Postgrado en Ciencias en la UNSAAC con menciones en (1) Arqueoastronomía, (2) Arqueofísica, (3) Astronomía y (4) Rayos Cósmicos:

La universalidad e impacto en la enseñanza y la ciencia de la cultura autóctono Inca

Victor Ayma*, Milton Gamarra*, Steven Gullberg**, Nicola Masini***, Sayri Tupac Garcia Roca*, Carlos Javier Solano Salinas†, César Zen Vasconcellos‡

*Universidad Santo Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), Peru

**University of Oklahoma (UO), Norton, USA

***Istituto di Scienze dei Beni Culturali (CNR-ISPC), Potenza, Italia

‡Universidad Nacional de Enginería, Lima, Peru

‡Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil and International Center for Relativistic Astrophysics Network (ICRANet), Pescara/Roma, Italy

(Dated: 16 de abril de 2024)

Esta propuesta tiene como objetivo la implementación de cuatro menciones en el curso de Maestría en Ciencias ya existente en la UNSAAC, o sea, en (1) Arqueoastronomía, (2) Arqueofísica, (3) Astronomía y (4) Rayos Cósmicos y la creación de un Doctorado en Ciencias, en esas cuatro menciones. El presente documento se elaboró a partir de una propuesta concebido en el primer Congreso Internacional en Astrofísica y Arqueoastronomía de la UNSAAC que sesionó en el Auditorio de la Facultad de Ciencias los días 4, 5 y 6 de julio de 2019. La presente propuesta representa una ampliación de las ideas desarrolladas en la reunión mencionada y fue escrito en un formato que cumple con los requisitos institucionales.

I. INTRODUCCIÓN

El Primer Congreso Internacional en Astrofísica y Arqueoastronomía de la UNSAAC sesionó en el Auditorio de la Facultad de Ciencias los días 4, 5 y 6 de julio de 2019 con la presencia de profesores locales, invitados extranjeros, alumnos y autoridades universitarias con la programación centrado en temas de la actualidad. El objetivo de este evento fue el de discutir y dar forma a una propuesta para la creación de una carrera de postgrado en Astrofísica, originalmente solo con dos menciones, en Arqueoastronomía y Astropartículas, en el nivel de Maestría y Doctorado, con la perspectiva de dar un gran impulso a las actividades de investigación y formación de recursos humanos de alto nivel en la UNSAAC.

La programación estuvo enfocada en temas relevantes para la ciudad, para el País y para la UNSAAC, y culminó en la redacción de una propuesta inicial para la Maestría y el Doctorado.

Entre los diversos profesores involucrados en las diferentes etapas de la reunión, destacamos la participación relevante de los profesores Marco Antonio Zamalloa Jara, Milton Rojas Gamarra, Miriam H. Romero Peña, Pastor Raúl Chura Serrano, Sayri Tupac García Roca y Victor Ayma. También citamos la contribución extremadamente importante de las autoridades de la UNSAAC: Dr. Gilbert Alagon Huallpa (Vicerrector de Investigación), Dr. Alejandro Ttito Ttica (Decano de la Facultad de Ciencias), Dr. Edilberto Atau Enriquez (Director de la Escuela Profesional de Física), Dr. Libio Ricardo Latorre Escalante (Director del Departamento Académico de Física), Dr. Félix Hurtado Huamán (Director de la Escuela de Postgrado), y Dr. Cleto de La Torre Dueñas (Director de la Unidad de Postgrado en Física). También es importante mencionar a un grupo de profesores ajenos a la UNSAAC que aportaron generosamente con su capacidad profesional para materializar y enriquecer el contenido de la propuesta inicial: Anderson Fauth, César Castromonte Flores, César Zen Vasconcellos, Diego Cogollo, Ernesto Kemp, Javier Solano Salinas, Jorge Ernesto Horvath, José Bellido Cáceres, Julio Tello, Magno Machado, Moses Razeira y Steven Gullberg. Quedará claro posteriormente que los aspectos culturales y educativos, de gran importancia para la región, son un subproducto natural de esta propuesta y deben así ser considerados.

En las sesiones fue presentado un panorama de la investigación peruana en su totalidad, basada principalmente en el I Censo Nacional realizado por el CONCYTEC. Entre los hechos que se desprenden están el bajo porcentaje del PBI gasto por Perú en I+D, cerca del 0,08 %, de los cuales la región del Cusco participa solamente con el 1,2 %, consideradas todas las áreas de investigación. El porcentaje de trabajos en revistas de circulación internacional con referato es bajo: en promedio, un investigador peruano acreditado produce 0,6 artículos/año, menos que otros países en la región. No cabe aquí analizar los factores que provocan este cuadro, pero sí apuntar que está muy lejos de lo espe-

rado a priori, y hubo opiniones unánimes para señalar que existen recursos financieros, materiales y de personal, en el ámbito nacional e internacional y voluntad para mejorar ese cuadro substancialmente.

El presente documento se elaboró a partir de esa propuesta inicial y pretende representar no solo una ampliación de las ideas desarrolladas en esa reunión, así como su estructuración en un formato en buen acorde con los requerimientos institucionales para su creación. La presente propuesta contempla una maestría y un doctorado en Ciencias y cuatro menciones como se señaló anteriormente.

A continuación presentamos un esquema explicativo y el principio rector que motivó nuestra propuesta:

- **Premisa:** La premisa que guió la elaboración de esta propuesta se basó en los aspectos culturales, históricos, educativos e incluso topológicos/ geográficos (altas montañas, lindo cielo), y la identidad cultural de la civilización andina, representando así elementos clave de la propuesta;
- **Intención:** La intención básica de la propuesta busca ampliar el alcance de la investigación científica en el Perú, y en particular en Cusco, en las áreas enfocadas por la propuesta.
- **Telón de fondo:** El telón de fondo de la propuesta es el panorama de la investigación peruana (segun el 1er Censo Nacional - CONCYTEC) que se puede resumir en los siguientes puntos:
  - Bajo porcentaje del PBI gasto en I+D, ($\sim$ 0,08 por ciento); Cusco participa solamente con 1,2 por ciento de todas las áreas de investigación.
  - Bajo porcentaje de trabajos en revistas de circulación internacional $\rightarrow$ promedio: 0,6 artículos/año/investigador.
  - Necesidad de una política científica nacional, en las áreas enfocadas por la propuesta;.

II. ASPECTOS GENERALES

En este sentido, entendemos que el apoyo a esta iniciativa debe buscar un formato que cumpla con estas expectativas. A continuación enumeramos una serie de aspectos importantes para la materialización de la propuesta.

A. Apoyo a los estudiantes

La discusión interna entre los redactores de la propuesta ha ido avanzando hacia temas que son claramente objeto de una política científica, tanto localmente cuanto en otros niveles. Si bien existen postgrados de la más variadas índoles en Perú, también predomina en general la idea de que un título de postgrado es algo como una ventaja competitiva en el mercado para su detentor. Ciertamente este es el caso para una mayoría de actividades de gran inserción social, pero no es el caso de las Ciencias.

En este sentido, una carrera científica requiere la implementación de esquemas de becas, ayudantías institucionales y fuentes de financiación con miras a una formación académica de excelencia.

Es importante destacar que, contrariamente a otras actividades, en las Ciencias la investigación y el postgrado son totalmente simbióticos. No es posible pensar la I+D como algo sin una correlación intrínseca e indisoluble entre investigación y desarrollo científico. En los países con sistemas científicos bien establecidos, el acceso a puestos universitarios, por ejemplo, tiene como pre-requisito el diploma de Doctor y un historial de publicaciones a un nivel de excelencia. Calificaciones semejantes son muchas veces exigidas por las empresas privadas, que financian en muchos casos el postgrado de sus candidatos. Creemos que el apoyo financiero concreto para los potenciales candidatos para la Maestría y el Doctorado precisa existir, ser llamado a convocatoria y constituye un elemento esencial para incentivar a los candidatos a dedicarse de manera efectiva a estas actividades.

B. Condiciones laborales

Por otro lado, el cuerpo de profesores-investigadores que ejecutará el Programa de Postgrado necesita de condiciones laborales y de investigación especiales. La dedicación integral a la investigación es fundamental para que los esfuerzos no se diluyan en una serie de actividades diferentes, como por ejemplo, administración, docencia, y hasta otras actividades fuera del ámbito del programa. A continuación enumeramos las condiciones clave que consideramos imprescindibles para lograr los objetivos de esta propuesta:

1. *Financiación*: propuesta basada en esquemas de becas, ayudantías institucionales y fuentes (nacionales e internacionales) de financiación, para potenciales candidatos al Doctorado y a la Maestría bien como para las actividades de investigación (por medio de convocatorias).
2. *Condiciones laborales*: Profesores que ejecuten el Programa necesitan condiciones laborales especiales:
   a) Dedicación integral a la investigación y a la formación de los candidatos al Doctorado y a la Maestría.
   b) Apoyo económico para sus actividades (participación en congresos, viajes de intercambio,

etc).

c) La carga didáctica (cursos de Grado y Postgrado), administrativa y de extensión no puede superar el tiempo dedicado a la investigación.

El aumento en la producción de trabajos especializados será así una consecuencia directa de la adopción de estos supuestos.

III. ESTRUCTURA DEL POSGRADO

Nuestra propuesta contempla la creación de tres nuevas menciones para el Máster en Ciencias, un posgrado ya existente en la UNSAAC y la creación de un nuevo posgrado, también en ciencias, es decir, un Curso de Doctorado en Ciencias, contemplando de igual manera las cuatro nuevas menciones del máster, en las áreas de Arqueoastronomía, Arqueofísica, Astronomía y Rayos Cósmicos.

A continuación presentamos esquemas explicativos para la estructura del posgrado e para la opción para estas cuatro menciones.

A. Maestría en Ciencias: menciones

Proponemos la creación de cuatro menciones en el Máster en Ciencias, ya existente en la UNSAAC, enumerados a continuación:

1. Maestría en Ciencias, Mención en Arqueoastronomía;
2. Maestría en Ciencias, Mención en Arqueofísica;
3. Maestría en Ciencias, Mención en Astronomía;
4. Maestría en Ciencias, Mención en Rayos Cósmicos.

B. Doctorado en Ciencias: menciones

Proponemos la creación de un Curso de Doctorado en Ciencias en la UNSAAC con las siguientes menciones:

1. Doctorado en Ciencias, Mención en Arqueoastronomía;
2. Doctorado en Ciencias, Mención en Arqueofísica;
3. Doctorado en Ciencias, Mención en Astronomía; Doctorado en Ciencias, Mención en Rayos Cósmicos.

IV. BREVE JUSTIFICACIÓN DE LAS MENCIONES PROPUESTAS PARA EL POSGRADO

Es necesaria de otra parte una justificación para las elecciones de estas menciones, en que las ciencias sirven de enlace. Para eso, es importante señalar nuestra motivación inicial: elegir áreas del conocimiento en que Cusco pueda convertirse en un referente mundial, explorando su potencial histórico, geográfico, topológico, y también explorando la integración subyacente al legado cultural Inca entre arquitectura, paisaje, religión, astronomía, física y matemática, y lo más importante, el espléndido cielo y los sitios arqueológicos incrustados en sus alrededores, un atractor de clase mundial. Y por otro lado, las ventajas únicas que brinda la posición geográfica y topología del Cusco. Estos aspectos justifican y enfatizan la Arqueoastronomía Inca, la Arqueofísica, y la investigación en Astronomía y en Rayos Cósmicos, debido a la proximidad al ecuador geomagnético y las altas montañas del Cuzco.

A. Mención en Arqueoastronomía

El enfoque de la mención en Arqueoastronomía se basa en el estudio científico y la recopilación de datos, incluido el análisis estadístico y las reconstrucciones digitales de eventos pasados, proporcionando evidencia con base científica, que se puede utilizar junto con otras técnicas arqueológicas en la interpretación y análisis de artefactos, máscaras, telas, grabados, piezas de cerámica, monumentos, construcciones y restos arqueológicos e historias que abarcan generaciones.

La arqueoastronomía es hoy una herramienta vital para una mayor comprensión holística del pasado. Es decir, cómo varias sociedades prehistóricas interactuaron con el cielo mediante la construcción de monumentos, elaboración de artefactos y construcciones en general. O mediante el simbolismo expresado a través de la arte de las rocas y cómo estas interacciones se relacionan con sus creencias y la vida cotidiana[1]. Como también, el conocimiento de las civilizaciones inca y andina que surgen a partir de documentos elaborados por colonizadores o investigadores. Como también, el conocimiento de las civilizaciones inca y andina que surgen a partir de documentos elaborados por colonizadores y o investigadores.

La relación de estos pueblos con los cuerpos celestes se sintetiza hoy en numerosos estudios científicos en las áreas de antropología, etnoastronomía, astronomía en la cultura y arqueoastronomía, entre otras. Estas áreas se basan en diferentes enfoques y metodologías, pero que se

[1] ver https://www.archaeopress.com/archaeopressshop/public/

encuentran al considerar la astronomía inca y andina como soporte de una compleja red de conocimientos donde no hay oposición entre el cielo y la tierra, entre la naturaleza y las culturas, sino una estrecha conexión donde estos límites son indescifrabiles.

La astronomía inca y andina ocupa así un papel especial en este universo de informaciones y estudios diversificados. Existen numerosos indicios sobre, por ejemplo, las constelaciones utilizadas por estos pueblos para medir y predecir el clima, orientar caminos, marcar las estaciones, regular calendarios, orientar la pesca, la siembra, la recolección, aspectos determinantes en la organización social y en los rituales religiosos de estas civilizaciones.

La antropología es una ciencia dedicada al estudio en profundidad del ser humano en su dimensión biológica, cultural y social y de los aspectos físicos y las manifestaciones sociales y culturales de las comunidades humanas.

El enfoque de la astronomía en la cultura comprende el estudio de la aplicación de creencias sobre las estrellas a todos los aspectos de la cultura humana. Tiene una relación intrínseca con las disciplinas de la arqueoastronomía y de la astronomía en la medida en que contempla el estudio de alineamientos astronómicos, orientación y simbolismo en la arquitectura antigua y moderna.

El enfoque de la etnoastronomía por su vez comprende estudiar el sistema de creencias y prácticas de grupos etnolinguísticos con respecto a fenómenos astronómicos y meteorológicos y su cosmovisión del universo.

B. Mención en Arqueofísica

En los últimos años, ha habido una revolución silenciosa en la arqueología, que virtualmente permite a los arqueólogos mirar a través del suelo sin la necesidad de excavar. Los avances en arqueofísica, geofísica, física y química del suelo están acelerando el descubrimiento de sitios antiguos y ayudando a los arqueólogos a comprenderlos a escala global. Estos aspectos motivaron la creación de una mención en la Arqueofísica en la presente propuesta de posgrado.

La Arqueofísica es una disciplina experimental que usa numerosos métodos y técnicas físicas, geofísicas, y físicoquímicas, con miras a la prospección de sitios arqueológicos, por medio de teledetección, levantamientos sísmicos y acústicos, prospecciones electromagnéticas, magnéticas, térmicas, entre muchos otros para estudiar los restos arqueológicos de una civilización..

La prospección del suelo en la búsqueda de anomalías debido a la presencia de sitios arqueológicos, que modifican las propiedades geofísicas locales (como conductividad eléctrica, susceptibilidad magnética, entre otras), ha sido de gran relevancia para la realización de investigaciones arqueológicas.

La datación arqueológica, a su vez, contempla el campo de la geocronología, subárea de la Arqueofísica, y que se centra en la datación del pasado de las excavaciones arqueológicas. Entre sus técnicas y métodos más conocidos, destacamos la estratigrafía de suelos, el paramagnetismo, los relojes radiactivos, entre muchos otros.

La mención propuesta en Arqueofísica representa así una contribución muy importante para ampliar el alcance de la mención en Arqueoastronomía, creando así una simbiosis única entre estas áreas de conocimiento y reforzando de esa forma las posibilidades en la docencia y la investigación del curso de posgrado propuesto. Y ampliando el alcance y el nivel formativo de candidatos capaces de superar los requisitos básicos de admisión, ya sea en el curso de maestría o doctorado, en la medida en que puedan hacer una contribución muy relevante a la consecución de los objetivos técnicos y académicos de esta propuesta.

Pero más allá de este singular aspecto de simbiosis entre las propuestas presentadas, el curso de Arqueofísica se propone tener una identidad propia. Y ampliar su alcance a otras áreas del conocimiento, como Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Construcción Civil, entre otras.

Como disciplina experimental que utiliza métodos de análisis de suelos y materiales, la Arqueofísica puede ayudar a resolver problemas de construcción por causas geológicas, identificar factores de riesgo geológico, así como buscar acuíferos y, por tanto, disponibilidad de agua, mediante la creación de perfiles de gran longitud y profundidad, detectando las zonas más idóneas para la localización de sondas, entre otros aspectos. Esto ampliaría las oportunidades profesionales para los estudiantes del posgrado y al mismo tiempo representaría un aporte socioeconómico relevante para la región.

C. Mención en Astronomía

A comprendetinuación se muestra un resumen de los puntos clave para la mención en Astronomía. **Julio Tello.**

D. Mención en Rayos Cósmicos

A continuación se muestra un resumen de los puntos clave para la mención en Rayos Cósmicos.

El estudio de los Rayos Cósmicos es un tema de investigación que se encuentra en la intersección entre la astronomía, la física de partículas, la astrofísica y la cosmología. Su propósito es abordar cuestiones fundamentales relacionadas con la naturaleza de los componentes básicos del universo y su relación con el origen y la evolución del universo.

Los Rayos Cósmicos comprenden partículas extremadamente penetrantes con alta energía ($\sim$ 1 billón - 1 quin-

tillón de electronvoltios): protones, núcleos atómicos, e^-, e^+, neutrinos, fotones gamma, anti-particulas. Los raios gama de alta energia por ejemplo proporcionan información astrofísica únicas, actuando como sondas microscópicas del universo. El estudio de los Rayos Cósmicos y astropartículas em general revela la complejidad del mundo subatómico y posibilita una mejor comprensión de los misterios del universo.

Una de las principales razones para ubicar proyectos de observación y estudio de Astronomía y Rayos Cósmicos en América Latina es que la región ofrece montañas de gran altitud que permiten medir y detectar astropartículas de diferentes orígenes que no son atenuadas por la atmósfera terrestre. Además, las observaciones de astropartículas en la región sur del globo son complementarias a las observaciones en la región norte, proporcionando así una gama más amplia de datos para el análisis.

Esto representa una gran oportunidad para la investigación astronómica de astropartículas en la América del Sur. También representa, desde el punto de vista académico, un tema que posibilita una formación de alto nivel para estudiantes de posgrado. Como dijo Karl Darrow una vez[2], en 1932:

> El tema de los Astronomía y Rayos Cósmicos es único en la física moderna por la minuciosidad de los fenómenos, la delicadeza de las observaciones, las escursiones aventureras de los observadores, la sutileza del análisis y la grandeza de las inferencias.

Desde los primeros años de la investigación de Astronomía y Rayos Cósmicos, los científicos reconocieron que la dimensión vertical era crucial para la comprensión de esta radiación penetrante. Y esta dimensión vertical, asociada a las grandes altitudes, con el fin de minimizar los efectos de interacción de estos Astronomía y Rayos Cósmicos con partículas de la atmósfera, hace del Cusco un lugar sumamente propicio, debido a la presencia de altas montañas en su región, para la investigación de los Astronomía y Rayos Cósmicos.

La creación de una mención en rayos cósmicos en la UNSAAC posibilitará así el incremento de la cooperación científica en nivel internacional. Y la asociación con proyectos institucionales posibilitará un respaldo científico muy relevante para lograr sus objetivos de enseñanza y investigación (ver el apéndice A).

Cabe por fin resaltar que

> los estudios de los Astronomía y Rayos Cósmicos, por sus características únicas, al permitirnos develar la complejidad del mundo subatómico y los misterios del universo, son *naturalmente* complementarios a la arqueoastronomía, también conocido como la ciencia de las estrellas y las rocas, donde la cosmogonía andina del cosmos y su relación con las estrellas del universo juega un papel destacado.

V. ASPECTOS GENERALES DE LA PROPUESTA DE POSTGRADO EN CIENCIAS

A. Objetivos de los Cursos de Maestría y Doctorado en Ciencias: mención en Arqueoastronomía, Arqueofísica y Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos

1. Objetivo General de la Maestría en Ciencias: mención en Arqueoastronomía, Arqueofísica y Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos

El objetivo General de la Maestría en Ciencias de la UNSAAC, mención en Arqueoastronomía, Arqueofísica y Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos es:

> Formar personal altamente calificado en las áreas de Arqueoastronomía, Arqueofísica y Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos y disciplinas afines, capaces de contribuir a resolver los problemas y el desarrollo científico y tecnológico del Perú, mediante las actividades de investigación y docencia, regionales y nacionales.

2. Objetivos Específicos de la Maestría en Ciencias: mención en Arqueoastronomía, Arqueofísica y Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos

Los objetivos específicos de la Maestría en Ciencias, mención en Arqueoastronomía, Arqueofísica y Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos son

- Formar investigadores de alto nivel internacional.
- Formar profesores con excelente preparación académica para la educación de los nuevos profesionales.
- Servir de base para los estudios de doctorado en Arqueoastronomía, Arqueofísica y Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos.

3. Objetivo General del Doctorado en Ciencias: mención en Arqueoastronomía, Arqueofísica y Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos

El objetivo general del Doctorado en Ciencias de la UNSAAC, con mención en Arqueoastronomía, Arqueofísica y

[2] Adriana Minor, Wiley Online Library, 2020, https://doi.org/10.1111/1600-0498.12335

Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos es:

> El doctorado constituye un proceso de formación posgraduado que proporciona un conocimiento profundo y amplio en un campo del saber, capacidad de innovación, creatividad para resolver y dirigir la solución de problemas de carácter científico, de manera independiente que exprese los aportes teórico y fenomenológico en el desarrollo de la ciencias y que permita obtener un grado científico.

4. Objetivos Específicos del Doctorado en Ciencias: mención en Arqueoastronomía, Arqueofísica y Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos

Los objetivos específicos del Doctorado en Ciencias de la UNSAAC, con mención en Arqueoastronomía, Arqueofísica y Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos son:

- Formar profesionales del más alto nivel académico y profesional.
- Capacitar a los doctorandos para perfeccionar la enseñanza y la investigacióm en las áreas de Arqueoastronomía, Arqueofísica y Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos.
- Enriquecer el conocimiento y la formación académica.
- Fomentar la creatividad de modelos, de teorías innovadoras y de actividades de experimentación y/u observación en las áreas de Arqueoastronomía, Arqueofísica y Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos.

B. Perfil general del los graduados

Al finalizar sus estudios, se espera que los graduados demuestran

- Estar capacitados para formar personas en investigación científica.
- Poseer sólidos conocimientos, herramientas y metodologías para desarrollar proyectos de investigación fundamental o aplicada en las áreas de su especialización.
- Ser capaz de desempeñarse como asesor científico en temas de las menciones.
- Ser capaz de asumir labores de docencia a nivel universitario.
- Entiender la importancia que tiene la ciencia para el desarrollo del país y tener una actitud proactiva en este campo.

Estos objetivos tienen similitudes con los objetivos de otras menciones de los cursos de Maestría en Ciencias de la UNSAAC, y están en perfecta sintonía con la presente propuesta. Estos elementos dan a esta propuesta un alto grado de coherencia y consistencia con las propuestas institucionales de la UNSAAC.

C. Perfil de los candidatos al posgrado

Entendemos que, por su naturaleza, los candidatos a la maestría, que corresponde a la primera etapa formativa de los estudios de posgrado antes del doctorado, deben tener el siguiente perfil:

- Para la mención en Arqueoastronomía: Licenciatura en Ciencias Humanas y Sociales, en Ciencias Exactas y de la Naturaleza, o Ingeniería.
- Para la mención en Arqueofísica: Licenciatura en Ciencias Exactas y de la Naturaleza, o Ingeniería.
- Para la mención en la Física de Astropartículas y Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos: Licenciatura en Ciencias Exactas y de la Naturaleza, o Ingeniería.

Los candidatos a doctorado deben tener un título de Maestría en Astrofísica o equivalente.

Destacamos la imposición de que los candidatos al posgrado tengan conocimientos básicos en matemáticas y física para dar seguimiento al curso. Por ello, estamos ofreciendo cursos preparatorios de matemática y física que contienen los fundamentos para el seguimiento del Máster. Los estudiantes que demuestren mediante una evaluación previa que tienen dichos conocimientos serán eximidos de este curso preparatorio. Estos cursos preparatorios se ofrecerán en la modalidad puramente virtual, en el semestre previo al inicio de los cursos de maestría y doctorado, solamente por lo tanto a aquellos estudiantes sin la experiencia previa necesaria en los temas propuestos. En el apéndice (B) se informa la vinculación institucional del posgrado. Los requisitos para otorga de maestría y del doctorado se presenta en los apéndices (C) y (D). Los cursos preparatorios, así como su programa de estudios, se enumeran en apéndice (E).

D. Malla Curricular

Las asignaturas se imparten en el orden en el que aparecen en el Plan de Estudios; este plan será definido posteriormente por la institución. Las asignaturas relacionadas

a la elaboración de la tesis se enumeran en la tabla (I). En los apéndices (E), (G), (H), (I), y (J), Se describen los contenidos de las disciplinas de los cursos preparatorios, del tronco común y de las menciones de los cursos de maestría y doctorado.

E. Duración total de la Maestría y del Doctorado

Establecemos una duración total estipulada de 2 años para la Maestría en Investigación, para las asignaturas, los ciclos formativos especializados y complementarios, y para el desarrollo de actividades de investigación y disertación. El máster se desarrollará en dos modalidades, 1) híbrida, con actividades presenciales y virtuales y 2) en la modalidad puramente virtual.

Establecemos una duración total de 3 años para el curso de doctorado, contemplando los ciclos formativos especializados y complementarios, y para el desarrollo de actividades de investigación y tesis. El curso de doctorado se desarrollará solamente en la modalidad híbrida con actividades presenciales y virtuales.

F. Cuerpo docente

El grupo de apoyo propone a las autoridades de la UNSAAC la contratación de por lo menos 6 profesores que integren el cuadro efectivo dedicados mayoritariamente a la investigación y a la formación de los nuevos maestros y doctores. El papel del FONDECYT/CONCYTEC para asegurar los salarios con dedicación integral puede ser importante.

Es altamente recomendable además la incorporación de uno o dos profesores sénior, con amplia experiencia en este tipo de trabajo y tutoría, al menos como visitantes, con dos o tres años de presencia efectiva en la UNSAAC. Existen programas vigentes para financiación de los profesores (por ejemplo, el BID).

Además, al menos cuatro cargos nuevos, con convocatoria internacional y en las mismas condiciones serán necesarios para conseguir una 'masa crítica' para el ofrecimiento de los cursos y la tutoría de los estudiantes.

Los profesores ya actuantes en la UNSAAC que ingresen como parte del programa deben tener condiciones similares a las que acabamos de describir, y de esta manera, se recomienda una revisión de su status laboral y eventual ofrecimiento de cambios en su condición laboral que les permita equipararse con los demás en la dedicación integral y en el recibimiento de beneficios salariales.

G. Espacio físico

La estructuración de espacios físicos para la investigación y la docencia constituye un ítem importante para los programas de Maestría y Doctorado. Oficinas dedicadas exclusivamente a los profesores y también a los alumnos, agrupados en espacios de trabajo adecuados, deben ser alocadas.

Además de una red de internet bien dimensionado (wifi) y facilidades para reuniones en la nube, los espacios físicos deben tener en cuenta la necesidad de abrigar equipos de computación, pizarra digital interactiva y equipos de investigación, entre otros.

Por otro lado, las plataformas de video seguras y confiables alimentan todas las necesidades de comunicación, incluidas las reuniones, el chat, el teléfono, los seminarios web y los eventos en línea.

La ubicación de las oficinas así como las facilidades computacionales para contactos virtuales debe tener en cuenta en suma la necesidad de contactos permanentes entre los estudiantes y sus profesores, dinámica muy bien conocida que resulta normal en las instituciones de gran porte con programas consolidados y reconocidamente exitosos.

H. Colaboración y participación externa

Entendemos que la colaboración con otras instituciones es un aspecto crucial para el éxito de esta propuesta. Y que incluso permitirá, a través del acceso virtual, enriquecer las actividades de enseñanza y investigación de los postgrados propuestos.

1. Doble Titulación

Una posibilidad para que formalicemos y garanticemos esta colaboración sería mediante la adopción de la *doble titulación*. Una doble titulación es básicamente estudiar una sola carrera (maestría o doctorado) y obtener dos títulos por dos universidades distintas. Eso representa una gran ventaja en cuanto a oportunidades, sumando un logro a un currículum personal y accediendo a valiosos conocimientos que ofrecen ambas instituciones. En ese contesto, la UNSAAC y otras instituciones otorgan títulos simultáneamente a los candidatos, modelo en vigencia en muchas partes del mundo.

2. Acuerdos y Colaboraciones

Destacamos además la conveniencia de pensar en acuerdos y colaboraciones con otras instituciones internaciona-

Cuadro I. Asignaturas del posgrado.

Mención	Asignaturas	Horas semanales
Cursos Preparatorios	Matemática Fundamental para la Arqueoastronomía	12
	Física Fundamental para la Arqueoastronomía	12
Mención	**Asignaturas**	**Créditos**
Tronco Común	Astronomía Fundamental	4
	Astrofísica Observacional	4
Arqueoastronomía	Fundamentos y Métodos de la Arqueoastronomía	4
	Arqueoastronomía Latinoamericana	4
	Etnoastronomía	4
	Investigación de Campo en Arqueoastronomía	4
Arqueofísica	Fundamentos de Física Aplicada a la Arqueofísica	4
	Introducción a la Geofísica	4
	Introducción a la Arqueología	4
	Introducción a la Arqueofísica del Suelo	4
Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos	Astrofísica de las Partículas Elementares	4
	Fundamentos de Relatividad Especial y general	4
	Introducción a la Cosmología	4
	Instrumentación y Técnicas de Detección de Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos	4
Optativas	Arqueoastronomía más allá de las Américas	2
Arqueoastronomía	Tradiciones Astronómicas de las Primeras Naciones en las Americas	2
Optativas	Técnicas de Detección en Arqueofísica	2
Arqueofísica	Dactación Arqueológica	2
Optativas	Tópicos Avanzados de Astronomía	2
Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos	Procesamiento y Análisis de Datos de Astropartículas	2

les (ver A). Estas colaboraciones refuerzan las actividades docentes e investigadoras vinculadas al postgrado y posibilitan la ampliación de las oportunidades laborales y el crecimiento profesional de los profesionales locales.

3. Integración tecnológica al posgrado

La tecnología brinda acceso instantáneo a la información, por lo que su incorporación a las actividades de posgrado es vital. Los teléfonos inteligentes, las computadoras y las tabletas ya son elementos omnipresentes de la vida cotidiana de estudiantes, profesores, investigadores. Es natural que se explore el uso de dispositivos tecnológicos en las actividades de enseñanza e investigación para crear experiencias de aprendizaje significativas para estudiantes de todas las edades.

El uso de diferentes tipos de tecnología, incluido el aula virtual, las reuniones o los laboratorios de investigación virtuales, crea un ambiente donde estudiantes, profesores e investigadores en General se involucran activamente en las actividades propuestas para el posgrado. La implementación de la tecnología también crea avenidas para la enseñanza y investigación diferenciadas.

En especial, las nuevas tecnologías de la comunicación permiten ofrecer cursos con profesores de otras instituciones que podrían trabajar en la categoría de *Colaboradores Externos* en los cursos de posgrado de la UNSAAC. Esta posibilidad abre nuevas perspectivas para la docencia y la investigación, ampliando el alcance de la propuesta.

Nos gustaría finalizar esa parte destacando la participación de los docentes de la UNSAAC y la atención de las autoridades universitarias dada al evento y a esa iniciativa, y la participación de un número muy expresivo de alumnos, lo cual indica claramente un interés que debe ser considerado a la hora de ponderar la creación del postgrado sugerido.

VI. PRESUPUESTO DE LA PROPUESTA

La tabla (II) presenta el presupuesto preliminar de la propuesta para los cursos de maestría y doctorado.

Cuadro II. Presupuesto de la propuesta. Todos los costes en nuevos soles; 9 profesores; 3 alumnos nuevos por ano; computados becas de maestría: S./ 2.500 por mes por alumno y becas de doctorado: S./ 3.000 por mes por alumno.

Año	Costos Salariales	Desktops	Costos Operativos	Becas	Total
2022	428.832	42.000	120.000	7.500	598.332
2023	428.832	10.500	120.000	7.500	566.832
2024	428.832	10.500	120.000	9.000	568.332
TOTAL	1.286.496	63.000	360.000	24.000	**1.733.496**

VII. IMPACTO Y ALCANCE DE LA PROPUESTA

A. Impacto y Alcance de la propuesta: Mención en Arqueoastronomía

Debido a su estructura y diseño, la propuesta de la mención en Arqueoastronomía es singular! Cusco, Machu Picchu y las regiones vecinas son museos al aire libre! Y sirven de atractor de estudiantes, profesores e investigadores de instituciones de enseñanza e investigación reconocidas en el mundo. Además, será el único Programa de Maestría y doctorado en el mundo dedicado a la exploración de la experiencia pasada de los Incas y de los pueblos preincaicos por medio de estudios interdisciplinarios y multiculturales. Estes estudios involucrarán aspectos mitológicos, rituales, religiosos, arqueológicos, artísticos y cognitivos, enriquecidos por componentes científicos avanzados y en particular en asociación con la Arqueofísica y los Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos.

B. Impacto y Alcance de la propuesta: Mención en Arqueofísica

Se define Arqueofísica como la diciplina que agrupa metodologías en las cuales se aplica alguna ley o princípio físico para fines de investigación y análisis arqueológico. La Arqueofísica contempla así aplicaciones de la física al estudio sistemático de restos materiales arqueológicos de civilizaciones que ya han desaparecido. Implica en prospectar y analizar los materialidades encontradas, en muchos casos, recurriendo a investigaciones de otras áreas científicas. Es así un área complementaria a la Arqueoastronomía una vez que la arqueofísica puede visualizar imágenes del subsuelo de sitios arqueológicos utilizando una variedad de técnicas de prospección arqueológica para producir mapas de alta resolución de características arqueológicas, artefactos y otros patrones. Otro tipo de análisis explora las características y propiedades del magnetismo del suelo y otros datos geoespaciales que son útiles para evaluar los recursos arqueológicos. Dada la fiabilidad y precisión de los estudios geofísicos de un terreno determinado, la arqueofísica permite buscar restos arqueológicos, fácilmente identificables como anomalías de un terreno determinado, y que pueden visualizarse tras interpretar los datos recopilados. A partir de estos datos, es posible saber si existen restos arqueológicos en una zona concreta. A través de estudios geofísicos complementarios se pueden determinar sus condiciones físicas y profundidad, lo que implica descubrimientos que son incluso parte de la colección y protección del patrimonio de la humanidad.

C. Impacto y Alcance de la propuesta: Mención en Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos

> La presencia de altas montañas en la región del Cusco, proporciona una ventaja académica competitiva para el estudio científico de los rayos cósmicos así como su proximidad al ecuador geomagnético.

Los estudios de Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos, partículas elementales de origen astrofísico se sitúa en la intersección entre la física de partículas convencional y la astrofísica. Al examinar las lluvias de astropartículas que golpean la tierra, exploramos un 'laboratorio cósmico' para revelar propiedades fundamentales de la materia o para aprender sobre fenómenos cosmológicos y astrofísicos.

Algunos de los principales problemas científicos actuales que aborda los Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos son:

- Materia oscura: Existe una corriente de científicos que creen que la mayor parte de la materia del Universo constituye la llamada materia oscura. En cosmología, la materia oscura es una forma postulada de materia que no interactúa con la materia ordinaria ni con ella misma. Solo interactúa gravitacionalmente y, por lo tanto, su presencia puede inferirse de los efectos gravitacionales sobre la materia visible como estrellas, galaxias y cúmulos de galaxias.
- Energía oscura: Existe también una rama científica importante que entiende que la energía oscura es un componente muy importante del universo y que busca entender por qué se acelera la expansión del universo? En cosmología, la energía oscura es una forma

hipotética de energía que se distribuiría por todo el espacio y tiende a acelerar la expansión del Universo. La principal característica de la energía oscura es que tiene una fuerte presión negativa.

- Inflación y ondas gravitacionales: ¿Qué causó la explosión de rápida expansión en los primeros momentos del Universo? Los científicos han estado estudiando la radiación reliquia del Big Bang, la radiación cósmica de fondo, para buscar la firma de las ondas gravitacionales generadas durante el período de inflación del Universo.

- Asimetría materia-antimateria: El universo está compuesto casi en su totalidad por materia, con muy poca antimateria. Los científicos están tratando de comprender qué mecanismos pueden haber creado este desequilibrio entre la materia y la antimateria.

También es importante señalar que la arqueología, la arqueofísica y los estudios en Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos tienen elementos en común que hacen que esta propuesta también sea única. Los arqueólogos pueden usar una técnica similar al uso de rayos X en radiografías médicas de diagnóstico. En el caso que nos ocupa, buscar ciudades antiguas enterradas en laderas. En lugar de usar rayos X, usan muones, partículas que llueven constantemente sobre nosotros desde la atmósfera superior. Los muones son primos más pesados del electrón y se producen cuando un solo átomo de una lluvia de Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos choca con la atmósfera de la Tierra. Los arqueólogos usan detectores para mapear la estructura interna de las colinas y buscar sitios prometedores para excavar posibles sitios arqueológicos enterrados. Al igual que los rayos X, los muones son absorbidos fácilmente por materiales densos, pero pueden atravesar materiales más livianos, siendo bloqueados por rocas pero moviéndose fácilmente a través del aire en una cueva enterrada. Al examinar los patrones de propagación de muones, es posible determinar las propiedades de los sitios arqueológicos.

VIII. PALABRA FINAL

La lengua Quechua se dice es el monumento de la amplitud espiritual, de la estética de alto nivel y de la sensibilidad de los Incas. Y que el patrimonio cultural de los Incas es como un poema, hecho de piedra, luz y amplitud espiritual. En esa ciudad, Cusco, se siente permanentemente la presencia de esa herencia cultural y espiritual. Que genera sentimientos profundos de paz, resiliencia, o sea, la capacidad de afrontar la adversidad, espíritu de colectividad. En ese ambiente es imposible no creer en nuestra capacidad de crear un proyecto que alcance las fronteras de nuestro sueño colectivo. Hacia adelante!

'Entonces en la escala de la tierra he subido
entre la atroz maraña de las selvas perdidas
hasta ti, Macchu Picchu.
Alta ciudad de piedras escalares,
por fin morada del que lo terrestre
no escondió en las dormidas vestiduras.
En ti, como dos líneas paralelas,
la cuna del relámpago y del hombre
se mecían en un viento de espinas.'
Pablo Neruda nel Canto VI del poema Machu Picchu

Apéndice A: Cooperación internacional

Como ejemplos potenciales de cooperación internacional, citamos proyectos y propuestas que están en la mira de la institución y / o investigadores de la UNSAAC y que, de implementarse, podrían tener resultados sumamente expresivos en apoyo de las actividades de investigación que consolidan esta propuesta de posgrado. .

1. **En el campo de la Arqueoastronomía.** Una propuesta interesante de cooperación internacional con una institución consolidada en este campo de la docencia y la investigación sería la implementación de un convenio de cooperación entre la UNSAAC y la Universidad de Oklahoma, una universidad pública de investigación mixta ubicada en el estado estadounidense de Oklahoma. Fundada en 1890, la universidad ya existía en el territorio de Oklahoma, cerca del territorio indio, antes de que los dos territorios se fusionaran y se convirtieran en un estado estadounidense en 1907. La Universidad ofrece cursos de pregrado y posgrado de alto nivel en arqueoastronomía y astronomía en la cultura. La universidad ofrece estudios sobre los temas: Fundamentos y Métodos de Arqueoastronomía; Astrono-

Figura 1. Vista de un artista de los edificios planificados en el sitio del Observatorio de Pachatusán, un proyecto de doctorado para estudiantes peruanos.

mía de las Culturas Puebloan y Mississippian; Astronomía cultural en América Latina; Astronomía cultural más allá de las Américas; Rigurosa investigación y publicación arqueoastronómica; Práctica de investigación arqueoastronómica en el campo. Profe. Steven Gullberg, uno de los proponentes de esta propuesta de posgrado, es el director de Arqueoastronomía y Astronomía en Cultura de la universidad y se desempeña como presidente del Grupo de Trabajo de Arqueoastronomía y Astronomía en Cultura de la Unión Astronómica Internacional. Su trabajo incluye una extensa investigación de campo sobre la astronomía de los incas en los Andes peruanos y un análisis significativo de los Diarios Astronómicos de Babilonia. Para obtener más detalles sobre los cursos ofrecidos, consulte[3] y [4] y también es uno de los autores de este documento. Una propuesta de colaboración con la Universidad de Oklahoma permitirá también la inserción de sus profesores en actividades docentes en las modalidades presencial y virtual. Esto sin duda enriquecerá la calidad de la propuesta de posgrado. Además, el puesto de Steven Gullberg en la IAU ampliará las posibilidades de crecimiento profesional de los estudiantes graduados de la UNSAAC.

2. **En el campo de la Astronomía.** Propuesto originalmente por investigadores de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y el Centro Observatorio de París (Francia), ubicado a más de 4.400 metros sobre el nivel del mar, en las alturas del Cerro Pachatusán, a unos 20 minutos de la Ciudad del Cusco. el Observatório de Pachatusán es una propuesta relevante para apoyar la investigación en astronomía en la UNSAAC[5] y [6]. Uno de los impulsores de esta propuesta, el Dr. Víctor Ayma Giraldo, junto a Juan Quintanilla del Mar, Bruno Sicardy, Víctor Raúl Aguilar Callo, es también uno de los principales implementadores de esta propuesta de posgrado y también uno de los autores de este documento. El proyecto fue concebido en 2004 por un arquitecto francés de origen peruano, Juan Quintanilla del Mar, y un grupo de astrofísicos del Observatorio de París, entre ellos Bruno Sicardy y Thomas Widemann. El contacto inicial con Perú se realizó en 2005 durante una operación de observación coordinada llevada a cabo en Chile, Argentina y Brasil. Antes de partir para participar de este evento, el equipo se reunió con el embajador peruano en Francia (Javier Pérez de Cuéllar, exsecretario general de la ONU), quien les aseguró su apoyo. Durante la visita a Perú en julio de 2005, F. Colas, J. Quintanilla, B. Sicardy y T. Widemann se reunieron con Maria Luisa Aguilar y el personal de la Universidad Nacional Mayor San Marcos (UNMSM) en Lima, el agregado científico de la Embajada de Francia. en Perú, y el Rector y personal de la Universidad de Cusco. Se organizaron conferencias públicas y se dieron charlas en varias escuelas primarias. Se hicieron muchos contactos por teléfono y correo electrónico y dos profesores de la UNSAAC (Gabrielle Frisch en julio de 2007 y Víctor Ayma Giraldo en enero de 2009) visitaron Francia para discutir el proyecto. Juan Quintanilla regresó de una visita a Perú en julio de 2008 con una carta de intención firmada por el Rector de la Universidad del Cusco y el Alcalde de Oropesa. El T60 permitirá varios programas científicos. Cabe señalar que todos estos programas son tanto científicos como educativos, ya que requieren el dominio de las observaciones e instrumentos asociados, y el aprendizaje de métodos para la reducción y análisis de los datos. Por ejemplo: (a) Física estelar. Fotometría de diferentes tipos de estrellas variables: cefeidas, estrellas cataclísmicas, estrellas eruptivas tipo RCrB, etc .; análisis de las curvas de luz y fenomenología de estas estrellas con fines científicos y docentes; análisis de datos temporales, frecuencias, amplitudes; Monitoreo fotométrico de estrellas para detectar exoplanetas por tránsito (este método, realizado con telescopios de menor diámetro ha sido ampliamente probado). Un subproducto es la revelación de estrellas binarias eclipsantes. (b) Física galáctica y extragaláctica: imágenes de las regiones cercanas al centro galáctico (que pasa cerca del cenit en Cusco) para detectar novas; programa idéntico en relación a las Grandes y Pequeñas Nubes de Magallanes. Imágenes y fotometría de galaxias cercanas al cúmulo local y supercúmulo para analizar las poblaciones estelares a través de diagramas de color-color y para detectar supernovas. Además, la espectroscopía galáctica y extragaláctica se puede implementar, una vez que el telescopio esté instalado, con un espectrógrafo de resolución media. (c) Planetología: Observaciones de fenómenos mutuos (Júpiter, Saturno) y astrometría de pequeños satélites naturales, con el fin de mejorar la precisión de las tablas de efemérides. Astrometría y fotometría de objetos transneptunianos (TNO) para descubrir su rotación, períodos y mejorar el conocimiento de los elementos orbitales que actualmente no se conocen bien. Predicciones de ocultaciones estelares en el hemisferio sur (los telescopios actualmente utilizados se encuentran en sitios que no son favorables desde el punto de vista del clima, o que

[3] https://pacs.ou.edu/certificates/archaeoastronomy/
[4] https://pacs.ou.edu/certificates/archaeoastronomy/faculty-gullberg/
[5] Ver http://www.cesarzen.com/Ayma.pdf
[6] http://adsabs.harvard.edu/pdf/2011IAUS..260..616D

se les hacen muchas demandas). Observaciones de ocultaciones estelares por Plutón, Caronte, Triton y TNO que ocurren con una frecuencia típica de 3 a 5 eventos interesantes al año y que, en ciertos casos, podría combinarse con campañas realizadas en Chile (VLT, La Silla, etc.). Monitoreo de enjambres de meteoritos con una cámara de lente ancha. Monitoreo temporal de nubes en planetario. atmósferas (Venus, planetas gigantes, Titán). Monitoreo continuo en red de la Luna.

3. **En el campo de los Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos**.

3.1. **Observatorio LAGO: el gigante latinoamericano utilizando redes avanzadas** El Observatorio Gigante de América Latina (LAGO, por sus siglas en inglés) es un proyecto internacional de astrofísica y astropartículas que involucra a nueve países de Iberoamérica ubicados a diferentes altitudes entre México y la Antártida, a saber, Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, España. , Guatemala, México y Perú. Está integrado por grupos interdisciplinarios

Figura 2. Logo del proyecto LAGO.

de físicos, ingenieros y estudiantes con cerca de 100 miembros de 25 instituciones académicas. Fue fundada en 2005 durante una reunión celebrada en San Carlos de Bariloche. Cinco instituciones miembros de la Red Nacional de Educación e Investigación de México, CUDI, participan en LAGO: 1. Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH); 2. Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE); 3. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP); 4. Universidad Politécnica de Pachuca (UPP); 5. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). El proyecto consiste en operar detectores Cherenkov de bajo costo en agua, en alta montaña, para detectar destellos de rayos gamma y estudiar fenómenos meteorológicos transitorios y de largo plazo a través de la modulación solar de Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos. El primer detector se construyó en Bariloche en 2005, y el primero en altura se montó en Chacaltaya, Bolivia, en 2006.

La electrónica LAGO 2005 consistió en una adaptación del prototipo electrónico del Observatorio Pierre Auger. Gracias a una subvención del ICTP (Centro Internacional de Física Teórica) en 2010, se decidió desarrollar una nueva infraestructura exclusivamente para LAGO. Este desarrollo se realizó principalmente en el laboratorio DPR (Detección de Partículas y Radiación, en el Centro Atómico de Bariloche), en colaboración con el grupo de Puebla, México. Se distribuyó en las diferentes sedes de LAGO y comenzó a utilizarse en diciembre de 2011. LAGO está comprometida con la educación y divulgación científica en cada una de las regiones participantes. Entre las tareas de los miembros y sus instituciones está capacitar a estudiantes latinoamericanos en física de astropartículas y construir una red latinoamericana de investigación de astropartículas. Parte de la filosofía de colaboración es mantener el libre acceso al conocimiento y datos de su producción científica. En consecuencia, LAGO es uno de los pocos proyectos en la región que cuenta con un repositorio de datos y simulaciones experimentales. Un detector Cherenkov del proyecto LAGO ya está instalado en UNSAAC, lo que constituye una propuesta precursora para una colaboración futura más efectiva. En el Primer Congreso Internacional de Astrofísica y Arqueoastronomía que se llevó a cabo en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco - UNSAAC en el período 4-6, julio de 2019, con la participación de investigadores de LAGO, se presentó ideas iniciales para la implementación de un proyecto efectivo entre estas instituciones. Una asociación entre LAGO y UNSAAC aportaría beneficios únicos a la propuesta de posgrado, con la incorporación de estudios en el cielo por medio del uso de detectores tipo Cherenkov. Esta asociación también ampliaría las posibilidades de asociación con otras instituciones de enseñanza e investigación de América Latina.

Figura 3. Logo del proyecto SWGO.

3.2 Observatorio de rayos gamma de campo ancho del sur (SWGO) El potencial científico de un amplio campo de visión y un detector terrestre de rayos gamma de ciclo de trabajo muy alto ha sido demostrado por los instrumentos de generación actual HAWC y ARGO y será extendido en el hemisferio norte por LHAASO. No existe ningún instrumento de este tipo en el hemisferio sur, donde existe un gran potencial para el mapeo de emisiones a gran escala, así como para proporcionar acceso a todo el cielo para fenómenos transitorios y de longitud de onda variable y multimesensor. El acceso al Centro Galáctico y la complementariedad con la gran instalación CTA-Sur son

las principales motivaciones para tal observatorio de rayos gamma en el sur. También existe un potencial significativo para los estudios de Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos, incluida la anisotropía. El concepto compartido para el futuro observatorio es el siguiente: Un observatorio de rayos gamma basado en la detección de partículas a nivel del suelo, con un ciclo de trabajo cercano al 100 por ciento y un campo de visión de uno estereorradián de orden. Ubicado en América del Sur, en una latitud entre 10 y 30 grados sur. A una altitud de 4,4 km o más. Cubriendo un rango de energía de 100s GeV a 100s TeV. Basado principalmente en unidades de detección Cherenkov de agua. Con detectors de núcleo de factor de llenado alto y con un área considerablemente más grande que HAWC y una sensibilidad significativamente mejor, y una matriz externa de baja densidad. Por lo tanto, está claro que SWGO está buscando alianzas con instituciones de investigación y enseñanza en América Latina. Y de hecho, UNSAAC participa, junto con otras instituciones en Perú, en una disputa por la instalación del laboratorio SWGO en Cusco. Un aspecto favorable para la elección de la UNSAAC es la singularidad de su propuesta, basada en unidades de detección Cherenkov de agua. ubicados en lagos a gran altura. Para minimizar la atenuación de los Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos primarios (principalmente protones) por las interacciones atmosféricas, es deseable ubicar los detectores a gran altura, donde se reduce la sobrecarga atmosférica de la Tierra. Estas investigaciones proporcionan consecuencias de gran alcance para nuestra comprensión del universo y sobre la radiación cósmica, radiación compuesta principalmente de protones, y la lluvia de productos de colisión incluye electrones, neutrones, positrones, muones y algunas partículas de antimateria. La gran ventaja de utilizar esta técnica es que se pueden instrumentar masas muy grandes a un costo comparativamente modesto. Por lo tanto, UNSAAC participa en esta disputa, — que luego puede convertirse en un consorcio con otras instituciones —, con una propuesta única.

Apéndice B: Vinculación institucional del postgrado

El Programa de Postgrado en Astrofísica estará vinculado a la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias de la UNSAAC, unidad que también congrega Cursos de doctorado en Administración y Derecho y Maestrías en Administración, Arquitectura, Antropología Social, Ciencia y Tecnología de Alimentos, Ciencias, Contabilidad, Derecho, Desarrollo Rural, Economía, Educación, Ingeniería Civil, Informática, Ciencias de la Comunicación, Matemáticas, Políticas y Gestión de Salud, y Salud Pública.

La Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco fue creada el 1º de octubre de 1984 como una unidad académica encargada de formar especialistas de alto nivel académico, científico, tecnológico y humanistas, conducente a la obtención de los grados académicos de maestro y doctor. Desde aquella fecha, la Escuela de Postgrado ha puesto en funcionamiento 47 programas de Postgrado, de los cuales en la actualidad se ofertan 38 maestrías y dos doctorados.

Para el aseguramiento de una calidad de enseñanza que garantice la formación de recursos humanos capaces de generar cambios positivos en nuestra sociedad en ámbitos regional y nacional, la Escuela de Postgrado ha puesto en marcha una nueva reglamentación adecuada a la Ley Universitaria Nº 30220 y al Estatuto Universitario, así como un conjunto de herramientas de gestión apropiadas como para que el estudiante desarrolle y realice satisfactoriamente sus estudios. En este sentido, es deseo de la UNSAAC que el posgraduado se sienta orgulloso de ser un Antoniano.

A su vez, teniendo en cuenta que la producción de nuevos conocimientos científicos, tecnológicos y humanísticos estén en sintonía con a la realidad en que vivimos y que los formados sean capaces de proponer soluciones útiles para el desarrollo socio-económico regional y nacional, la Escuela de Postgrado viene implementando un conjunto de procesos académicos y administrativos para incrementar la eficiencia terminal de sus egresados y, también, mejorar la calidad de las investigaciones conducentes a la disertación o tesis.

Apéndice C: Requisitos para Otorga de Master en Ciencias: mención en Arqueoastronomía, Astrofísica y Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos

A continuación, consideramos un curso de maestría académica basado en investigaciones (Maestría de Investigación) bajo las determinaciones de las Normas legales de la Ley No. 30220 de julio de 2014, artículo 43.2.1.

En el plazo máximo de 24 meses (para académicos y no académicos), se otorgará el Máster en Ciencias, con mención en Arqueoastronomía, o en Arqueofísica, o en Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos, a quienes cumplan con los siguientes requisitos:

(A) Obtener la aprobación en las actividades curriculares (cursos, seminarios, prácticas de investigación, lecturas dirigidas y publicación de artículos);

(B) Cumplir con el número mínimo de 48 créditos requeridos por el curso a nivel de Maestría, de la siguiente manera:

  (a) Dos cursos básicos obligatorios del núcleo común de 4 horas cada uno, con un total de 8 créditos;

  (b) Quatro cursos obligatorios de una de las tres mención de 4 horas cada uno, con un total de

16 créditos;

(c) Prácticas de investigación, con un total de 12 créditos, y

(d) Actividades de desarrollo de tesis, totalizando 12 créditos;

Las prácticas de investigación y las actividades de desarrollo de tesis totalizan así 24 créditos.

(C) Aprobar en un examen de lectura en un idioma extranjero moderno: alemán, español, portugués, francés, inglés e italiano o un idioma nativo, según lo establecido en el artículo 45.4 de la Ley No. 30220 de julio de 2014;

(D) Aprobar en sesión pública la defensa de la propuesta de disertación (equivalente al examen de calificación) de acuerdo con las disposiciones de los Reglamentos y Resoluciones de la UNSAAC;

(E) Presentar una disertación aprobada, en portugués, español o inglés, de acuerdo con las disposiciones de los Reglamentos y Resoluciones de la UNSAAC;

(F) Obtener la homologación de la versión final de la disertación, observando la incorporación de las recomendaciones de los Jurados Examinadores;

(G) Estar al día con el Sistema de Bibliotecas de la Universidad y las actividades desarrolladas en el Programa;

(H) Demostrar la publicación o aceptación de una producción bibliográfica, según normativa específica.

El estudiante en conjunto define el plan de estudios con su consejero, teniendo en cuenta la formación teórica y las preguntas específicas de su propuesta de disertación. Para aprobar los cursos, seminarios, prácticas de investigación y lecturas dirigidas, el estudiante debe tener los conceptos A, B o C en cada uno.

El estudiante de maestría, para la institucionalización de los 32 créditos requeridos en las prácticas de investigación (16 créditos) y las actividades de desarrollo de la tesis (16 créditos), podrá aprovechar:

(a) Hasta cuatro créditos tomados en cursos opcionales de este programa;

(b) Hasta un crédito completado como estudiante externo de este programa;

(c) Hasta un crédito en postgrado en sentido estricto, sacado de programa externo;

(d) Hasta cinco créditos en trabajos publicados durante el curso;

(e) Hasta un crédito por prácticas de enseñanza en educación superior, siempre que las prácticas no sean obligatorias.

Los proyectos de tesis se examinan en alcance, el campo del conocimiento en el que se insertan, y en la profundidad, a la luz de las teorías de referencia. Se valoran, además, desde el punto de vista de la construcción del objeto de investigación, la delineación de la investigación, la adecuación de la metodología, el tratamiento de datos, el compromiso profesional con los resultados y con las fuentes bibliográficas, el cronograma y su factibilidad.

Apéndice D: Requisitos para Otorga del Doctorado en Ciencias: mención en Arqueoastronomía, Astrofísica y Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos

A continuación, consideramos un curso de doctorado de naturaleza académica basado en la investigación y en lo que está determinado por las Normas legales de la Ley No. 30220 de julio de 2014, en el artículo 43.3.

En el plazo máximo de 36 meses (tanto para académicos como para no académicos), se otorgará el doctorado en Astrofísica, con mención en Arqueoastronomía o Astopartículas, a quienes cumplan con los siguientes requisitos:

(A) Obtener la aprobación en actividades curriculares (Máster obtenido en este curso o equivalente, cursos, seminarios, prácticas de investigación, lecturas dirigidas y publicación de artículos);

(B) Cumplir con el número mínimo de 64 créditos requerido por el Curso en el nivel de doctorado, requerido de la siguiente manera:

(a) Prácticas de investigación, con un total de 32 créditos, y

(b) Actividades de desarrollo de tesis, totalizando 32 créditos.

(C) Pasar una prueba de aptitud en lectura en dos idiomas extranjeros modernos: alemán, español, portugués, francés, inglés e italiano, uno de los cuales puede ser reemplazado por un idioma nativo, según lo dispuesto en el Artículo 45.5 de la Ley Núm. 30220 de julio, 2014;

(D) Aprobar en una sesión pública de defensa una propuesta de tesis (equivalente al examen de calificación), de conformidad con las disposiciones de los Reglamentos y Resoluciones de la UNSAAC;

(E) Presentar una tesis aprobada en portugués, español o inglés, de conformidad con las disposiciones de los Reglamentos y Resoluciones de la UNSAAC;

(F) Obtener la homologación de la versión final de la tesis, observando la incorporación de las recomendaciones del Jurado Examinador;

(G) Estar al día con el Sistema de Bibliotecas de la Universidad y las actividades desarrolladas en el Programa;

(H) Demostrar la publicación o aceptación de una producción bibliográfica, de acuerdo con las regulaciones específicas de la UNSAAC.

El estudiante de doctorado, para la institucionalización de los 64 créditos requeridos en las prácticas de investigación (32 créditos) y las actividades de desarrollo de la tesis (32 créditos), podrá aprovechar:

(a) Hasta 8 créditos tomados en asignaturas optativas de este programa;

(b) Hasta dos créditos tomados como estudiante externo de este programa;

(c) Hasta dos créditos en postgrado de sentido estricto, sacados de otro programa;

(d) Hasta 10 créditos en trabajos publicados durante el curso;

(e) Hasta dos créditos por prácticas de enseñanza en educación superior, siempre que las prácticas no sean obligatorias.

Los proyectos de tesis se examinan en alcance, en el campo del conocimiento en el que se insertan, y en profundidad, a la luz de las teorías de referencia. Se valoran, además, desde el punto de vista de la construcción del objeto de investigación, la delineación de la investigación, la adecuación de la metodología, el tratamiento de datos y el compromiso profesional con los resultados y las fuentes bibliográficas, del cronograma y de su viabilidad.

Apéndice E: cursos preparatorios

Matemática Fundamental para la Arqueoastronomía. Fundamentos de Aritmética, Álgebra, Geometría, Trigonometría, Probabilidad y Estadística. Trigonometría esférica. Series: Secuencias numéricas, Serie espacial. Desigualdades. Teoría de Funciones. Ecuaciones lineales y no lineales. Sistemas de ecuaciones. Límite, continuidad, derivadas e integrales en una dimensión. Problemas específicos.

Física Fundamental para la Arqueoastronomía. Introducción. Física Newtoniana. Óptica, magnetismo y electricidad. Termodinámica. Mecánica cuántica. Teoría de la relatividad. Problemas específicos.

Apéndice F: Asignaturas de Maestría y doctorado

La tabla (I) presenta una selección preliminar de las asignaturas propuestas para los cursos de maestría y doctorado.

Apéndice G: Tronco Común

El marco académico de las propuestas para el núcleo común de las asignaturas es basado en la propuesta del Prof. Jorge Horvath, del Instituto de Astronomía, Geofísica y Ciencias Atmosféricas de la Universidad de São Paulo, Brasil.

Asignaturas propuestas para el núcleo común:

- **Astronomía Fundamental.** *Metas:* Dar al estudiante una formación rigurosa en los aspectos geométricos, dinámicos y sus fundamentos físicos que le permitan elaborar e interpretar catálogos y observaciones astronómicas en varios contextos, analizar datos y trabajar en asuntos actuales relacionados a la investigación de la Astrofísica del siglo 21. *Contenido:* Movimientos diurnos, aparentes y la esfera celeste. Sistemas de coordenadas: definición de los principales sistemas de coordenadas, sus especificidades y usos. Tiempo sidéreo. Relaciones entre sistemas de coordenadas (trigonometría esférica y vectorial, matrices de rotación). Movimiento de estrellas y planetas en la esfera celeste, pasaje por el meridiano, principios de medida astrométrica de ascensión y declinación recta. El caso del Sol. Astrometría en pequeños campos de observación (telescopios terrestres, HST y casos similares). Refracción, correcciones atmosféricas y determinación de posiciones y movimientos. Sistema de referencia espacial: definición, inercia, rigidez, homogeneidad, accesibilidad e ICRS. Escalas de tiempo: astronómicas y atómicas; Paralaje trigonométrico: distancias. Movimientos propios y reconstrucciones cinemáticas. Efectos relativistas variados (el caso del GPS). Hipparcos, GAIA y astrometría de grandes conjuntos de datos. Astrometría con interferómetros. Reducción de datos y confección de catálogos en investigación astrofísica. Errores y tratamiento individual y estadístico de los mismos.

- **Astrofísica Observacional.** *Metas:* Brindar a los estudiantes de posgrado nociones fundamentales sobre la instrumentación utilizada en Astrofísica, así como técnicas de observación, adquisición y reducción de datos. En particular, para que el alumno pueda planificar el uso de la instrumentación para lograr determinados objetivos científicos. *Contenido:* Efecto de la atmósfera terrestre en observaciones ópticas infrarrojas; telescopios y calidad de imagen. Efectos del

medio interestelar. Detectores. Técnicas de radioastronomía. Fotometría. Espectroscopia. Elementos de polarimetría. Adquisición y manipulación de datos. Detección y instrumentación en rayos X e rayos gamma.

Apéndice H: Arqueoastronomía

Prerrequisitos. Licenciatura en Ciencias Humanas y Sociales, en Ciencias Exactas y de la Naturaleza, o Ingeniería.

El marco académico de las propuestas para el mención en Arqueoastronomía es basado en las disciplinas del curso de Posgrado en Arqueoastronomía de la Universidad de Oklahoma[7], EUA, cuya referencia es el Prof. Steven Gulberg.

Metas: todos los cursos, cuyos contenidos se detallan a continuación, tienen como objetivo la obtención de las competencias necesarias para la investigación en arqueoastronomía. La arqueoastronomía se entiende, en lo que sigue, como el estudio del conocimiento astronómico dentro de las culturas pre-históricas. Y que puede ser una herramienta poderosa en campos como la arqueología y la antropología porque el cielo visual es un recurso que ha permanecido esencialmente igual durante siglos. Los títulos de Maestría y doctorado en Astrofísica con mención en Arqueoastronomía dotan a los investigadores de un conocimiento experto de las habilidades de investigación en astronomía cultural.

- **Fundamentos y Métodos de la Arqueoastronomía Descripción del catálogo:** La arqueoastronomía es el estudio del conocimiento astronómico prehistórico. Este curso proporciona una introducción a este campo interdisciplinario que incluye métodos de investigación y ejemplos de asociaciones astronómicas con la arquitectura prehistórica. La investigación de la arqueoastronomía proporciona conocimientos culturales para los pueblos prehistóricos que de otro modo no se podrían obtener. Es una herramienta poderosa porque el cielo es un recurso que ha permanecido esencialmente igual durante milenios. **Objetivos del curso:** Este es un curso de posgrado que analiza la arqueoastronomía en detalle. La arqueoastronomía es un campo de investigación interdisciplinario que requiere la integración de la astronomía posicional, la antropología, la arqueología, la historia de la ciencia y la historia de la religión. Este curso utiliza la arqueoastronomía como una lente para proporcionar a los estudiantes una mejor comprensión de los desafíos metodológicos e interpretativos inherentes al realizar una investigación interdisciplinaria. Además, el curso demuestra cómo se lleva a cabo una investigación interdisciplinaria bien diseñada y cómo la astronomía permite el desarrollo de inferencias mejoradas con respecto a las culturas prehistóricas. Los estudiantes están expuestos a la diversidad cultural mientras exploramos cómo diferentes culturas humanas han aplicado el conocimiento visual del cielo de formas únicas relacionadas con el seguimiento del tiempo, la realización de rituales, la práctica de la religión, la codificación de información socialmente importante y el desarrollo de una arquitectura monumental. El curso incluye una revisión de la investigación de evidencia cultural material para asociaciones astronómicas en sitios Incas monumentales seleccionados como Machu Picchu, Huayna Picchu, Pachacámac, Puruchuco, Chan Chan, Sacsayhuamán, Pikillacta, Chavín, Huaca de la Luna, Huaca de la Luna, Huaca de la Luna. **Resultados del aprendizaje:** Comprender y comunicar ejemplos bien documentados que demuestren cómo diversas culturas integraron la información astronómica visual en la arquitectura monumental. Describir los movimientos visuales a simple vista de los objetos celestes en el cielo diurno y nocturno para incluir el sistema de coordenadas de referencia, así como los ciclos lunares, solares, planetarios y estelares observados. Demostrar comprensión de los métodos de estudio de campo de la arqueoastronomía para incluir estudios con brújula y clinómetro, estudios con teodolito y uso de GPS. Discutir la importancia de evaluar los datos de la prospección en el contexto de las efemérides astronómicas y la importancia de la validación fotográfica de las alineaciones astronómicas propuestas, cuando sea posible. Clasifiquear ejemplos que demuestren cómo diversas culturas han deificado los objetos celestes. Analice cómo la "observación" y la "predicción" astronómicas sustentaron el desarrollo del poder social en diversos contextos culturales. Comparar y contrastar diversos sistemas calendáricos y marcadores (por ejemplo, solar, lunar, planetario o estelar) utilizados por culturas seleccionadas. Aplicar métodos interpretativos de la arqueoastronomía, con especial atención a los riesgos de los "falsos positivos". Explicar el papel fundamental del contexto arqueológico, etnográfico e histórico en la investigación de la arqueoastronomía, incluida la evaluación de la evidencia y la naturaleza inferencial de la interpretación de la arqueoastronomía. Identificar y justificar ejemplos que demuestren una relación entre los orígenes de la

[7] https://pacs.ou.edu/certificates/archaeoastronomy/archaeoastronomy-curriculum/.

religión y los orígenes de la ciencia, utilizando prácticas de astronomía visual como base principal para la comparación.

- **Arqueoastronomía Latinoamericana. Descripción del catálogo:** Este curso de posgrado se enfoca en los sistemas calendáricos latinoamericanos, así como en evidencia de la importancia de la astronomía para el diseño de ciudades y estructuras monumentales. Los sitios investigacióndos incluyen Chichén Itzá, Teotihuacán, Tenochtitlán y la región que rodea a Cusco. Un objetivo principal es la comprensión de los diversos métodos necesarios para llevar a cabo la investigación de la arqueoastronomía basada en la evidencia de diferentes disciplinas contribuyentes. **Objetivos del curso:** La arqueoastronomía es el estudio interdisciplinario del conocimiento astronómico prehistórico y el uso de dicho conocimiento por personas en contextos culturales variados. Este curso de posgrado brinda información sobre las astronomías de las culturas latinoamericanas, incluidos los sistemas calendáricos, los usos culturales de los calendarios y las asociaciones astronómicas de los diseños de ciudades y la arquitectura monumental. Este curso aplica la arqueoastronomía como una lente para proporcionar a los estudiantes una mejor comprensión de los desafíos metodológicos e interpretativos inherentes al realizar una investigación interdisciplinaria. Además, el curso demuestra cómo los datos astronómicos permiten mejores inferencias con respecto a las culturas prehistóricas. **Resultados del aprendizaje:** Explicar los movimientos visuales a simple vista de los objetos celestes en el cielo diurno y nocturno, así como los métodos de interpretación y estudio de campo de la arqueoastronomía. Desarrollar ejemplos que demuestren los principios cosmológicos latinoamericanos en toda la región. Demostrar comprensión de los sistemas calendáricos y las constelaciones de América Latina. Analizar la evidencia de arqueoastronomía publicada relacionada con el diseño de la ciudad y la arquitectura monumental construida por los mayas, para incluir a Chichén Itzá y Uxmal. Evaluar la investigación publicada sobre el complejo cultural latinoamericano que involucró la regulación de la guerra basada en el ciclo de Venus. Comparar y contrastar la evidencia arqueoastronómica publicada relacionada con el diseño de la ciudad y la arquitectura monumental construida en Theotihuacán, y la posterior ciudad azteca de Tenochtitlán. Analizar la evidencia publicada para el sistema calendárico Inca. Evaluar la evidencia de arqueoastronomía publicada para el diseño de la ciudad inca de Cusco y los santuarios asociados (huacas). Comprender y comunicar la evidencia arqueoastronómica publicada relacionada con el diseño de las propiedades reales incas, incluidos Urubamba y Machu Picchu. Comparar y contrastar los diversos métodos utilizados por los arqueoastrónomos para estudiar culturas que dejaron evidencia escrita, versus culturas que no dejaron tal evidencia. Comprender y comunicar cómo la evidencia arqueoastronómica de todas las culturas latinoamericanas relacionadas proporciona información sobre las visiones y creencias del mundo ("cosmovisión") de esas culturas.

- **Arqueoastronomía Más Allá de las Américas. Descripción del catálogo de cursos:** Este curso se centra en la evidencia de las asociaciones de la astronomía con los diseños de estructuras prehistóricas monumentales seleccionadas en todo el mundo. También presenta un estudio de astronomía documentado para las culturas tradicionales durante el período histórico. El curso incluye una amplia gama de sitios y culturas en lugares como las Islas Británicas, Egipto, China, Polinesia y Australia. **Objetivos del curso:** Este es un curso de investigación a nivel de posgrado que explora cómo el conjunto de herramientas interdisciplinarias utilizado para realizar la investigación de la arqueoastronomía proporciona información sobre las visiones del mundo y las prácticas de una amplia gama de culturas tradicionales prehistóricas y de períodos históricos. Los temas comunes explorados incluyen el uso de principios astronómicos en el diseño de monumentos y planificación urbana, vínculos astronómicos con prácticas rituales, incluida la peregrinación, y usos funcionales del conocimiento del cielo, como la navegación y el desarrollo de calendarios agrícolas y rituales. Este curso también explora el uso humano de la "observación y predicción" astronómicas de formas muy variadas, destacando la inventiva y la diversidad de perspectivas culturales en todo el mundo. **Resultados del aprendizaje:** Explicar los movimientos visuales a simple vista de los objetos celestes en el cielo diurno y nocturno, así como los métodos de interpretación y estudio de campo de la arqueoastronomía. Comparar y contrastar cómo los sistemas de constelaciones varían entre culturas y áreas geográficas. Evaluar cómo las "Pirámides de Güímar" en Canarias brindan un ejemplo de creación de mitos modernos debido a la interpretación arqueoastronómica sin un contexto arqueológico completo. Analice la evidencia de alineaciones astronómicas intencionales en sitios neolíticos en Portugal, África del Norte y las Islas Británicas para incluir Nabta Playa, Stonehenge y las tumbas de paso de Boyne Valley, Irlanda (Newgrange, Knowth y Dowth). Evaluar la evidencia de alineamientos astronómicos intencionales entre las

estructuras monumentales egipcias, incluidas las pirámides de la meseta de Giza. Analizar la evidencia del conocimiento astronómico y las alineaciones astronómicas intencionales vinculadas al diseño de la ciudad y las prácticas culturales en la antigua China. Demostrar comprensión del papel de la astronomía entre los pueblos polinesios, incluidas las técnicas de navegación, las prácticas calendáricas y el diseño de las estructuras de los templos. Evaluar la evidencia de la astronomía asociada con el diseño de la ciudad y el templo, así como las prácticas de peregrinación en la India. Analizar los conocimientos adquiridos mediante la aplicación de la astronomía como herramienta para comprender las culturas aborígenes tradicionales de Australia. Comprender y comunicar cómo los imperativos culturales y la práctica resultante de la astronomía islámica de los siglos VIII al XV d.C. proporcionaron una base para el desarrollo de la astronomía "moderna". Comparar y contrastar cómo los diferentes grupos culturales aplican el conocimiento del cielo de diferentes maneras, tanto como un conjunto de herramientas funcionales (por ejemplo, con fines de navegación y calendáricos) como para codificar información de referencia cultural socialmente importante.

- **Investigación De Campo En Arqueoastronomía. Descripción del catálogo:** Una aplicación práctica de los fundamentos de la arqueoastronomía. Incluye una revisión de la literatura contextual y practicas de campo en sitios locales dirigida por el cuerpo docente del departamento. Los estudiantes participarán en la interpretación de datos colaborativos preliminares y tendrán la opción de realizar una publicación posterior al trabajo de campo. **Objetivos del curso:** Este es un curso de nivel de posgrado que brinda a los estudiantes una experiencia inmersiva en la realización de un estudio de sitios de arqueoastronomía. Este curso enseña métodos de trabajo de campo de arqueoastronomía y brinda la oportunidad a los estudiantes de participar en investigaciones destinadas a su publicación. La arqueoastronomía es un campo de investigación interdisciplinario que normalmente requiere la integración de la astronomía posicional, la antropología, la arqueología, la historia de la ciencia y la historia de la religión. Antes de la experiencia de trabajo de campo, a los estudiantes se les asignarán lecturas relacionadas con la ubicación seleccionada, astronomía cultural, métodos de trabajo de campo y el sitio específico de la escuela de campo. Durante la escuela de campo, los estudiantes desarrollarán bocetos del horizonte, realizarán estudios con brújula y clinómetro, recopilarán datos GPS y fotográficos, y realizarán estudios teodolíticos de la arquitectura local y las líneas de visión del horizonte. La reducción de datos se realizará en colaboración para identificar orientaciones y alineaciones estructurales y potencial de previsión del horizonte para interacciones celestes / calendáricas. Una vez completada la investigación de campo y la reducción de datos, los estudiantes pueden participar opcionalmente en la publicación de los resultados. Los arreglos logísticos de la escuela de campo variarán según el sitio; la planificación de cada escuela de campo incluirá el transporte, el alojamiento y las comidas de los estudiantes, así como la preparación para la salud y la seguridad. **Resultados del aprendizaje:** explicar la arqueología de la ubicación del campo elegida. Definir conceptos de astronomía cultural publicada de la ubicación del campo elegido. Evaluar e interpretar la investigación de Arqueoastronomía publicada para la ubicación de campo elegida. explicar cómo está estructurado un plan de investigación de campo. Demostrar comprensión de las precauciones de seguridad y preservación del sitio requeridas en el sitio, incluida la hidratación, la protección solar, los peligros del sitio, la precaución con respecto a la vida silvestre y la evitación de daños al sitio durante la actividad de inspección. Evaluar el sitio y demuestre familiaridad con el uso del uso de planes de sitio publicados. Realizar un levantamiento con brújula y clinómetro y registrar datos para evaluar las alineaciones estructurales y los acimuts y elevaciones de la prospectiva del horizonte. Realizar levantamientos de teodolitos y registre datos para evaluar alineaciones estructurales y azimuts y elevaciones de la previsión del horizonte. Aplicar GPS para identificar las coordenadas de ubicación y como estándar de tiempo para las miras solares de levantamiento de teodolito. Demostrar comprensión de las limitaciones de precisión de los dispositivos GPS para consumidores. Evaluar los datos de la investigación utilizando efemérides astronómicas. Opcionalmente: participar en la foto de confirmación dependiendo de las fechas del programa de campo. Participar en la publicación del trabajo de campo (dependiendo de los resultados). La escuela de campo se enfocará en sitios asociado a la cultura Inca, más específicamente, Machu Picchu, Ollantaytambo, Maras, Moray, Pisac, Kuélap, Choquequirao, y Chan Chan. El curso está diseñado para proporcionar a los estudiantes la capacitación en métodos y herramientas necesarios para integrar los métodos de Arqueoastronomía en su propia investigación futura.
- **Etnoastronomía. Descripción del catálogo:** Este curso se centra en la astronomía y cómo se ha utilizado en varias culturas. Se exploran ejemplos históricos y se enfatiza la etnoastronomía. El curso exa-

mina las aplicaciones de la astronomía cultural en todo el mundo. **Objetivos del curso:** Este es un curso de investigación a nivel de posgrado que explora cómo varias culturas han utilizado la astronomía visible. La etnoastronomía es un tema central de este curso. Las culturas antiguas estaban muy familiarizadas con los movimientos celestes en el cielo nocturno y lo utilizaron en la gestión de sus sociedades. Los estudiantes adquirirán conocimientos de las prácticas arqueoastronómicas en culturas de todo el mundo y, por lo tanto, obtendrán una gran comprensión de las diversas formas en que se ha utilizado la astronomía y cómo cada uno interpretó y empleó los fenómenos astrales. Este curso explora creencias astronómicas relacionadas con la creación y la religión. **Resultados del aprendizaje:** Explicar de manera integral la naturaleza de la astronomía cultural. Demostrar comprensión de la diferencia entre etnoastronomía y arqueoastronomía. Comprender y explicar el alcance completo de la etnoastronomía. Explicar los movimientos visuales de los objetos celestes en el cielo diurno y nocturno. Evaluar las diferentes formas en que se utilizó la astronomía para decir la hora. Evaluar ejemplos de astronomía utilizados en mitos culturales que no sean científicamente sustentables. Analizar la astronomía cultural tal como se usó en Estados Unidos y Canadá. Comparar y contrastar el uso de la astronomía en varias culturas de América Latina. Demostrar conocimiento de la astronomía cultural en Europa. Evaluar evidencia cultural para usos astronómicos en África. Analisar la astronomía cultural en el Medio Oriente, incluidas Sumeria y Babilonia. Demostrar comprensión de la astronomía cultural en toda Asia. Evaluar la astronomía aborigen en Australia y otra astronomía cultural en Oceana. Comparar y contrastar cómo estas culturas emplearon la astronomía en todo el mundo.

- **Tradiciones Astronómicas De Las Primeras Naciones En Las Americas. Descripción del catálogo:** Este curso se enfoca en la astronomía indígena y cómo se ha utilizado en las Primeras Naciones en los Estados Unidos y Canadá. Se exploran ejemplos históricos. **Objetivos del curso:** Este es un curso de investigación a nivel de posgrado que explora cómo ciertas Primeras Naciones han utilizado la astronomía visible. Los nativos americanos y otras culturas indígenas han estado muy familiarizados con los movimientos celestiales en el cielo nocturno y lo utilizan en sus sociedades. Los estudiantes conocerán las prácticas astronómicas en muchas culturas de muchas culturas en los Estados Unidos y Canadá y, por lo tanto, obtendrán una idea de las diversas formas en que se ha utilizado la astronomía y cómo se interpretaron y emplearon los fenómenos astrales. **Resultados del aprendizaje:** Explicar de manera integral la naturaleza de la astronomía nativa americana / indígena. Demostrar comprensión de la diferencia entre etnoastronomía y arqueoastronomía. Explicar los movimientos visuales de los objetos celestes en el cielo diurno y nocturno. Evaluar ejemplos de astronomía utilizados en mitos culturales que no sean científicamente sustentables. Analizar el uso indígena de la astronomía en California y el noroeste del Pacífico estadounidense / canadiense. Evaluar la astronomía indígena en la región de la cuenca y el rango de Estados Unidos / Canadá. Demostrar comprensión de la astronomía nativa americana en el suroeste de EE. UU. Evaluar la evidencia cultural de la astronomía indígena en las regiones de los bosques orientales y de los Grandes Lagos de EE. UU. Y Canadá. Analizar la astronomía indígena en la región de las praderas y llanuras de Estados Unidos / Canadá. Demostrar comprensión de la astronomía nativa americana en el sureste de EE. UU. Evaluar la astronomía indígena en las regiones árticas y subárticas de América del Norte. Comparar y contrastar cómo las culturas de las Primeras Naciones emplearon la astronomía en los Estados Unidos y Canadá.

Apéndice I: Arqueofísica

Prerrequisitos. Licenciatura en Ciencias Exactas y de la Naturaleza, o Ingeniería.

El marco académico de las propuestas para el mención en Arqueofísica es basado en las actividades de investigación del Laboratorio de Arqueofísica de la Universidad de Iasi, Romenia [8], cursos del Departamento de Geofísica del Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São, Paulo, Brasil [9,10], y cursos del Departamento de Arqueología de la Universidade de São Paulo [11].

Asignaturas propuestas para el posgrado en Arqueofísica:

- **Fundamentos de Física Aplicada a la Arqueofísica.** *Contenido:* Mecánica ondulatoria. Electricidad y magnetismo. Radioactividad. Propagación, reflexión

[8] http://arheoinvest.uaic.ro/about/laboratories/laboratory-of-archaeophysics/

[9] https://www.iag.usp.br/~eder/apostila/00_Introducao_a_Geofisica_IAG_USP.pdf

[10] http://sites.poli.usp.br/p/augusto.neiva/apresentacoes/dataÃğÃčo11.pdf

[11] https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/obterDisciplina?sgldis=MEA0001&verdis=1

y refracción de ondas en mecánica y electromagnetismo. Propagación de ondas mecánicas o electromagnéticas transversales y longitudinales. Aplicación en la localización de aguas subterráneas o en la búsqueda de objetos enterrados o fósiles mediante técnicas ondulantes de reflexión o refracción. Ondas Elásticas en la Sísmica de Refracción y Reflexión. Conceptos Básicos de Métodos Sísmicos. Instrumentación Electrónica para la Medición de Ondas Sísmicas[12].

- **Introducción a la Geofísica.** *Contenido:* O curso aborda los diferentes objetivos de estudio de la geofísica terrestre a seguir enumerados. Las capas internas de la Tierra. La atmósfera terrestre. La hidrosfera. Los recursos naturales de la Tierra. La fuentes de energía terrestre. Las propiedades fisicas de la Tierra. Los diferentes métodos geofísicos de estudio que permiten una mejor comprensión de las características más relevantes de la corteza terrestre: los métodos sísmicos, el método gravimétrico, el método magnético, paleomagnetismo y magnetostratigrafía, los métodos radiométricos, y el método termométrico.

- **Introducción a la Arqueología.** *Contenido:* Los temas cubiertos por el curso son los siguientes. Arqueología como ciencia social. El estudio de la cultura material. Teoría y método: unidades operativas. Sitios arqueológicos. El contexto arqueológico. Técnicas y métodos de excavación. Análisis y clasificación de artefactos. Enfoques interdisciplinarios. Interpretación en arqueología. Arqueología y divulgación.

- **Introducción a la Física Del Suelo.** *Contenido:* Conceptos generales asociados a la Física de Suelos (Relaciones masa-volumen). Ejercicios. Estructura, compactación y densificación del suelo. Valores críticos de los parámetros físicos del suelo asociados a la productividad agrícola. Importancia del agua desde el punto de vista agrícola. Estructura molecular. Propiedades físicas de Agua. Retención y almacenamiento de agua en el suelo. Ejercicios. Potencial hídrico del suelo. Gradiente potencial. Curva característica del agua en el suelo. Movimiento de aguas subterráneas. Ejercicios. Disponibilidad de agua para plantas. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Infiltración de agua en el suelo. Métodos de determinación. Respuestas de los cultivos a diferentes potenciales hídricos del suelo. Cuándo y cuánto regar el culturas. Ejercicios. Factores físicos del suelo que definen la calidad y sostenibilidad agrícola. Ver[13].

- **Técnicas de Detección en Arqueofísica.** *Contenido:* El enfoque principal del curso son métodos y técnicas desarrollado en la arqueofísica con vista a la prospección de sitios arqueológicos. Contenido: teledetección - instrumentos de teledetección en satelite, desde instrumentos fotográficos hasta sistemas activos. La fotografía aérea. Teledección transportada. Prospección arqueológica. Prospección sísmica e acústica. Prospección electromagnética. Prospección magnética. Prospección térmica. Técnicas de medida de la resistividad eléctrica del suelo. Radiactividad y dispersión de neutrones en pruebas de teledetección. Detectores de metales. Análisis geoquímico. Ver[14].

- **Dactación Arqueológica.** *Contenido:* El curso contempla una introducción a la geocronología, la dactación del pasado de excavaciones arqueológicas. Métodos relativos y absolutos de datación. Estratigrafía del suelo. Paleomagnetismo. La influencia del campo magnético terrestre en la datación. Relojes radiactivos. Datación radiocarbónica. Datación por termoluniniscencia. Datación por medio de resonancia electrónica del spin. Datación mediante potasio-argón. Datación mediante las series de uranio. Datación por huellas de fisión. Datación por la tasa de cationes. Datación arqueomagnética.

Apéndice J: Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos

Prerrequisitos. Licenciatura en Ciencias Exactas y de la Naturaleza, o Ingeniería.

Asignaturas propuestas para el posgrado en Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos:

- **Astrofísica de las Partículas Elementares.** *Objetivos:* Introducir a los estudiantes a las conexiones entre la física de partículas elementales y la astrofísica. Los entornos astrofísicos extremos pueden producir partículas cuyas características de interacciones son inaccesibles en experimentos en la Tierra. De forma bidireccional, cuanto más sepamos sobre sus partículas e interacciones, los escenarios astrofísicos se pueden modelar mejor y probar experimentalmente. *Contenido:* Comprensión del universo: cosmología, astrofísica, partículas y sus interacciones. Revisión de la física de partículas y el modelo estándar:

[12] ver https://www.redalyc.org/journal/5075/507555007006/html/

[13] https://institucional.ufpel.edu.br/disciplinas/cod/01230019

[14] https://dialnet.unirioja.es

quarks y leptones y sus interacciones, transformaciones relativistas y el principio de equivalencia, reglas de conservación y simetrías, extensiones del modelo estándar. Detección de partículas: interacción de partículas con la materia, detectores de partículas. El universo primitivo: el universo en expansión, fondo cósmico de microondas, eras de radiación y materia, nucleosíntesis y bariogénesis, materia oscura y energía oscura. Partículas en el universo: Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos, fotones, neutrinos y ondas gravitacionales. El enfoque de la astronomía de mensajeros múltiples. Preguntas abiertas y experimentos futuros. Astrobiología. *Bibliografía:* (1) A. de Angelis, M. Pimenta: "Introduction to Particle and Astroparticle Physics: Multimessenger Astronomy and its Particle Physics Foundations", Springer (2018). (2) D. H. Perkins: "Particle Astrophysics", Oxford University Press (2009). Propuesta formulada por el profesor Ernesto Kemp, de la UNICAMP, São Paulo, Brasil.

- **Fundamentos de Relatividad Especial y General.** *Contenido:* Principios de relatividad especial. Electrodinámica relativista. Incompatibilidad entre la relatividad restringida y la gravitación clásica. Introducción a la relatividad general. Análisis vectorial en relatividad especial. Análisis tensorial en relatividad especial. Fluidos perfectos en relatividad especial. Variedades curvas. Física en un espacio-tiempo curvo. Ecuaciones de campo de Einstein. Soluciones esféricas para estrellas. Geometría y agujeros de Schwartzchild.

- **Introducción a la Cosmología.** *Contenido:* Evidencia observacional en la cosmología y la historia térmica del universo. Cinemática y dinámica de un universo homogéneo e isótropo. Modelos cosmológicos. Propagación de luz y horizontes. Evolución térmica del modelo estándar. Nucleosíntesis. Materia oscura. Fondo de microondas cósmico. El universo primitivo, inflación. Formación de estructuras.

- **Instrumentación y Técnicas de Detección de Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos.** *Contenido:* Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos y su interacción con la materia. Ionización y excitación. Bremsstrahlung y producción de pares. Principios de operación en centellleadores y cámaras multialámbricas. Tubo fotomultiplicador. Detección de partículas cargadas. Alcance de electrones. Ionización primaria y total. Determinación de la posición del evento detectado. Exprimento de la Pirámide del Sol en Teotihuacan[15]. Modelos de Aceleración de los Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos. Propagación de los Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos. Medición de Astronomía Óptica y Rayos Cósmicos: Técnicas de Medición Directas; medición Indirecta por medio de EAS. Componente Muónica y Electromagnética. Desarrollo Espacial de la Cascada. Desarrollo Temporal de la Cascada. Parámetros de la Cascada. Detector de Fluorescencia. Detector de Superficie. Ensamblado y emplazamiento de los Detectores de Superficie. Detector de Efecto Cerenkov en Agua. Calibración. Introduction. Método de Calibración. Calibración en Tiempo Real. Análisis de los Datos de Muones. Simulaciones. Ver[16].

[15]

[16] https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n3773_Bonifazi.pdf