UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

Propuesta TFG. Curso 2026/2027

GRADO: Doble Grado en Física y Matemáticas

CÓDIGO DEL TFG: 295-002-2026/2027

1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Una aproximación categórica a la mecánica cuántica

Descripción general (resumen y metodología):

La teoría de categorías proporciona un lenguaje abstracto y unificador para estudiar estructuras matemáticas a partir de sus objetos y de los morfismos entre ellos. Esta perspectiva permite observar no solo en la naturaleza interna de los objetos, sino también en las relaciones, transformaciones y composiciones que se establecen entre ellos. Por este motivo, la teoría de categorías ha adquirido un papel importante en distintas áreas de las matemáticas, especialmente en álgebra, topología y teoría de la computación.
En mecánica cuántica, esta forma de pensar resulta especialmente natural. Un sistema físico puede interpretarse como un objeto, mientras que las interacciones, la evolución temporal, la preparación de estados cuánticos, o la medición de un operador pueden interpretarse como procesos, representados por morfismos. La composición de procesos físicos se corresponde entonces con la composición de morfismos, lo que permite describir la teoría desde un punto de vista centrado en las relaciones entre sistemas y transformaciones.
El formalismo estándar de la mecánica cuántica se basa en espacios de Hilbert, operadores lineales, productos tensoriales y la proyección en autoestados de operadores. La mecánica cuántica categórica no pretende sustituir este formalismo, sino ofrecer una perspectiva más estructural, composicional y diagramática. Esta perspectiva permite resaltar qué propiedades matemáticas están detrás de algunos fenómenos característicos de la mecánica cuántica, como el entrelazamiento, la imposibilidad de clonar estados cuánticos arbitrarios o la teleportación cuántica.
El trabajo tendrá una primera parte de carácter bibliográfico, dedicada al estudio de las herramientas básicas de la teoría de categorías necesarias para comprender su papel en la formulación matemática de la mecánica cuántica. En particular, se estudiarán las nociones de categoría, funtor, transformación natural y categoría monoidal, así como la categoría de espacios de Hilbert como modelo fundamental de sistemas cuánticos.
A partir de este marco teórico, buscará aplicar el lenguaje categórico al análisis conceptual de algunos fenómenos cuánticos. Se prestará especial atención al producto tensorial, a la descripción de sistemas compuestos y al modo en que el enfoque categórico permite entender de forma más intuitiva y estructural fenómenos como el entrelazamiento, la no-clonación y la teleportación cuántica.

Tipología: Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática del Grado.

Objetivos planteados:

- Estudiar y comprender las nociones básicas de categoría, morfismo, funtor y transformación natural.
- Introducir el concepto de categoría monoidal y analizar su relación con la composición de sistemas físicos.
- Identificar las estructuras categóricas que aparecen en el formalismo de espacios de Hilbert, como la composición de morfismos, el producto tensorial y la operación adjunta, y estudiar cómo estas permiten reinterpretar procesos cuánticos desde un punto de vista composicional.

- Interpretar estados, procesos, efectos y mediciones desde el punto de vista categórico, relacionándolos con objetos, morfismos y escalares.
- Análisis de fenómenos cuánticos usando categorías monoidales.
- Análisis e interpretación de los resultados.

Bibliografía básica:

[1] Borceux, F., Handbook of Categorical Algebra I, Cambridge University Press, 1994.
[2] Leinster, T., Basic Category Theory, Cambridge Studies in Advanced Mathematics, Cambridge University Press, 2014.
[3] Heunen, C. y Vicary, J., Categories for Quantum Theory: An Introduction, Oxford University Press, 2019.
[4] Coecke, B. y Kissinger, A., Picturing Quantum Processes: A First Course in Quantum Theory and Diagrammatic Reasoning, Cambridge University Press, 2017.

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: AURORA INÉS DEL RÍO CABEZA

Ámbito de conocimiento/Departamento: ÁLGEBRA

Correo electrónico: adelrio@ugr.es

3. COTUTOR/A DE LA UGR (en su caso):

Nombre y apellidos: MARÍA ROSARIO GONZÁLEZ FÉREZ

Ámbito de conocimiento/Departamento: FÍSICA ATÓMICA, MOLECULAR Y NUCLEAR

Correo electrónico: rogonzal@ugr.es

4. COTUTOR/A EXTERNO/A (en su caso):

Nombre y apellidos:

Correo electrónico:

Nombre de la empresa o institución:

Dirección postal:

Puesto del tutor en la empresa o institución:

Centro de convenio Externo:

5. DATOS DEL ESTUDIANTE:

Nombre y apellidos: LUCÍA LÓPEZ GONZÁLEZ

Correo electrónico: lucialopezg@correo.ugr.es