



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA GRUPOS 2020

Estado: aprobado 06/05/2020

Información del GI

Grupo de investigación	: GRUPO DE FISICA TEORICA
Facultad	: Ciencias Físicas
Área académica	: Ciencias Básicas
Unidad de investigación	: Ciencias Físicas
Tipo de investigación	: Básica (aumento del conocimiento existente sobre el tema)
línea OCDE	: Física de Partículas y Campos

Proyecto

Código de proyecto:	: B20131721
Título	: Modelos inflacionarios y decaimiento del falso vacío en un campo escalar con acoplamiento no mínimo
Linea de Investigación	: Cosmología y Gravitación
Localización	: En las sedes de la UNMSM en Lima

Resumen ejecutivo

La presente propuesta comprende el estudio sistemático y detallado de las principales propiedades del modelo inflacionario, en particular de inflación de Higgs y el **proceso de nucleación de burbujas en presencia de la gravedad en una teoría con acoplamiento no mínimo**. Es importante señalar que a pesar de muchos años de estudio del modelo inflacionario y decaimiento del falso vacío con el término de acoplamiento no mínimo entre la gravedad y el campo escalar, aún quedan muchos cabos abiertos y justamente este es el foco de presente proyecto.

Este estudio comienza con el desarrollo detallado y sistemático del formalismo hamiltoniano de modelos inflacionarios comenzando desde la descomposición (1+3) de ADM en la relatividad general, continua con el análisis de las principales características de los marcos de Jordan y de Einstein, con inflación de Higgs, así como con el desarrollo del decaimiento del falso vacío en presencia de la gravedad, en la aproximación semiclásica del instanton de CdL. Luego estos resultados son extendidos a las teorías de tipo escalar-tensorial. Finalmente analizaremos el **efecto de la constante de acoplamiento no mínimo sobre la inflación y el decaimiento del falso vacío de forma analítica y contrastándolo con métodos computacionales**.

Palabras clave

modelos inflacionarios, decaimiento del falso vacío, acoplamiento no mínimo

Antecedentes

Antecedentes:

La teoría del Big Bang es un modelo exitoso en cosmología. El modelo inflacionario [1-4] es una de las propuestas para resolver problemas cosmológicos asociados con la pequeña curvatura del universo o la planitud, el horizonte y la distribución homogénea de energía. Durante el periodo inflacionario, el universo tuvo una rápida expansión espacial lo que trajo como consecuencia que la curvatura del mismo fuese pequeña, se redujo la distancia comóvil, que representa la distancia en la que dos puntos pueden interactuar en un tiempo finito, y también hizo posible la homogeneidad del universo. La inflación también, no solo redujo la densidad de partículas y estructuras que existían anteriormente, con lo que podemos entender la ausencia de ciertos objetos como los monopolos, sino sobre todo proporciona un mecanismo para la generación de perturbaciones de densidad necesarias para la formación de estructuras en el universo [5-7].



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA GRUPOS 2020

Sin embargo ¿cuál es el origen de la inflación? Hay muchas propuestas tanto desde el punto de vista de la física de partículas como de la teoría de la gravitación, pero aún en la actualidad no sabemos qué modelo es el que corresponde a la realidad. En las últimas décadas se han desarrollado distintas observaciones y además se ha obtenido información sobre la inflación, siendo la detección directa de fotones primordiales el método más confiable en la investigación de la historia del universo. Aunque la observación directa de la inflación es difícil, podemos observar los fotones de la última dispersión llamados fondo cósmico de microondas (CMB por sus siglas en inglés), y su perturbación de temperatura y la polarización nos dice muchas propiedades de la inflación. Un observable importante es el relación tensor-escalar r , que es la relación de amplitud de las perturbaciones tensoriales y escalares. En principio, la perturbación tensorial puede observarse como las ondas gravitacionales primordiales. El campo escalar causante de la inflación se conoce como inflatón. La materia y la radiación en el universo no pueden inducir la inflación debido a que su presión es positiva y siempre produce una expansión desacelerada. Por otro lado, los campos escalares pueden convertirse en candidatos para inflatón. El modelo estándar (SM por sus siglas en inglés) de la física de partículas tiene el campo de Higgs como el único campo escalar que se ha descubierto [8,9]. Aunque el SM Higgs puro no puede reproducir los valores observados de r y n_s (índice espectral del espectro de potencia de la perturbación escalar), podemos hacer modelos adecuados introduciendo algunos supuestos sobre el modelo estándar junto con otros campos escalares aún no descubiertos.

El efecto túnel es un fenómeno mecánico cuántico que no ocurre en la física clásica. Un mínimo de la energía potencial del sistema clásico es estable. Sin embargo, en un sistema cuántico, la incertidumbre en el momento hace que el estado del sistema se vuelva inestable. Esto es cierto para todos los mínimos de la energía potencial, excepto el más bajo que permanece estable. Este último se le llama vacío verdadero y los otros se les llama vacío "falso". Este fenómeno es extendido a teoría cuántica de campos y la cosmología. Es importante enfatizar que el campo escalar no solo es un candidato para la inflación en cosmología sino también es responsable del efecto Higgs [2] que explica la masa de las partículas en el modelo estándar. Más aún, en el modelo inflacionario híbrido al final de la inflación envuelve la nucleación de burbujas y el decaimiento del falso vacío.

La primera consideración de lo que sucede si el campo escalar está en un estado metaestable, o de falso vacío, fue llevado a cabo en la década de los 70's [3]. Luego, Coleman y Callan explicaron la situación usando la analogía de la energía libre en la mecánica estadística y calcularon una expresión analítica para la probabilidad de decaimiento del falso vacío para un campo escalar [4, 5]. Posteriormente se consideró los efectos que puede tener la gravedad en este fenómeno [6].

Estado del arte:

La inflación es impulsada por un campo escalar que puede interactuar esencialmente con otros campos como la gravedad. Por lo tanto, es natural incluir un acoplamiento explícito no mínimo entre inflatón y el sector gravitacional. El acoplamiento no mínimo a la gravedad implica un acoplamiento entre el escalar Ricci y el campo inflatón, que mezcla los grados de libertad gravitacional y escalar. Esta cosmología de campo escalar no mínimamente acoplada fue investigada por muchos autores en relación con una época inflacionaria [12-16], así como una descripción de la expansión acelerada actual del universo [17-20]. En el modelo estándar de física de partículas, un campo del boson del Higgs podría ser satisfactoriamente identificado con el inflatón siempre y cuando éste se encuentre acoplado de forma no mínima a la gravedad [21,22] y desde entonces ha suscitado mucho interés; para una revisión de desarrollos posteriores, ver [23].

En los modelos cosmológicos con un campo escalar acoplado de forma no mínima hay dos parametrizaciones particulares de campos que se usan comúnmente, los cuales se denominan "marco de Jordan" (JF) y "marco de Einstein" (EF) [24-27]. Hay un debate en curso con una historia bastante larga sobre la equivalencia de estas parametrizaciones.

Al cambiar los marcos (de Jordan y Einstein) por medio de transformaciones conformes, se obtiene la forma adecuada del potencial de Higgs para la inflación. Este modelo predice parámetros muy precisos en el plano r - n_s entre varios modelos de inflación [11]. En la teoría clásica, no hay ningún problema con dichas transformaciones conformes de la métrica ya que son equivalentes. Sin embargo, la dependencia o la independencia del marco de la teoría a nivel cuántica han sido discutidas durante mucho tiempo [28-31].

De otro lado, ya mencionamos que una teoría de campo cuántico puede tener, además del "verdadero vacío" de energía mínima, una o más "vacíos falsos" metaestables de mayor energía. Este último puede decaer nucleando burbujas de vacío verdadero, a través del efecto túnel cuántico o fluctuación térmica, y luego estas burbujas se expanden y colisionan. En presencia de gravedad, uno encuentra no solo las soluciones llamadas instantones de Coleman-De Luccia (CdL) ya mencionadas, sino también los instantones de Hawking-Moss (HM) [32]. El resultado de Coleman-de Luccia fue extendido por [33] al caso de densidades arbitrarias de energía de vacío y se han aplicado a la inflación. El método estándar para el cálculo de las tasas de nucleación de burbujas durante la transición de fase de primer orden se basa en el trabajo [34].

Los resultados obtenidos por Coleman-De Luccia y Parke se extendieron al caso del término de acoplamiento no mínimo [35], donde se evaluó la influencia de este término sobre el radio de la burbuja de vacío verdadero y las tasas de nucleación. Más recientemente, se ha dedicado un nuevo estudio no solo al impacto del acoplamiento no mínimo con la gravedad en la estabilidad al vacío, sino también en la región del mínimo de la interacción electrodébil [36] y las correcciones de gravedad cuántica al potencial efectivo del modelo estándar [37].

Planteamiento del problema:

En el presente proyecto se propone a realizar un estudio sistemático de las principales propiedades del modelo inflacionario no mínimamente acoplado a la gravedad, las características centrales de los marco de Jordan y de Einstein, así como la inflación de Higgs, donde el bosón de Higgs del modelo estándar es identificado con el inflatón siempre y cuando éste se encuentre acoplado de forma no mínima a la gravedad. Adicionalmente, se propone el estudio detallado del decaimiento del falso vacío en presencia de la gravedad, más específicamente, los instantones de Coleman-De Luccia que contiene el termino de acoplamiento no mínimo.

Es importante señalar que a pesar de muchos años de estudio del modelo inflacionario y decaimiento del falso vacío con el término de acoplamiento mínimo entre la gravedad y el campo escalar, aún quedan muchos cabos abiertos y justamente este es el foco de presente proyecto.

Justificación



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA GRUPOS 2020

El Perú cuenta actualmente con una reducida cantidad de investigadores en el área teórica de gravitación y cosmología, lo cual está reflejado en el bajo porcentaje de publicaciones científicas en el tema. Esto es un hecho preocupante ya que la investigación teórica es el más accesible si hablamos de destinar recursos para la elaboración de un proyecto determinado. Por ejemplo; en mayor, o menor, medida las instituciones peruanas cuentan actualmente con herramientas que facilitan el acceso a la información: bibliotecas especializadas, bases de datos de libre acceso, convenios de acceso a revistas especializadas, uso masivo de la comunicación por internet, etc. Todas estas herramientas son indispensables para el quehacer científico en gravitación y cosmología teórica en cualquier lugar del mundo, sin embargo, en el Perú aún no se avizoran los avances esperados.

En ese sentido, el estudio del modelo inflacionario y el proceso de nucleación de burbujas en espacio-tiempo curvo en una teoría que contiene el término de acoplamiento no mínimo entre la gravedad y el campo escalar es piedra angular y una herramienta versátil y de mayor difusión para estudiar el universo temprano y sus relaciones con la física de partículas elementales y otros problemas abiertos, tales como el origen del universo, origen de ondas gravitacionales primordiales, origen y formación de estructuras, la estabilidad del vacío, el modelo estándar, roll del campo de Higgs, etc. Por ello el propósito de estudiar estos problemas tiene un alto potencial aún no explotado, sobre todo en nuestro país. Esto queda manifestado en el gran número de publicaciones científicas en el tema en las dos últimas décadas, buscando respuestas a preguntas fundamentales que nos ayudaran a construir un modelo más completo del universo y de las leyes de la naturaleza en los próximos años. Esto será posible solo mediante una creciente colaboración entre físicos teóricos del área de gravitación y cosmología alrededor de todo el mundo. Por ende, es necesaria la inclusión de nuestra casa de estudios en investigaciones afines.

Contribución e impacto

- Entendimiento y contribución a la ciencia sobre las principales características del modelo inflacionario y el proceso de nucleación de burbujas en presencia de la gravedad en una teoría con acoplamiento no mínimo.
- Comprensión de la física y el manejo de las herramientas matemáticas en el estudio del decaimiento del falso vacío y sus implicaciones en el universo temprano.
- Formación de recursos humanos calificados en gravitación y cosmología.
- Aumento de las publicaciones científicas en gravitación y cosmología de la Facultad de Ciencias Físicas para la comunidad académica.
- Fomento de la colaboración científica entre nuestra casa de estudio e instituciones tanto nacionales como internacionales.
- Implementación de los medios óptimos para el desarrollo de la investigación en gravitación y cosmología.
- Fomento y difusión de la ciencia tanto en la comunidad académico-universitaria y la sociedad.

Hipótesis

Presentamos las siguientes hipótesis básicas:

- El acoplamiento no mínimo entre la gravedad y el inflatón modifica no solo las condiciones iniciales del modelo inflacionario, sino también la formación de estructuras en el universo, sobre todo en el modelo de inflación de Higgs. Este análisis será realizado comenzando con la formulación Hamiltoniana y usando los marcos de Jordan y Einstein para las teorías de tipo escalar-tensorial.
- La constante de acoplamiento no mínimo entre la gravedad y el campo escalar modifica no solo la probabilidad, sino también la tasa de decaimiento del falso vacío en la aproximación de pared delgada y en la aproximación semiclásico del instanton de Coleman-de Luccia. Este presupuesto será verificado y extendido a otros potenciales como del Higgs y otros.

Objetivos

1. Objetivo general: Desarrollar y entender de manera más precisa las influencias de la constante de acoplamiento no mínimo entre la gravedad y el campo escalar en el modelo inflacionario y el proceso de nucleación de burbujas.

2. Objetivos específicos:

- Desarrollar el estudio detallado y sistemático del formalismo hamiltoniano de modelos inflacionarios comenzando desde la descomposición $(1+3)$ de ADM en la relatividad general incluyendo para las teorías de tipo escalar-tensorial.
- Analizar de forma sistemática la equivalencia de los marcos de Einstein y Jordan en modelos inflacionarios, incluyendo de Higgs y teorías de tipo escalar-tensorial.
- Estudiar las consecuencias del decaimiento del falso vacío o el proceso de nucleación de burbujas en presencia de la gravedad en una teoría con acoplamiento no mínimo.
- Desarrollar el análisis computacional de las expresiones analíticas a través de software Mathematica.



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA GRUPOS 2020

Metodología de trabajo

El acoplamiento no mínimo del campo escalar a la curvatura de Ricci se discute en muchos escenarios cosmológicos como la inflación y la quintaesencia. El trabajo se iniciará con una revisión teórica de los principales conceptos y herramientas necesarias para el desarrollo del proyecto con los estudiantes seleccionados para desarrollar las tesis de pregrado bajo la dirección de investigador principal, el co-investigador y los colaboradores externos y los colaboradores del grupo GI. Se realiza el estudio detallado y sistemático de las principales propiedades del modelo inflacionario y del el proceso de nucleación de burbujas en la teoría que contiene el término de acoplamiento no mínimo. Se continúa con el desarrollo del estudio analítico del proyecto en estricta colaboración entre el investigador principal, el co-investigador y los tesisistas. Se desarrolla el estudio del formalismo hamiltoniano, de las características de los marco de Jordan y de Einstein, del inflación de Higgs, cuando el inflatón y el campo de Higgs esta acoplado de forma no mínima a la gravedad. Paralelamente, se estudia de forma detallado el decaimiento del falso vacío en presencia de la gravedad, en la aproximación semiclásica del instanton de CdL en una teoría con acoplamiento no mínimo.

Muchos de los resultados obtenidos en los cálculos analíticos en esta clase de investigación son muy complejos para su comprensión física y por ello es necesario

desarrollarlos a través de análisis computacionales utilizando software Mathematica. Este análisis numérico nos permitirá no solo comparar el comportamiento del modelo inflacionario en los dos marcos de JF y EF, sino también la dependencia de la probabilidad y la tasa de decaimiento del falso vacío de la constante de acoplamiento no mínimo entre la gravedad y el campo escalar. Finalmente se realizará la redacción de las tesis y su respectiva sustentación en la facultad y paralelamente se redactará los resultados finales del proyecto para su publicación en una revista indizada.

Referencias bibliográficas

1. Starobinsky, A. A. (1996). A new type of isotropic cosmological models without singularity. In *30 Years Of The Landau Institute—Selected Papers* (pp. 771-774).
2. A. H. Guth, The Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems, *Phys. Rev. D* 23 (1981), 347-356.
3. K. Sato, First Order Phase Transition of a Vacuum and Expansion of the Universe, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 195 (1981), 467-479.
4. A. D. Linde, A New Inflationary Universe Scenario: A Possible Solution of the Horizon, Flatness, Homogeneity, Isotropy and Primordial Monopole Problems, *Phys. Lett.* 108B (1982), 389-393.
5. Starobinsky, A. A. (1982). Dynamics of phase transition in the new inflationary universe scenario and generation of perturbations. *Physics Letters B*, 117(3-4), 175-178.
6. Hawking, S. W. (1982). The development of irregularities in a single bubble inflationary universe.
7. Guth, A. H., & Pi, S. Y. (1982). Fluctuations in the new inflationary universe. *Physical Review Letters*, 49(15), 1110.
8. ATLAS, G. Aad et al., Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC, *Phys. Lett. B* 716 (2012), 1-29, 1207.7214.
9. CMS, S. Chatrchyan et al., Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC, *Phys. Lett. B* 716 (2012), 30-61, 1207.7235.
10. Virgo, LIGO Scientific, B. P. Abbott et al., Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger, *Phys. Rev. Lett.* 116 (2016), no. 6, 061102, 1602.03837.
11. Planck, P. A. R. Ade et al., Planck 2015 results. XIII. Cosmological parameters, *Astron. Astrophys.* 594 (2016), A13, 1502.01589.
12. Spokoiny, B. L. (1984). Inflation and generation of perturbations in broken-symmetric theory of gravity. *Physics Letters B*, 147(1-3), 39-43.
13. Futamase, T., & Maeda, K. I. (1987). Chaotic inflationary scenario in models having nonminimal coupling with curvature. *Phys. Rev.*, 39, 399-404.
14. Fakir, R., & Unruh, W. G. (1990). Improvement on cosmological chaotic inflation through nonminimal coupling. *Physical Review D*, 41(6), 1783.
15. Faraoni, V. (1996). Nonminimal coupling of the scalar field and inflation. *Physical Review D*, 53(12), 6813.
16. Nozari, K., & Shafizadeh, S. (2010). Non-minimal inflation revisited. *Physica Scripta*, 82(1), 015901.
17. Setare, M. R., & Saridakis, E. N. (2009). Non-minimally coupled canonical, phantom and quintom models of holographic dark energy. *Physics Letters B*, 671(3), 331-338.
18. Bartolo, N., & Pietroni, M. (1999). Scalar-tensor gravity and quintessence. *Physical Review D*, 61(2), 023518.
19. Boisseau, B., Esposito-Farese, G., Polarski, D., & Starobinsky, A. A. (2000). Reconstruction of a scalar-tensor theory of gravity in an accelerating universe. *Physical Review Letters*, 85(11), 2236.
20. Gannouji, R., Polarski, D., Ranquet, A., & Starobinsky, A. A. (2006). Scalar-tensor models of normal and phantom dark energy. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 2006(09), 016.
21. Bezrukov, F., & Shaposhnikov, M. (2008). The Standard Model Higgs boson as the inflatón. *Physics Letters B*, 659(3), 703-706.
22. Barvinsky, A. O., Kamenshchik, A. Y., Kiefer, C., Starobinsky, A. A., & Steinwachs, C. (2009). Asymptotic freedom in inflationary cosmology with a non-minimally coupled Higgs field. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 2009(12), 003.
23. Rubio, J. (2019). Higgs inflation. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, 5, 50.
24. Faraoni, V., & Gunzig, E. (1999). Einstein frame or Jordan frame?. *International journal of theoretical physics*, 38(1), 217-225.
25. Capozziello, S., Martin-Moruno, P., & Rubano, C. (2010). Physical non-equivalence of the Jordan and Einstein frames. *Physics Letters B*, 689(4-5), 117-121.



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA GRUPOS 2020

26. Postma, M., & Volponi, M. (2014). Equivalence of the Einstein and Jordan frames. *Physical Review D*, 90(10), 103516.
27. Domenech, G., & Sasaki, M. (2015). Conformal frame dependence of inflation. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 2015(04), 022.
28. George, D. P., Mooij, S., & Postma, M. (2014). Quantum corrections in Higgs inflation: the real scalar case. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 2014(02), 024.
29. Kamenshchik, A. Y., & Steinwachs, C. F. (2015). Question of quantum equivalence between Jordan frame and Einstein frame. *Physical Review D*, 91(8), 084033.
30. George, D. P., Mooij, S., & Postma, M. (2016). Quantum corrections in Higgs inflation: the Standard Model case. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 2016(04), 006.
31. Ruf, M. S., & Steinwachs, C. F. (2018). Quantum equivalence of $f(R)$ gravity and scalar-tensor theories. *Physical Review D*, 97(4), 044050.
32. Hawking, S. W., & Moss, I. L. (1982). Supercooled phase transitions in the very early universe. *Physics Letters B*, 110(1), 35-38.
33. Parke, S. (1983). Gravity and the decay of the false vacuum. *Physics Letters B*, 121(5), 313-315.
34. Langer, J. S. (2000). Theory of the condensation point. *Annals of Physics*, 281(1-2), 941-990.
35. Lee, W., & Lee, C. H. (2005). The fate of the false vacuum in Einstein gravity theory with nonminimally-coupled scalar field. *International Journal of Modern Physics D*, 14(06), 1063-1073.
36. Czerwinska, O., Lalak, Z., & Nakonieczny, L. (2015). Stability of the effective potential of the gauge-less top-Higgs model in curved spacetime. *Journal of High Energy Physics*, 2015(11), 207.
37. Loebbert, F., & Plefka, J. (2015). Quantum gravitational contributions to the standard model effective potential and vacuum stability. *Modern Physics Letters A*, 30(34), 1550189.

Calendario de actividades

	Actividad	Fecha inicial	Fecha final
1	Perfil de proyecto de tesis de licenciatura	2020-04-06	2020-04-10
2	Primer avance de tesis	2020-07-27	2020-07-31
3	Presentación del informe económico al 50%	2020-09-01	2020-09-30
4	Segundo avance de tesis	2020-09-21	2020-09-30
5	Presentaciones en el Simposio Peruano de Física	2020-10-01	2020-11-30
6	Presentación del informe económico (final)	2020-11-01	2020-11-30
7	Entrega de borrador de tesis	2020-11-30	2020-12-18
8	Primera revisión de tesis	2021-01-04	2021-01-15
9	Presentación del informe académico	2021-02-01	2021-02-28
10	Revisión final de tesis	2021-03-01	2021-03-31

Presupuesto

	Partida	Monto S/.	Tipo	%
1	Papelería en general, útiles y Mat. de oficina	900.00	Bienes	3.00%
2	Aseo, limpieza y tocador (Mat. de limpieza)	500.00	Bienes	1.67%
3	Equipos computacionales y periféricos	10000.00	Bienes	33.33%
4	Equipos de telecomunicaciones	3000.00	Bienes	10.00%
5	Mobiliario (laboratorio)	3000.00	Bienes	10.00%
6	Libros textos para bibliotecas	3000.00	Bienes	10.00%
7	Subvención Financiera a Investigadores Científicos	6000.00	Otros	20.00%



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA GRUPOS 2020

8	Otros gastos (movilidad local)	2000.00	Servicios	6.67%
9	Servicio de impresiones, encuadernación y empastado	600.00	Servicios	2.00%
10	Realizadas por personas jurídicas	250.00	Servicios	0.83%
11	Pasajes y gastos de transporte (interior)	750.00	Servicios	2.50%
	Total	S/. 30000		100.00%

Integrantes

Condición	Apellidos y Nombres	Tipo	Tipo de tesis	Título de la Tesis
Responsable	VILLEGAS SILVA FULGENCIO	DOCENTE PERMANENTE		
Co responsable	VERA SARAVIA EDGAR DIOGENES	DOCENTE PERMANENTE		
Tesista	BRAVO GUTIERREZ MARTÍN ALEJANDRO	Estudiante Pre Grado	Licenciatura o Segunda Especialidad	Formalismo hamiltoniano de modelos inflacionarios
Tesista	FRANCO DIAZ ERWIN RENZO	Estudiante Pre Grado	Licenciatura o Segunda Especialidad	Decaimiento del falso vacío en un campo escalar con acoplamiento no mínimo
Tesista	LEÓN ANDONAYRE LUIS ALBERTO	Estudiante Pre Grado	Licenciatura o Segunda Especialidad	Equivalencia de los marcos de Einstein y Jordan en modelos inflacionarios
Miembro externo	DOMÈNECH FUERTES GUILLEM	Externo		
Miembro externo	HIPÓLITO RICALDI WILLIAM SANTIAGO	Externo		
Miembro externo	CHOQUE QUISPE DAVID	Externo		
Miembro externo	DE LA PUENTE BUSTAMANTE ALEJANDRO MIGUEL	Externo		
Colaborador	TARAMONA PEREA JORGE DAVID	Estudiante Post Grado		
Colaborador	VILLATA RIBBECK FRANCO AUGUSTO	Estudiante posgrado		
Colaborador	CARBAJAL VIGO SANELI ALCIDES	Estudiante Pre Grado		
Colaborador	ARGANDOÑA VILLAVICENCIO ANDRÉS AARÓN	Estudiante Pre Grado		
Colaborador	TEMOCHE HURTADO LUIS FERNANDO	Estudiante Pre Grado		
Colaborador	RIVERA MEDINA CRISTIAN ANDRES	Estudiante Pre Grado		



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA GRUPOS 2020

Colaborador	CHURATA HUAMANI PAULO CÉSAR	Estudiante Pre Grado		
Colaborador	BONIFACIO CHAVEZ JAHAIRO ROSITA	Estudiante Pre Grado		
Colaborador	GOYZUETA PALOMINO NEIL LIZANDER	Estudiante Pre Grado		
Colaborador	SOLÍS BENITES MARIO FLORENCIO	Estudiante Pre Grado		
Colaborador	LLANOS SALAZAR JOAQUÍN EDUARDO	Estudiante Pre Grado		
Colaborador	FRANCO ALVA JESSÉ JOSÉ	Estudiante Pre Grado		
Colaborador	CRUZ SANCHEZ CARLO SALVATTORE	Estudiante Pre Grado		