications of lie derivatives to symmetries, geodesic mappings, and first integrals in riemannian spaces. In *Colloquium Mathematicum*, volume 1, pages 21–38, 1972.
- <sup>7</sup> J. Carot, L. A. Núñez, and U. Percoco. Ricci collineations for type b warped space-times. *General Relativity and Gravitation*, 29(10):1223–1237, 1997.
- <sup>8</sup> C. D. Collinson. Conservation laws in general relativity based upon the existence of preferred collineations. *General Relativity and Gravitation*, 1:137–142, 1970.
- <sup>9</sup> Hans Stephani. A note on killing tensors. *General Relativity and Gravitation*, 9:789–792, 1978.

#### Nivel de formación:

Pregrado

#### Charla Plenaria / 24

## Formalismo 1+3 en Relatividad General: Resultados y Perspectivas.

**Autor:** Justo Ospino<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Departamento de Matemática Aplicada e Instituto Universitario de Física Fundamental y Matemáticas, Universidad de Salamanca, Salamanca 37007, España*

Los avances tecnológicos nos ofrecen la oportunidad de vivir una era extraordinaria para la Astrofísica Relativista con una profusión de datos observacionales [1, 2]. La Relatividad General se consolida como la teoría más precisa para explicar estas nuevas observaciones. Lo que alguna vez se consideró una curiosidad matemática, como los agujeros negros y las ondas gravitacionales, se ha transformado en entidades astrofísicas observables. La explicación de estos fenómenos está relacionada tanto con las propiedades físicas de la estructura interna de los sistemas relativistas auto gravitantes como con las características del entorno espacial que los rodea.

La modelización matemática de estos sistemas y sus campos exteriores, en el marco de la Relatividad General, requiere encontrar soluciones al sistema de ecuaciones de Einstein, una tarea extremadamente compleja debido a la naturaleza de no lineal y acopladas de las ecuaciones 3. Para simplificar estas dificultades, hemos implementado un formalismo basado en tétradas, que nos ha permitido reescribir las ecuaciones de Einstein como un sistema de primer orden en términos de los escalares de estructura. Estos escalares surgen de la descomposición 1+3 del tensor de Riemann y las derivadas covariantes de los vectores de la tetrada [4,5,6].

Para ilustrar la simplicidad de nuestro enfoque, presentaremos algunos resultados obtenidos para modelos de objetos auto gravitantes con simetría esférica [7,8]. Además, propondremos un algoritmo para encontrar soluciones a las ecuaciones de Einstein en el caso del vacío estacionario con simetría axial. Finalmente, presentaremos una clasificación de las geodésicas para espacios-tiempo que admiten dos vectores de Killing 9.

#### Citas bibliográficas:

- 1 B. P. Abbott, R. Abbott, T. D. Abbott, et al, LIGO Scientific Collaboration, and Virgo Collaboration. Properties of the binary neutron star merger gw170817. *Phys. Rev. X*, 9:011001, Jan 2019.
- 2 K. Gendreau, Z. Arzoumanian, E. Ferrara, and C.B. Markwardt. NICER: The Neutron Star Interior Composition Explorer, pages 1–21. Springer Nature Singapore, Singapore, 2022 *Journal of Physics: Conference Series* 831 (1), 012011
- 3 Stephani H, Kramer D, MacCallum M, Hoenselaers C, Herlt E. *Exact Solutions of Einstein's Field Equations*. 2nd ed. Cambridge University Press; 2003.
- 4 J. Ehlers, Contributions to the relativistic mechanics of continuous media. *General Relativity and Gravitation*, 25, 1225-1266. (1993).

- 5 Van Elst, Henk, and Claes Uggla. "General relativistic orthonormal frame approach." *Classical and Quantum Gravity* 14.9 (1997): 2673.
- 6 J. Ospino et al 2017 *J. Phys.: Conf. Ser.* 831 012011 DOI 10.1088/1742-6596/831/1/012011.
- 7 J. Ospino. et al. Are there any models with homogeneous energy density? *Gen. Relativ Gravit* 50, 146 (2018).
- 8 J. Ospino, L. A. Núñez, Karmarkar scalar condition. *Eur. Phys. J. C* 80, 166 (2020).
- 9 J. Ospino, J.L. Hernández-Pastora L.A. Núñez, All analytic solutions for geodesic motion in axially symmetric space-times. *Eur. Phys. J. C* 82, 591 (2022).

**Nivel de formación:**

Profesor

**Charlas Paralela II / 25****Interpretando fluidos anisótropos en objetos compactos****Autor:** Daniel Felipe Suárez Urango<sup>1</sup>**Co-autores:** Justo Ospino<sup>2</sup>; Laura M. Becerra<sup>3</sup>; Luis Nunez<sup>1</sup><sup>1</sup> *Universidad Industrial de Santander*<sup>2</sup> *Universidad de Salamanca*<sup>3</sup> *Universidad Mayor***Autores responsables de la comunicación:** danielfsu@hotmail.com, j.ospino@usal.es, lnunez@uis.edu.co, laura.marcela.becerra@gmail.com

En este trabajo se propone un enfoque alternativo para resolver las ecuaciones de campo de Einstein empleando el formalismo de tétradas ortonormales 1. Mediante la descomposición 1+3 del espacio-tiempo 2, obtenemos las ecuaciones de campo en términos de escalares de estructura, que contienen la información física relevante del sistema, en lugar del tratamiento tradicional basado en funciones métricas 3.

Bajo este enfoque, mostramos que el efecto de la anisotropía local de la presión puede interpretarse como una contribución equivalente a la densidad de energía en el caso de configuraciones estáticas con simetría esférica. Empleando un perfil de densidad conocido 4, obtuvimos modelos de objetos compactos físicamente aceptables, es decir, soluciones regulares que satisfacen las condiciones de energía y presentan estabilidad frente a perturbaciones de sus variables físicas.

Asimismo, presentamos las ecuaciones de campo de Einstein, en términos de los escalares de estructura, para un fluido estacionario e isótropo con simetría axial. El objetivo es extender estas ecuaciones a un fluido anisótropo e interpretar el efecto de la anisotropía en la densidad de energía -de manera análoga a como se realizó en configuraciones con simetría esférica- para encontrar soluciones axialmente simétricas.

1 J. Ospino, J.L. Hernández Pastora y L.A. Núñez, An equivalent system of Einstein equations, *J. Phys. Conf. Ser.*, 2017.

2 H. Van Elst y C. Uggla, General relativistic orthonormal frame approach, *Classical Quantum Gravity*, 1997.

3 R.C. Tolman, *Relativity Thermodynamics and Cosmology*, Oxford: Clarendon Press, 1939.

4 R.C. Tolman, Static solutions of Einstein's field equations for spheres of fluid, *Phys. Rev.*, 1939.

**Nivel de formación:**

Doctorado

**Charla Plenaria / 26**

## **Astrogeofísica en el Volcán Cerro Machín: una experiencia social**

**Autor:** Jose David Sanabria Gomez<sup>1</sup>

**Co-autores:** Andrea Mabel Prado Blanco <sup>2</sup>; Angi Viviana Aparicio <sup>1</sup>; Christian Sarmiento <sup>1</sup>; Daniela Vásquez <sup>3</sup>; Darling Sandoval <sup>3</sup>; Diego Alberto Gutiérrez <sup>4</sup>; Diego Castillo <sup>5</sup>; Geraldine Ariza <sup>1</sup>; Jaime Meneses <sup>1</sup>; Jenny Patricia Acevedo <sup>6</sup>; Johnattan Pisco <sup>1</sup>; Jorge Perea <sup>5</sup>; Jorge Rueda <sup>7</sup>; Juan David Ruiz <sup>8</sup>; Juliana Valentina Rueda <sup>9</sup>; Julio César Muñoz <sup>4</sup>; Luis Núñez <sup>1</sup>; Marlon Sánchez <sup>10</sup>; Mauricio Niño Ferro <sup>1</sup>; Mía Valentina Angulo <sup>1</sup>; Nicolas González <sup>7</sup>; Rafael Martínez <sup>1</sup>; Raquel Méndez <sup>2</sup>; Rocio del Pilar Bernal <sup>10</sup>; Silvia Gálvis <sup>2</sup>

<sup>1</sup> UIS-Física

<sup>2</sup> UIS-Trabajo Social

<sup>3</sup> UIS-Diseño Industrial

<sup>4</sup> ITM-Medellín

<sup>5</sup> UIS-Electrónica

<sup>6</sup> UIS-Educación

<sup>7</sup> UniPamplona-Física

<sup>8</sup> UIS-Sistemas

<sup>9</sup> UIS - Geología

<sup>10</sup> UIS-Geología

**Autor responsable de la comunicación:** jsanabri@uis.edu.co

El Volcan Cerro Machín es un estratovolcán activo compuesto por un edificio volcánico y varios domos, ubicado en zona rural de la ciudad de Ibagué, departamento del Tolima en el centro de Colombia. Por su historia eruptiva es uno de los volcanes más peligrosos del país. Existe una comunidad de tamaño apreciable que vive en la zona de influencia de este volcán, increíblemente algunos viven dentro del cráter mismo. Se viene desarrollando un proyecto de investigación para conocer características del interior del domo del volcán con miras a ayudar a caracterizar su historia evolutiva así como a aportar información geofísica que ayude a las agencias tomadoras de decisiones sobre el peligro en la zona. Para realizar la mencionada caracterización se emplean métodos y técnicas geofísicas estándar (gravimetría, magnetometría, tomografía de resistividad eléctrica, entre otras) y se está contruyendo un telescopio de muones que aportará información de la densidad dentro de los domos. El telescopio contará el flujo de muones provenientes de las cascadas de partículas producidas por la interacción de rayos cósmicos con la atmósfera, de donde se puede deducir la densidad promedio de los domos en las direcciones de arribo de los muones. Tomando mediciones de flujo muones en tres puntos alrededor del volcán se contruirá un modelo 3D de densidad de los domos, integrando la información de muongrafía con la de los otros métodos geofísicos.

Como parte de la responsabilidad social del proyecto, se han iniciado trabajos con la comunidad escolar de dos colegios cercanos al volcán, en los corregimientos de Toche y Tapias. Se hizo una caracterización de los intereses de los estudiantes de los colegios y se decidió conformar tres semilleros: (i) Biodiversidad en un domo de lava: Apropiación social del conocimiento sobre el Volcán Machín, (ii) Identidad Cultural en la Cumbre del Machín: Un Experimento de Enseñanza interdisciplinar como estrategia de apropiación social del conocimiento y, (iii) Volcán Machín como Potencia Económica Regional: Un Experimento de Enseñanza STEM para la Apropiación Social del Conocimiento.

De igual forma, se ha iniciado actividades de divulgación científica en muongrafía y geofísica con los campesinos de la zona para generar sentido de pertenencia al proyecto.

**Nivel de formación:**

Investigador

Charlas Paralela II / 28

## Extended FLRW models, non-Abelian gauge fields and the weak cosmological principle

**Autores:** Ben David Normann<sup>1</sup>; Nicolás Hernández Beltrán<sup>2</sup>; Yeinzon Rodríguez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *University of Stavanger*

<sup>2</sup> *Universidad Industrial de Santander*

**Autores responsables de la comunicación:** yeinzon.rodriguez@uan.edu.co, maryorisac@hotmail.com, ben.d.normann@uis.no

In this work, we shall construct a little forgotten subset of the Bianchi models: the extended Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker (FLRW) models, defined as cosmological models with underlying anisotropic Bianchi geometry that nevertheless expand isotropically and can be mapped onto a reference FLRW model with the same expansion history. In order to establish the stability and naturalness of such models, we consider the dynamics of non-Abelian gauge fields attached to an imperfect fluid that possesses anisotropic stresses. As a result, we expect to obtain a generalisation of the case that involves just Abelian gauge fields.

**Nivel de formación:**

Maestría

Charlas Paralela II / 29

## Simulación de campos cosmológicos con Cosmolattice

**Autores:** Antonio Enea Romano<sup>1</sup>; Camilo Londoño Vera<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Universidad de Antioquia*

**Autores responsables de la comunicación:** camilo.londonov@udea.edu.co, antonio.romano@udea.edu.co

Este trabajo se encuentra en desarrollo, la propuesta es exponer el funcionamiento del software Cosmolattice [1,2], útil para hacer teoría cuántica de campos en espaciotiempo curvo (teoría de perturbaciones, cuerdas cósmicas 3, ...).

Contexto: El uso de herramientas computacionales es importante para estudiar el universo temprano y obtener predicciones acerca de la anisotropía del CMB y la estructura a gran escala del universo.

Métodos: Los métodos consisten en simulaciones de campos del universo temprano obtenidas con Cosmolattice.

Resultados: Por obtenerse.

Conclusión: Se espera aprender un uso amplio del software y mostrar la relevancia teórica de sus métodos.

Referencias:

1 The Art of Simulating the Early Universe. <https://arxiv.org/pdf/2006.15122>

2 CosmoLattice. <https://arxiv.org/pdf/2102.01031>

3 Gravitational Wave Emission from Cosmic String Loops, II: Local Case. <https://arxiv.org/pdf/2408.02364>

**Nivel de formación:**

Pregrado

**Charlas Paralela II / 30****EXACT SOLUTIONS OF THE EINSTEIN-MAXWELL EQUATIONS FOR AXIALLY SYMMETRIC ASTRONOMICAL OBJECTS WITH MAGNETICALLY POLARIZED MATERIAL****Autores:** Guillermo A. González<sup>1</sup>; Juan Guillermo Trejos Forero<sup>1</sup><sup>1</sup> *Universidad Industrial de Santander***Autores responsables de la comunicación:** guillego@uis.edu.co, memo\_forero@hotmail.com

A family of solutions for the Einstein-Maxwell equations for compact axially symmetric and magnetically polarized objects is presented. The solutions are obtained by considering a seed solution which describes one of the metric functions and the magnetic potential vector in order to obtain a solution for the non vanishing Einstein equations. It is assumed that the source is made of an anisotropic non dissipative fluid and the magnetic polarization is proportional to the magnetic field due to the Maxwell equations. Once a solution for the system of equations is obtained, we determine the pressure and density which describes the content of matter of the model, as well as the border of the astronomical object. Similarly, we obtain the associated variables within the magnetic description of the object.

**Nivel de formación:**

Maestría

**Charlas Paralela II / 31****Colapso gravitacional en las estrellas de neutrones en el modelo de hipernova impulsada por binarias (BdHN)****Autor:** Laura Becerra<sup>1</sup><sup>1</sup> *Universidad Industrial de Santander***Autor responsable de la comunicación:** laura.marcela.becerra@gmail.com

El modelo de hipernova impulsada por binarias (BdHN) postula que los brotes gamma largas (GRBs) se originan en sistemas binarios compuestos por una estrella de carbono-oxígeno (CO) y una estrella de neutrones (NS) compañera en órbita cercana. El colapso del núcleo CO desencadena el GRB, generando una proto-estrella de neutrones y una supernova (SN) que acreta sobre ambas estrellas de neutrones. Esta acreción, altamente super-Eddington, transfiere rápidamente masa y momento angular a las estrellas. En este trabajo hemos evaluado los parámetros binarios que conducen a que cualquiera de las estrellas de neutrones alcance la masa crítica para colapsar gravitacionalmente y formar un agujero negro (BH). Además, encontramos que el tiempo de colapso varía desde segundos hasta horas, dependiendo de los valores iniciales del momento angular de la estrella de neutrones.

Las BdHNe de tipo I, las más compactas (con un período orbital de aproximadamente cinco minutos) y energéticas muestran una formación rápida de agujeros negros. Estas hipernovas forman binarias

NS-BH con una escala de tiempo de fusión de decenas de miles de años debido a la emisión de ondas gravitacionales. Por otro lado, las BdHNe de tipo II no dan lugar a la formación de agujeros negros y liberan menos energía. Estos eventos resultan en binarias NS-NS con tiempos de fusión similares. Sin embargo, en algunas BdHNe de tipo II, una de las estrellas de neutrones puede volverse supermasiva y se observa que el frenado magnético puede conducir a un colapso retardado en un agujero negro en un período de tiempo de decenas de días, dando lugar a binarias BH-BH o NS-BH con una escala de tiempo de fusión de decenas de miles de años.

**Nivel de formación:**

Doctorado

**Charla Plenaria / 32**

## Chaos in Spacetimes with Magnetic Dipoles

**Autor:** Francisco Frutos-Alfaro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *University of Costa Rica*

In this contribution, we present a study of the chaotic behavior of geodesics in an approximate spacetime with a magnetic dipole and mass quadrupole.

The chaotic behavior of geodesics is a key aspect of understanding the underlying structure and dynamics of astrophysical systems.

This spacetime was derived from the Kerr-Newman metric by incorporating the mass quadrupole and the magnetic dipole as perturbations.

The metric satisfies the Einstein-Maxwell equations up to third order.

**Nivel de formación:**

**Charlas Paralela II / 33**

## Chaotic Dynamic Comparison of Kerr-like and Hartle-Thorne Spacetimes

**Autor:** Adrian Eduarte<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *University of Costa Rica*

**Autor responsable de la comunicación:** adrian.eduarte11@gmail.com

In this contribution, we compare the dynamics of the phase portrait for spacetimes with three parameters namely mass, spin, and mass quadrupole. The metrics we chose are the Kerr-like with mass quadrupole and the Hartle-Thorne. Both spacetimes represent an object slightly deformed: prolate and oblate. The comparison is realized through Poincaré sections and rotation numbers.

**Nivel de formación:**

**Charlas Paralela II / 34**

## **Modelos semi-analíticos de radiación de ondas gravitacionales en la astrofísica**

**Autor:** Jose Fernando Rodriguez Ruiz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Universidad Industrial de Santander*

**Autor responsable de la comunicación:** joferoru@gmail.com

**Nivel de formación:**

**Charla Plenaria / 35**

## **Dark Matter in Galactic Structure**

**Nivel de formación:**