PROYECTO DE INVESTIGACIÓN INTERNOS SIN FINANCIAMIENTO O AUTOGESTIONADOS

ANEXO 2 – DETALLES DE LA PROPUESTA

Investigación Básica **X** Investigación Aplicada ❑

DEPARTAMENTO(S) Y/O INSTITUTO(S):
1. Departamento de Física
2.

LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:
1. Fundamentos de Física
2.

DISCIPLINA CIENTÍFICA ***(Marque X, solamente una opción)***	
Ciencias Naturales y Exactas;	X
Ingeniería y Tecnologías;	
Ciencias Médicas;	
Ciencias Agrícolas;	
Ciencias Sociales;	
Humanidades	

OBJETIVO SOCIOECONÓMICO ***(Marque X, solamente una opción)***	
Exploración y explotación del medio terrestre;	
Ambiente;	
Exploración y Explotación del espacio;	
Transporte, telecomunicaciones y otras infraestructuras;	
Energía;	
Producción y tecnología industrial;	
Salud;	
Agricultura;	
Educación;	
Cultura, ocio, religión y medios de comunicación;	
Sistemas políticos y sociales, estructuras y procesos;	
Defensa;	
Avance general del conocimiento: I+D financiada con los Fondos Generales de Universidades (FGU);	X
Avance general del conocimiento: I+D financiados con otras fuentes.	

1	**Proyecto de Investigación**
	Título: On RG-2 flow and wormhole geometries
	Resumen del proyecto (máximo 200 palabras) Este proyecto plantea el estudio de la evolución de geometrías de agujero de gusano bajo el flujo RG-2. Se busca extender y refinar los resultados existentes para el flujo de Ricci. En particular, se busca estudiar numéricamente la evolución de distintos tipos de agujeros de gusano en varias dimensiones. Los agujeros de gusano se interpretan como pasadizos entre lugares distantes entre sí, o túneles que conectan dimensiones diferentes en una teoría de gravedad. Además, el fenómeno de la información atravesando el agujero de gusano es análogo al proceso de extraer información desde el interior de un agujero negro, problema que todavía plantea muchas paradojas. Estudiando cómo evoluciona un agujero de gusano bajo las ecuaciones del flujo de renormalización del modelo sigma no lineal a un loop, el flujo de Ricci, se ha encontrado cierto tipo de criticidad. Cuando consideramos el flujo *a dos loops*, el flujo RG-2, es posible que aparezcan nuevos tipos de criticidad, o que la existente *a un loop* varíe. Más aún, en las zonas donde la curvatura es muy grande se necesita una mejor aproximación al flujo de renormalización, es ahí donde nos es muy útil el flujo RG-2. Además, si se estudia la evolución de agujeros cargados con flujos acoplados se puede encontrar nuevos fenómenos relacionados.
	Palabras clave (4-6): Wormhole, RG-2 flow, Ricci flow, criticality

2	**Objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación**

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

- Estudiar analítica y numéricamente la evolución de algunas geometrías de agujeros de gusano bajo el flujo RG-2.

2.1.2 Objetivos Específicos

a. Analizar la evolución de un agujero de gusano bajo el flujo RG-2.
b. Determinar el comportamiento de la criticidad, previamente encontrada en el caso de evolución bajo el flujo de Ricci, ahora bajo el flujo RG-2.
c. Analizar distintos tipos de condiciones iniciales.
d. Estudiar las propiedades de atravesabilidad bajo el flujo RG-2

2.2 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)

a. Cálculo de la evolución numérica de una métrica de agujero de gusano.
b. Simulación numérica de la evolución de la garganta del agujero.
c. Evolución numérica de algunos tipos de agujeros de gusano con diferentes condiciones iniciales.
d. Cálculo numérico de la evolución de la condición de ensanchamiento.

3	**Relevancia de la propuesta de investigación y su relación con la(s) líneas de investigación**

Actualmente, los agujeros de gusano son un campo de estudio fructífero y sobre todo muy activo de investigación. Desde la publicación del artículo de Morris-Thorne, donde se estudió las propiedades de atravesabilidad del agujero de gusano, ahora llamado de Morris-Thorne, han sido muchos los intentos por encontrar un agujero de gusano atravesable, y aunque ha habido algunos avances, el problema todavía no está resuelto.

Recientemente, Maldacena et. al [1] han propuesto una solución de agujero de gusano, que entre sus características contempla la atravesabilidad del mismo. Más aún plantean la posibilidad de enviar información a través de éste tipo de agujero de gusano, aunque con ciertas limitaciones. Así, se establece una analogía entre la atravesabilidad de información de un agujero de gusano y la extracción de información de un agujero negro, problema fundamental en el campo de la Física Teórica. Las propiedades de éste tipo de agujeros no han sido estudiadas a profundidad y todavía son un campo para descubrir nueva Física, por lo que el proyecto se enmarca dentro de la línea de investigación en Fundamentos de Física del Departamento de Física.

Por otro lado, las ecuaciones del grupo de renormalización, de una teoría puramente geométrica, como el modelo sigma no lineal *a un loop* vienen dadas por el flujo de Ricci [2]. Si consideramos hasta el *segundo loop* obtenemos el denominado flujo RG-2 [3]. Este flujo todavía es un campo activo de investigación [4-5]. En el contexto de Relatividad General, el flujo RG-2 se ha aplicado para calcular la evolución de una superficie compacta definida en una variedad Riemanniana. Tal variedad se obtiene como una foliación simétrica en el tiempo de un espaciotiempo. Sin embargo, no se ha hecho un estudio acerca de la evolución de objetos no compactos. En particular, la evolución de geometrías de agujeros de gusano bajo el flujo de Ricci se presenta en V. Husain et al. [6]. Este análisis tiene algunas limitaciones, la principal es que la aproximación *a un loop* no toma en cuenta los efectos de curvatura "grande". Efectos que toman mayor importancia cuando nos aproximamos a una singularidad del flujo, y por tanto a una singularidad del agujero de gusano. Consecuentemente, este estudio también tiene algunas implicaciones en el campo del Análisis Geométrico, pues las singularidades del flujo RG-2 no han sido estudiadas en profundidad.

La propiedad de ensanchamiento del agujero de gusano establece una cota mínima para la garganta del agujero. Sin embargo, el flujo mencionado podrá hacer evolucionar el agujero incluso hasta desaparecer la garganta. La condición de ensanchamiento está relacionada con la materia que se necesita para sostener el agujero, por lo que las singularidades que desarrollen estos agujeros estarán condicionadas por las restricciones impuestas por las condiciones de energía que satisfaga la masa. Conforme evoluciona el agujero de gusano las propiedades de atravesabilidad cambian, es por eso que éste proyecto nos permitirá acercarnos al estudio de la extracción de información de un agujero negro, aunque de una forma muy particular y con algunas restricciones.

Para estresar el modelo a *segundo loop*, RG2, se deben desarrollar e implementar algoritmos numéricos adaptados a la multidimensionalidad de este estudio. Las reproducciones numéricas del modelo *a un loop* permitirán optimizar los códigos, limitados al poder computacional disponible en el Ecuador. Los códigos que se desarrollen cimentarán este tipo de estudios en el país.

4	**Productos esperados (marcar con una "X" al menos uno de los productos no señalados)**

Tipo de Producto:	Marcar con una "X"
a. Disertación a la Comunidad Politécnica (obligatorio);	X
b. Presentación de un artículo en formato de la Revista Politécnica (obligatorio)	X
c. Proyecto de Titulación;	
d. Aplicación tecnológica construida o implementada;	
e. Patente presentada;	
f. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.	
g. Publicaciones científicas indexada en SCIMAGO-SCOPUS/WoS/SCIELO/Latindex Catálogo o un artículo en congreso indexado en SCOPUS.	

5	**Descripción y metodología y diseño del proyecto**

5.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto (Máximo dos carillas)

Los agujeros de gusano son soluciones a las ecuaciones de Einstein, aunque también se han encontrado soluciones de agujero de gusano como soluciones a otras teorías de gravedad [7]. Estos agujeros se podrían atravesar por objetos masivos únicamente si existiese la suficiente cantidad de materia exótica, la cual permite sostener la garganta del agujero. La materia exótica no satisface las condiciones de energía que se esperarían para la masa tradicional, por lo que se han buscado algunas soluciones a este problema [8]. El tipo de materia que pongamos en el agujero determinará la geometría de éste y por tanto se requiere un equilibrio entre el tipo de materia y las condiciones geométricas para que el agujero sea atravesable.

Siendo el agujero de gusano un objeto puramente geométrico, se espera que las técnicas para lidiar con problemas de éste tipo se puedan usar de alguna forma. En particular, los flujos geométricos han mostrado ser una herramienta muy potente para el estudio de propiedades geométricas, es así que el flujo de Ricci ha sido usado para demostrar uno de los problemas del siglo, la conjetura de Poincaré. [9] En particular, se ha usado para estudiar los agujeros de gusano y se ha determinado que existe un exponente crítico que marca la zona donde la garganta permanece estable.

Iniciaremos el trabajo buscando coordenadas adecuadas para la métrica de Morris- Thorne. Luego de establecer cotas para las magnitudes relevantes, como el ancho de la garganta, procederemos a establecer las condiciones iniciales para el proceso de evolución. Distinguiremos dos tipos de límites asintóticos, el plano y el (anti)-de Sitter. Entonces procederemos con la solución numérica de las ecuaciones resultantes, teniendo especial cuidado en las zonas donde la curvatura es grande, es decir cerca de las singularidades, aquí es donde el flujo RG-2 hace sentir sus efectos.

Compararemos los resultados ya encontrados para el flujo de Ricci con los nuevos resultados, verificaremos que la criticidad se mantiene, aunque ahora el resultado se refina. Además, esperamos que la inclusión de la corrección introducida al flujo ayude a descubrir nuevas criticidades, o al menos

nos de pistas acerca del comportamiento de las singularidades. Buscaremos una relación entre la condición de ensanchamiento y la existencia de singularidades.

La ecuaciones diferenciales multidimensionales del Ricci flow y RG2 serán discretizadas para su estudio numérico. Esta discretización pseudoespectral (diferencias finitas + espectral) considerará análisis tipo Von Neumann para garantizar su estabilidad numérica. Los códigos que se escriban a partir de este análisis deben ser paralelizados, debido a su alto costo computacional, ligado a la dimensionalidad de los flujos que se estudiarán. La paralelización numérica se adaptará a la arquitectura del servidor de cálculo del Departamento de Física.

Finalmente, especularemos acerca de la inclusión de materia cargada, tratando de generalizar el estudio para agujeros de gusano con carga.

Referencias

[1] J. Maldacena, A. Milekhin, F. Popov, "Traversable wormholes in four dimensions." arXiv preprint arXiv:1807.04726 (2018).

[2] B. Chow, D Knopf, The Ricci flow: An Introduction. American Mathematical society, 2004.

[3] K. Gimre, C. Guenther, J. Isenberg. "A geometric introduction to the two-loop renormalization group flow." Journal of Fixed Point Theory and Applications 14.1 (2013): 3-20.

[4] M. Carfora, C. Guenther, "Scaling and Entropy for the RG-2 Flow." arXiv preprint arXiv:1805.09773 (2018).

[5] O. Lasso Andino, RG-2 flow, mass and entropy, Class. Quantum Grav. 36 065011 (2019), arXiv:1806.10031v3 [gr-qc]

[6] V. Husain, S. Seahra, Ricci flow, wormholes and critical phenomena. Class.Quant.Grav. 25 222002, 2008, arXiv:0808.0880v2 [gr-qc]

[7] F. S. N. Lobo, Editor. Wormholes, Warp Drives and Energy Conditions, Springer, 2017

[8] Íbid.

6 Infraestructura, equipos y fondos adicionales.

6.1 Infraestructura y equipos

Computadores de escritorio, servidor de cálculo numérico del Departamento de Física (5to. Piso del edificio de Ciencias).

6.2 Breve justificación del equipo requerido

Se desarrollarán algoritmos y códigos numéricos de alto rendimiento, mismos que serán adaptados a las infrastructura física del servidor de cálculo del Departamento de Física de la EPN.

6.3 Fondos Adicionales

N/A

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Proyecto de Investigación Interno Sin Financiamiento o Autogestionado

ANEXO 3 - CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO

Título del Proyecto: On RG-2 flow and wormhole geometries

AÑO 1

Nº	Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8				Mes 9				Mes 10				Mes 11				Mes 12			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Analizar la evolución de un agujero de gusano bajo el flujo RG-2																																																
1,1	Cálculo de la evolución numérica de una métrica de agujero de gusano																																																
2	Determinar el comportamiento de la criticidad, previamente encontrada en el caso de evolución bajo el flujo de Ricci, ahora bajo el flujo RG-2																																																
2,1	Simulación numérica de la evolución de la garganta del agujero																																																
3	Analizar distintos tipos de condiciones iniciales																																																
3,1	Evolución numérica de algunos tipos de agujeros de gusano con diferentes condiciones iniciales																																																
4	Estudiar las propiedades de atravesabilidad bajo el flujo RG-2																																																
4,1	Cálculo numérico de la evolución de la condición de ensanchamiento																																																

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN INTERNOS SIN FINANCIAMIENTO O AUTOGESTIONADOS

ANEXO 4 - DECLARACIÓN

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación básica **X**	Investigación aplicada ❑

TÍTULO DEL PROYECTO

On RG-2 flow and wormhole geometries

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

El equipo de investigadores, representado por el Director del Proyecto declara lo siguiente:

- Que el presente proyecto es una creación original de mi autoría y del equipo de investigadores, y por tanto asumimos la completa responsabilidad legal en caso de que un tercero alegue la titularidad de los derechos intelectuales del proyecto, exonerando a la EPN de cualquier acción legal que se derive por esta causa.
- Que el presente proyecto no ha sido presentado en ninguna convocatoria de otra institución pública o privada. El incumplimiento será causal para que el proyecto no sea tomado en consideración.
- Que todos los bienes adquiridos en proyecto permanecerán bajo la custodia y responsabilidad del director de proyecto durante la ejecución del mismo.
- Que si el proyecto genera algún producto o procedimiento susceptible de obtener derechos de propiedad intelectual, de los cuales se deriven beneficios, aceptamos que éstos serán compartidos entre los investigadores y la institución o las instituciones participantes en el proyecto, conforme a lo establecido en el COESC.
- Que el equipo de investigadores y/o instituciones participantes se comprometen a mantener la confidencialidad de la información si ésta podría ser susceptible de protección por patentes, y solicitar la valoración de propiedad intelectual respectiva previa a cualquier publicación o difusión.
- Que para el caso de derechos de autor otorgamos una licencia de uso exclusivo con fines académicos para la o las instituciones participantes en el proyecto.

Firma del Director del Proyecto
Nombre: Dr. Christian Vásconez
C.I.: 1717320723

DECLARACIÓN DEL JEFE DE DEPARTAMENTO

Esta propuesta ha sido aprobada y avalada por el Consejo del Departamento de ……Física……, en sesión del día ……25-04-2019… mediante resolución No. ……2……..

Las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del proponente y sus colaboradores de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta propuesta.

Firma del Jefe del Departamento
Nombre: PhD César Costa
C.I.: 1102550801

ITEC NACIONAL DEPARTAMENTO DE FÍSICA