



## Propuesta de Trabajo Fin de Grado del Doble Grado en Física y Matemáticas (curso 2021-2022)

*Responsable de tutorización:* Manuel Pérez-Victoria Moreno de Barreda

*Departamento:* Física Teórica y del Cosmos

*Área de conocimiento:* Física Teórica

*Responsable de cotutorización:*

*Departamento:*

*Área de conocimiento:*

*(Rellenar sólo en caso de que la propuesta esté realizada a través de un estudiante)*

*Estudiante que propone el trabajo:*

*Título:* Entrelazamiento cuántico, agujeros negros y holografía

*Tipología del trabajo (marcar una o varias de las siguientes casillas):*

- 1. Revisiones y/o trabajos bibliográficos sobre el estado actual de aspectos específicos relacionados con la titulación
- 2. Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática de la titulación, a partir del material disponible en los centros
- 3. Trabajos experimentales, de toma de datos de campo, de laboratorio, etc.
- 4. Elaboración de nuevas prácticas de laboratorio
- 5. Elaboración de un informe o un proyecto en el ámbito del grado de naturaleza profesional
- 6. Trabajos relacionados con las prácticas externas

*Descripción y resumen de contenidos:*

Este trabajo de fin de grado pretende explorar las ideas revolucionarias que han surgido en los últimos años relacionando la gravedad la geometría del espacio-tiempo con propiedades esencialmente cuánticas de sistemas sencillos. Estos temas en la frontera del conocimiento en física teórica involucran estructuras matemáticas avanzadas, principalmente en los campos de geometría diferencial, teoría de grupos y topología.

Muchas de estas ideas se basan en el descubrimiento de J. Maldacena [1] de una dualidad de carácter holográfico entre dos teorías aparentemente muy distintas: una teoría gravitatoria en espacio de anti-de Sitter y una teoría de campos en una dimensión menos. Esta dualidad permite en particular entender ciertos aspectos de gravedad clásica o cuántica en términos de sistemas cuánticos más sencillos. En particular, se ha mostrado que el entrelazamiento de estados cuánticos está directamente relacionado con la geometría y topología del espacio-tiempo [2,3]. En ciertos casos, por ejemplo, el entrelazamiento de dos partículas corresponde a su conexión mediante un agujero de gusano [4]. Se han mostrado también relaciones entre geometría y conceptos de información cuántica como la complejidad [5] y relaciones con el grupo de renormalización en teoría cuántica de campos [6]. Existen también conexiones notables con ciertas ideas en materia condensada [7]. Todos estos avances han llevado a la sugerencia de que el espacio y el tiempo no son más que una forma efectiva de describir las propiedades del sistema cuántico subyacente a la realidad.

Este trabajo de fin de grado está pensado como introducción a las dualidades holográficas y a las nuevas ideas que conectan la geometría del espacio-tiempo con propiedades cuánticas. Entre otros se tratarán los siguientes temas:

- Entrelazamiento y entropía cuántica.
- Correspondencia gauge-gravedad.
- Agujeros negros: aspectos clásicos y cuánticos.
- Entropías de entrelazamiento holográficas.
- EP = EPR
- Redes de tensores

*Requisitos previos:* Es imprescindible haber cursado o cursar simultáneamente las asignaturas optativas siguientes: Teoría de Campos y Partículas; Relatividad General. Se recomienda también cursar la asignatura Información Cuántica y Aplicaciones.

*Actividades a desarrollar:*

- I. Estudio de revisiones y de los artículos originales más relevantes sobre el tema.
- II. Realización de cálculos relacionados con las dualidades holográficas.

*Objetivos planteados*

- Introducir al alumno en estos temas de actualidad.
- Permitirle descubrir la sinergia entre física teórica y matemáticas avanzadas.
- Proporcionar un primer contacto con la investigación en física teórica.

***Bibliografía***

- [1] Maldacena, J. M., *Adv. Theor. Math. Phys.* **2**, 231–252 (1998).
- [2] Ryu, S. and Takayanagi, T., *Phys.Rev.Lett.* **96**, 181602 (2006).
- [3] Van Raamsdonk, M., *Gen.Relativ.Grav.* **42**, 2323–2329 (2010).
- [4] Maldacena, J., Susskind, L., *Fortschr.Phys.* **61**, 781–811 (2013).
- [5] Stanford, D. and Susskind, L., *Phys. Rev. D* **90**, 126007 (2014).
- [6] Lizana, J.M., Morris, T.R., Pérez-Victoria, M., *Journal of High Energy Physics* 03,198 (2016).
- [7] Swingle, B., *Phys.Rev. D* **86**, 065007 (2012).

*Resumen divulgativo:*

- <https://www.nature.com/news/the-quantum-source-of-space-time-1.18797>

*Videos semi-divulgativos:*

- <https://www.youtube.com/watch?v=moDmOk05YCc>

- [https://www.youtube.com/watch?v=GCiF79\\_LQr8](https://www.youtube.com/watch?v=GCiF79_LQr8)

Firma del estudiante  
(solo para trabajos propuestos por alumnos)

Firma del responsable de tutorización

Firma del responsable de cotutorización (*en su caso*)

En Granada, a 18 de mayo de 2020