

## ESTADO Y TENDENCIA DE LA EDUCACIÓN NUCLEAR EN EL ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA

### STATE AND TREND OF THE NUCLEAR EDUCATION IN THE PLURINATIONAL STATE OF BOLIVIA

BUSTOS ESPINOZA R. O. E.<sup>1</sup>, BURGOA MARIACA A.<sup>1</sup>, POMA MAMANI I.<sup>1</sup>, TICONA PERALTA R. D.<sup>1</sup>, SUBIETA VASQUEZ M.<sup>1</sup>, RAMÍREZ ÁVILA G. M.<sup>1</sup>, RALJEVIC ERGUETA M.<sup>1,7</sup>, LUCANO M.<sup>2</sup>, MAMANI R.<sup>3</sup>, VARGAS LUCANA M.<sup>4</sup>, CHÁVEZ RÍOS S.<sup>5</sup>, TORRICO FERRUFINO S.<sup>6</sup>, COCA VALDEZ D.<sup>6</sup>, & ROMERO BOLAÑOS L.<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Carrera de Física, Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), La Paz, Estado Plurinacional de Bolivia

<sup>2</sup>Carrera de Física, Universidad Mayor de San Simón (UMSS), Estado Plurinacional de Bolivia

<sup>3</sup>Carrera de Física, Universidad Autónoma Tomás Frías (UATF), Estado Plurinacional de Bolivia

<sup>4</sup>Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN), Estado Plurinacional de Bolivia

<sup>5</sup>Agencia Boliviana de Energía Nuclear (ABEN), Estado Plurinacional de Bolivia

<sup>6</sup>Ministerio de Energías, Unidad de aplicaciones nucleares, Estado Plurinacional de Bolivia &

<sup>7</sup>Sociedad Boliviana de Física (SOBOFI)

#### RESUMEN

El Programa Nuclear Boliviano tiene el objetivo de promover, dirigir, implementar y difundir el uso pacífico de la tecnología nuclear en el país así como actualizar y apoyar a los sectores industrial, científico, tecnológico y académico. En ese sentido el gobierno nacional planifica la Construcción e Implementación del Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología Nuclear, cuyo operador será la Agencia Boliviana de Energía Nuclear - ABEN. Asimismo, el Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear - IBTEN, autoridad nacional competente en materia de uso de radiaciones ionizantes, será la entidad que tendrá a su cargo el licenciamiento para las fases de construcción, operación y cierre de dichas instalaciones.

En este marco institucional, las universidades se sumarán al proyecto mediante la realización de investigaciones, tanto teóricas como experimentales, así como también en fortalecer programas de formación académica ya establecidos, vinculados al área nuclear. Existen programas que fortalecen el estudio del área nuclear, como ser: la Olimpiada Boliviana de Física, la Olimpiada Boliviana de Astronomía y Astrofísica, en coordinación con el Ministerio de Educación.

Por otro lado, la Carrera de Física de la UMSA cuenta con el programa del Diplomado en Física para profesores de Colegio, buscando el mejoramiento continuo del sistema educativo boliviano en estas disciplinas: Física, Astronomía y Astrofísica y sus directas transversales: Biología, Química, Matemática, Geología, Ciencias Sociales, etc.

Código(s) PACS: 01.40.d — 01.40.Di — 87.52.g

*Descriptores:* Educación — Diseño y evaluación de cursos — Monitoreo de radiación, control y seguridad.

#### ABSTRACT

Bolivia's National Nuclear Program has as its objective to promote, manage, and implement the pacific use of nuclear technology in Bolivia, as well as, to bring up to date and support the country's industrial, scientific, technological and academic sectors. The Plurinational State of Bolivia has put in place the construction and implementation of the Bolivian Research and Development Center for Nuclear Technology under the administration of The Bolivian Agency for Nuclear Energy (ABEN). This project will also involve the Bolivian Institute of Nuclear Science and Technology (IBTEN) which will oversee the construction and operation of the Nuclear Center. Within this context Bolivian universities are stepping up research, both experimental and theoretical, as well as, strengthening existing training programs related to nuclear science and technology.

Academics in coordination with the Ministry of Education have been promoting and implementing programs that strengthen studies in the field of nuclear physics through activities such as the Bolivian Physics Olympics and the Bolivian Astronomy and Astrophysics Olympics. In addition the Physics Department of UMSA implements a Physics Diploma program for school teachers. The program seeks to update teachers in disciplines, such as, physics, astronomy, astrophysics and also biology, chemistry, mathematics, social sciences, amongst others within the Bolivian education system.

*Subject headings:* Education — Course design and evaluation — Radiation monitoring, control, and safety.

## CONTENIDO

1. HISTORIA DE LAS ACTIVIDADES NUCLEARES
2. ESTADO DE LA EDUCACION EN EL AREA NUCLEAR Y ANTECEDENTES
  - 2.1. INSTITUCIONES ACADÉMICAS Y DE INVESTIGACIÓN
    - 2.1.1. Carrera de Física, Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), La Paz
      - 2.1.1.1. ANTECEDENTES Carrera de Física - UMSA (La Paz)
      - 2.1.1.2. MISIÓN - VISIÓN
      - 2.1.1.3. OBJETIVOS
      - 2.1.1.4. PERFIL PROFESIONAL
      - 2.1.1.5. DESCRIPCIÓN DE LAS MATERIAS RELACIONADAS CON LA FÍSICA NUCLEAR
      - 2.1.1.6. TESIS DE GRADO Y POSTGRADO RELACIONADAS CON FÍSICA NUCLEAR REALIZADAS EN LA CARRERA DE FÍSICA - UMSA
      - 2.1.1.7. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FÍSICAS (IIF)
        - 2.1.1.8. PUBLICACIONES DEL IIF EN RELACIÓN A LA FÍSICA NUCLEAR
    - 2.1.2. Carrera de Física, Universidad Mayor de San Simón (UMSS), Cochabamba
      - 2.1.2.1. ANTECEDENTES Carrera de Física - UMSS (Cochabamba)
      - 2.1.2.2. PERFIL PROFESIONAL
      - 2.1.2.3. MERCADO DE TRABAJO
      - 2.1.2.4. OBJETIVOS
      - 2.1.2.5. MATERIA(S) RELACIONADAS CON LA FÍSICA NUCLEAR
      - 2.1.2.6. TESIS DE GRADO RELACIONADAS CON FÍSICA NUCLEAR REALIZADAS EN LA CARRERA DE FÍSICA - UMSS
      - 2.1.2.7. PUBLICACIONES EN LA CARRERA DE FÍSICA - UMSS EN RELACIÓN A LA FÍSICA NUCLEAR
    - 2.1.3. Carrera de Física, Universidad Autónoma Tomás Frías (UATF), Potosí
      - 2.1.3.1. ANTECEDENTES Carrera de Física - UATF (Potosí)
      - 2.1.3.2. DATOS PRINCIPALES DE LA CARRERA

## DE FÍSICA

- 2.1.3.3. MISIÓN Y VISIÓN
- 2.1.3.4. OBJETIVOS
- 2.1.3.5. NORMAS DE TITULACIÓN
- 2.1.3.6. PERFIL PROFESIONAL
- 2.1.3.7. ÁREA DE ACCIÓN
- 2.1.3.8. MATERIA(S) RELACIONADAS CON LA FÍSICA NUCLEAR
  - 2.1.3.9. TESIS DE POSTGRADO RELACIONADAS CON FÍSICA NUCLEAR REALIZADAS EN LA CARRERA DE FÍSICA - UATF
  - 2.1.3.10. PUBLICACIONES REALIZADAS EN LA CARRERA DE FÍSICA - UATF, RELACIONADAS CON FÍSICA NUCLEAR
- 2.2. SOCIEDAD BOLIVIANA DE FÍSICA (SOBOFI)
  - 2.2.1. PRESENTACIONES EN LAS REUNIONES NACIONALES DE LA SOBOFI EN RELACIÓN A LA FÍSICA NUCLEAR
- 2.3. AGENCIA BOLIVIANA DE ENERGIA NUCLEAR (ABEN)
  - 2.3.1. CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO EN TECNOLOGIA NUCLEAR
- 2.4. PROGRAMA NUCLEAR BOLIVIANO
  - 2.4.1. ANTECEDENTES
  - 2.4.2. RESUMEN DE INICIATIVAS DE DESARROLLO DEL SECTOR
  - 2.4.3. RRHH
- 2.5. INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR (IBTEN)
  - 2.5.1. MISIÓN - VISIÓN
  - 2.5.2. CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES (CIAN)
    - 2.5.2.1. UNIDAD DE ANALISIS Y CALIDAD AMBIENTAL (UACA)
    - 2.5.2.2. UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y APLICACIONES NUCLEARES (UIAN)
  - 2.5.3. CENTRO DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA (CPSR)
    - 2.5.3.1. UNIDAD DE RADIOPROTECCIÓN EN INSTALCIONES (URI)
    - 2.5.3.2. UNIDAD DE DOSIMETRÍA DE RADIACIONES IONIZANTES (UDRI)
  - 2.5.4. CENTRO DE DOCUMENTACIÓN NUCLEAR (CDN)
3. LEGISLACIÓN
4. INTERACCION GOBIERNO, INDUSTRIA Y ACADEMIA
5. INTERCAMBIO Y MOVILIDAD ESTUDIANTIL
6. USO DE TIC Y DE LA COMUNICACIÓN
  - 6.1. PUBLICACIONES EN LA PRENSA NACIONAL
7. COOPERACIÓN Y PARTICIPACIÓN EN REDES ACADÉMICAS
  - 7.1. CONVENIOS
  - 7.2. PARTICIPACIÓN EN REDES ACADÉMICAS

<sup>1</sup> rbustos@fcfn.edu.bo,  
 anwibuma@anwibuma.com,  
 isaacpoma@gmail.com,  
 martin.alfonso.subieta.vasquez@cern.ch,  
 rticona@fcfn.edu.bo,  
 mravila@fiumsa.edu.bo  
<sup>2</sup> mjlucono@yahoo.com  
<sup>3</sup> raulm2k13@hotmail.com  
<sup>4</sup> marcelo.vargas.fis@gmail.com  
<sup>5</sup> chavez.rios.silverio@gmail.com  
<sup>6</sup> salvador.torrico@minenergias.gob.bo,  
 diegococavaldez@gmail.com,  
 romero30@gmail.com

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 9. BIBLIOGRAFÍA

#### 1. HISTORIA DE LAS ACTIVIDADES NUCLEARES (Ministerio de Educación 2012)

Las actividades en el ámbito nuclear en el Estado Plurinacional de Bolivia se remontan hacia comienzos del año de 1960 con la creación de la Comisión Boliviana de Energía Nuclear, COBOEN, creación impulsada por las actividades de investigación que se desarrollaban en el Instituto de Física Cósmica de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). La misión principal de la COBOEN fue la de promover, dirigir, implementar y difundir el uso pacífico de la tecnología nuclear en el país.

Muchas de las actividades nucleares se iniciaron o fueron promovidas por la necesidad de medir y monitorear las radiaciones provenientes de las pruebas nucleares que Francia y otros países, estaban haciendo por aquellos años en el Pacífico.

Otro hito histórico de gran importancia en el país, fueron las actividades, que empezaron también por los años 60, en torno al uso de isótopos radiactivos, o también llamados radioisótopos, en la medicina, muy en particular, el empleo del Fósforo-32 y el Iodo-131, dos radioisótopos de extrema utilidad y muy utilizados ya por más de 70 años en todo el mundo para tratar un desorden sanguíneo como la policitemia vera y estudiar desórdenes de la glándula tiroidea respectivamente. Es interesante señalar que con el uso del iodo radiactivo, muchos países, incluido el Estado Plurinacional de Bolivia, dieron inicio al uso de la energía nuclear con fines pacíficos, en este caso particular, al inicio de la especialidad que hoy conocemos como medicina nuclear.

Estas actividades de utilización de radioisótopos en la medicina fueron apoyadas en buena medida por la cooperación de Argentina y Brasil que culminó con la fundación del Instituto de Medicina Nuclear en el año 1963 dependiente de la recientemente creada COBOEN, con lo que se impulsó de manera significativa las actividades de la utilización pacífica de la energía nuclear en el país.

Los primeros trabajos de prospección de minerales radiactivos fueron ejecutados por la empresa SWEDISH y el Servicio Geológico de Bolivia (GEOBOL) en 1965, que incluían radiometría y magnetometría aérea de la Cordillera de los Frailes, de acuerdo con los datos de la entidad estatal.

En 1970, dirigió la búsqueda de minerales de uranio en rocas de formación volcánica, en la cordillera de los Frailes con resultados positivos que llevaron a la localización del depósito de este elemento en COTAJE y las "anomalías HUANCARANI, TORKO, LOS DIQUES, THOLAPALCA y otras anomalías menores". Por otra parte según estudios realizados en el año 1953 por la comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos, se tendría una interesante mineralización de Uranio y Cobalto en CHULLCHUCANI al Noroeste (NO) de la ciudad de Potosí.

El sitio más rico en mineral de Uranio es el cerro

de COTAJE, que cuenta con una reserva de 35000 toneladas de dicho mineral con un promedio en contenido de entre 0,069 % y 0,078 % de U-238.

Las actividades de la COBOEN abarcaron varios ámbitos de la actividad nuclear incluyendo la organización de estructuras regulatorias relativas al uso de las radiaciones ionizantes y de los radioisótopos y la formación de recursos humanos con la cooperación internacional, tanto de países vecinos como Argentina y Brasil, además de Francia, Estados Unidos y del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

En el año 1967, la COBOEN en representación de Bolivia es reconocida oficialmente como miembro de la OIEA y en el año 1969 Bolivia se incorpora como estado miembro de La Comisión Interamericana de Energía Nuclear (CIEN) organismo especializado de la Organización de Estados Americanos (OEA).

En los años 70, el Departamento de Ingeniería Nuclear de la COBOEN llegó a plantear la instalación de un reactor nuclear de investigaciones para su utilización en la producción de radioisótopos para la medicina, industria y agricultura, como también para aplicaciones analíticas y la formación de recursos humanos. Esta iniciativa no prosperó por no contarse con los recursos necesarios, a pesar que la Dirección Ejecutiva de aquella época decidió asignar los terrenos del Centro Nuclear en la localidad de Viacha para este fin.

Entre las actividades más sobresalientes de la COBOEN se pueden señalar la búsqueda de minerales de uranio en el territorio nacional que se desarrolló a los comienzos del año 1974 y que culminó con la operación de una planta piloto de producción de Urania (Óxido de Uranio, también conocido como yellow cake en el idioma inglés (Wikipedia 2010)) en 1977, llegándose a producir algunos kilogramos de este material, con una pureza del 60 %, durante los siguientes 5 a 6 años que duró esta operación que se la denominó piloto. Dicho trabajo fue reportado al en ese entonces Presidente de la República general Hugo Banzer Suárez, por el Ing. Willy Vargas Enriquez, ex docente de la Carrera de Química de la Universidad Autónoma Tomás Frías (UATF), quien dirigió los trabajos en la planta del cerro de COTAJE de Potosí y la explotación de uranio, actividad que sirvió para adquirir experiencia en la minería nuclear en el país y formar personal en esta área, pese a que la reserva encontrada en el lugar era pequeña y no era considerada un yacimiento. "Se pretendía con COTAJE una pequeña producción, por que el lugar no era considerado un yacimiento de uranio (la cantidad de toneladas de reserva era inferior a la aconsejable por los expertos de ese entonces), así es que sirvió solamente para entrenamiento e investigación, en la época de oro de la energía nuclear", dijo el profesional que dirigió los trabajos de investigación y la obtención del yellow cake en 1974 en la mina COTAJE. Además y debido al alto costo de las operaciones de extracción y proceso de obtención del yellow cake no se podía competir con el de otros países y la empresa se tuvo que cerrar.

La prospección y exploración de minerales radiactivos continuó muy activa y con fuerte soporte estatal hasta la cesación de COBOEN y la creación del Instituto Boliviano de Ciencias y Tecnología Nuclear (IBTEN) en Junio de 1983, como la institución científico técnica descentralizada con personería jurídica, patrimonio propio, autonomía administrativa y financiera dependiente de instancias gubernamentales.

El IBTEN se constituye en el brazo técnico de la Autoridad Ambiental Competente y/u otras instancias nacionales, departamentales y/o Gobiernos Municipales.

Otro aspecto sobresaliente es el que se dio a la formación de recursos humanos mediante becas que se consiguieron a través de convenios de cooperación con países amigos como Argentina, Brasil, Francia, Italia y el OIEA.

## 2. ESTADO DE LA EDUCACION EN EL AREA NUCLEAR Y ANTECEDENTES

### 2.1. INSTITUCIONES ACADÉMICAS Y DE INVESTIGACIÓN

#### 2.1.1. Carrera de Física, Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), La Paz (Física - UMSA 2018)

##### 2.1.1.1. ANTECEDENTES CARRERA DE FÍSICA - UMSA (LA PAZ)

La Carrera de Física de la UMSA, se crea como Departamento de Física dependiente del antiguo Instituto Superior de Ciencias Básicas en el año 1966, integrándose como tal a la Facultad de Ciencias Puras y Naturales el año 1972.

##### 2.1.1.2. MISIÓN - VISIÓN

La Ciencia es uno de los factores más importantes para el progreso general de los países. Tanto porque la creación de conocimiento contribuye al desarrollo tecnológico independiente cuanto porque el adquirir y mantener el conocimiento científico ya logrado permite y facilita la transferencia tecnológica necesaria. Por todo ello, la formación de profesionales en ciencias, particularmente en Física, es una tarea primordial como inversión, a corto y largo plazos, que garantiza la existencia de medios técnicos para la futura industrialización de nuestro país; además del valor cultural intrínseco que se genera.

##### 2.1.1.3. OBJETIVOS

La Carrera de Física es una unidad dependiente de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales de la UMSA y tiene los siguientes objetivos fundamentales:

- Formación de investigadores profesionales en Física, con una sólida formación teórica y experimental en los fundamentos de las principales áreas de esta ciencia.
- Sostenimiento y desarrollo de la Ciencia Física, mediante la práctica sistemática de la investigación científica con énfasis preferente en tópicos de potencial aplicación al desarrollo tecnológico nacional

- Difusión de los conocimientos de la Física en la sociedad, tanto por sus valores culturales cuanto por sus valores pragmáticos.

##### 2.1.1.4. PERFIL PROFESIONAL

El licenciado en Física es el profesional capacitado mediante una formación profesional de cinco años. Estudia e interpreta los fenómenos naturales aplicando el método científico, tiene capacidad de abstracción y habilidad en el manejo del instrumento matemático. Puede desempeñar las siguientes funciones principales dentro del proceso productivo y de enseñanza:

- Investigación pura y aplicada.
- Consultoría y asesoramiento técnico-científico.
- Docencia universitaria, institutos y colegios.

Desarrolla sus actividades en los campos: energías alternativas como solar, eólica; energías no convencionales como nuclear; ciencia de materiales, radiografía industrial, rayos X, vacío, criogenia, capa de ozono, radiación ultravioleta, óptica, láser, rayos cósmicos, astronomía, astrofísica, semiconductores, física médica, radioterapia, computación, normas y patrones.

La Carrera de Física integra varias organizaciones internacionales y mantiene convenios con universidades latinoamericanas, norteamericanas, europeas y asiáticas; de modo que el profesional físico tiene facilidad de conseguir becas de postgrado.

##### 2.1.1.5 DESCRIPCIÓN DE LAS MATERIAS RELACIONADAS CON LA FÍSICA NUCLEAR

En la Carrera de Física, FCPN, UMSA se dictan las siguientes materias relacionadas con la Física Nuclear:

- FÍSICA NUCLEAR Y DE PARTÍCULAS
- LABORATORIO MEDIO II
- LABORATORIO AVANZADO
- FÍSICA MODERNA
- MECÁNICA CUÁNTICA
- CALCULO NUMÉRICO Y PROGRAMACIÓN
- TÓPICOS ESPECIALES DE LA FÍSICA EXPERIMENTAL II: CENTRALES NUCLEARES
- INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA NUCLEAR (DFIS\*)
- GESTION DEL CONOCIMIENTO NUCLEAR (DFIS)
- TÓPICOS ESPECIALES EXPERIMENTALES DE LA FISICA: NEUTRONICA 1

- FÍSICA DE LAS RADIACIONES (SERVICIO A LA FACULTAD DE MEDICINA, ENFERMERIA, NUTRICION Y TECNOLOGIA MEDICA)

\* Diplomado en Física para Profesores, 2008 - 2017.

A continuación se procede a dar información más detallada sobre cada uno de estos tópicos:

#### FÍSICA NUCLEAR Y DE PARTÍCULAS

7mo semestre del ciclo de profesionalización. carga horaria: 4 horas por semana en 2 sesiones, 2 horas prácticas en una sesión.

Objetivos Generales: Introducir al estudiante en los conceptos fundamentales de la física nuclear y de partículas así como también en las diferentes aplicaciones de esta rama de la física.

Contenido Mínimo: Conceptos Básicos Nucleares - Estructura Nuclear - Interacciones de la radiación Nuclear con la materia - Decaimiento Radiactivo - Reacciones Nucleares - Partículas Elementales

Nivel de la Materia: Elements of Nuclear Physics, Meyerhoff W., McGraw Hill Co. (1967)

#### LABORATORIO MEDIO II

6to semestre del ciclo de profesionalización.

Carga horaria: 6 horas por semana en 1 o 2 sesiones 3 horas prácticas en una sesión.

Objetivos Generales: Desarrollar experimentos típicos de la física moderna haciendo énfasis en las técnicas experimentales acordes al nivel del curso. Profundizar la exigencia en cuanto a la redacción y formato de los reportes científicos- Complementar el aprendizaje de las materias de física moderna. Proporcionar al estudiante técnicas experimentales incluyendo instrumentación del nivel apropiado..

Contenido Mínimo: Experimentos sobre física Atómica y Molecular: Tratamiento de Datos - Medida de la velocidad de la luz, Experimento de Franck - Hertz - Rayos X - Espectrometría - Etc.

Nivel de la Materia: Experiments in Modern Physics, Melissinos, Acad. Press. (1956)

#### LABORATORIO AVANZADO

7mo semestre del ciclo de profesionalización.

Carga horaria: 6 horas por semana en 1 o 2 sesiones, 3 horas prácticas en una sesión.

Objetivos Generales: Profundizar el estudio y la aplicación de la teoría de errores, registro de datos y análisis estadísticos especializados mediante la introducción al estudiante a las diferentes áreas de investigación existentes en la carrera de Física. Desarrollar proyectos individuales y grupales.

Contenido Mínimo: Experimentos Avanzados de diferentes áreas: Tratamiento de Datos - Física Nuclear - Rayos Cósmicos - Estado Sólido - Otros - Proyecto para la evaluación final

Nivel de la Materia: Experiments in Modern Physics, Melissinos, Acad. Press. (1956)

#### FÍSICA MODERNA

6to semestre del ciclo de profesionalización.

Carga horaria: 4 horas por semana en 1 o 2 sesiones, 2 horas prácticas en una sesión.

Objetivos Generales: Extender las aplicaciones

particulares de la ecuación de Schrodinger a problemas en 3 dimensiones: átomo de Hidrogeno, átomo de Helio, Moléculas simples y átomos multi-electrónicos.

Contenido Mínimo: Introducción a la Física Atómica - Momentum Angular - Principio de Pauli - Átomos Multielectrónicos - Espectroscopia Atómica - Átomos y Moléculas - Espectros Moleculares - Potencial Periódico - Estructura de Bandas

Nivel de la Materia: Física Cuántica, Eisberg & Resnick, Ed. LIMUSA (1978)

#### MECÁNICA CUÁNTICA

8vo semestre del ciclo de profesionalización.

Carga horaria: 4 horas por semana en 2 sesiones, 2 horas prácticas en una sesión.

Objetivos Generales: Introducir al alumno al estudio de la mecánica cuántica, sus conceptos fundamentales y sus aplicaciones más comunes. Comprender el pensamiento científico a partir de consideraciones filosóficas desde el punto de vista cuántico.

Contenido Mínimo: Conceptos básicos de la mecánica cuántica - Formalismo de Heisenberg - Evolución Temporal de los estados cuánticos - Formalismo general de la mecánica cuántica - Oscilador Armónico - Momentum Angular - Fuerzas Centrales - Método de Perturbaciones y otros métodos aproximativos - Estructura Atómica - Dispersión.

Nivel de la Materia: Fundamentos de Mecánica Cuántica, Worowitz, Ed. Reverte (1973)

#### CALCULO NUMÉRICO Y PROGRAMACIÓN

4to semestre del ciclo de profesionalización.

Carga horaria: 4 horas por semana en 2 sesiones, 2 horas prácticas en una sesión.

Objetivos Generales: Introducir a los estudiantes a resolver problemas de algebra y calculo usando técnicas y métodos numéricos, con el objetivo de desarrollar aplicaciones de los métodos numéricos. Se desarrollan algoritmos que sean posibles de implementarlos en un lenguaje de programación.

Contenido Mínimo: Computación y programación - Raíces de Ecuaciones Algebraicas y Trascendentes - Sistemas de Ecuaciones Lineales - Aproximación Polinomial - Diferenciación e Integración Numérica - Ecuaciones Diferenciales Ordinarias - Simulaciones.

Nivel de la Materia: Métodos Numéricos, Luthe, Olivera y Shulz, Ed. Limusa (1980)

#### TÓPICOS ESPECIALES DE LA FÍSICA EXPERIMENTAL II: CENTRALES NUCLEARES

Ciclo Formativo.

Carga horaria: 4 horas por semana en 2 sesiones, 2 horas prácticas en una sesión.

Objetivos Generales: El objetivo principal, es dotar una visión de las centrales nucleares, desde la extracción del mineral hasta el consumo del combustible en centrales de generación de electricidad o reactores de producción y sus aplicaciones.

Contenido Mínimo: Introducción a la Energía Nuclear - Ciclo del Combustible - Aplicaciones de la Energía Nuclear: Generación de Electricidad - La Energía Nuclear y el Hombre

Nivel de la Materia: Nuclear Reactor Physics, E. E.

Lewis, Ed. Academic Press (2008)

**INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA NUCLEAR  
MÓDULO DEL DIPLOMADO EN FÍSICA PARA  
PROFESORES DE COLEGIO (DFÍS)**

Carga horaria: 200 horas académicas durante 17 semanas: 15 virtuales y 2 presenciales.

Objetivos Generales: Introducir en los profesores de colegio de todo el país los conceptos básicos de la física nuclear.

Contenido Mínimo: Estructura Nuclear - El Núcleo Atómico - Energía de enlace - La Radiactividad - Reacciones Nucleares de Radiactividad - Otras reacciones Nucleares.

Nivel de la Materia: Apuntas de clase, Poma Mamani I., Carrera de Física, UMSA (2015), Apuntes para el DFIS, Calcina Nogales M., Carrera de Física, UMSA (2017)

**TÓPICOS ESPECIALES EXPERIMENTALES DE LA FÍSICA: NEUTRONICA 1**

Ciclo Formativo

Carga horaria: 4 horas por semana en 2 sesiones.

Objetivos Generales: El objetivo principal, es dotar una visión y formación en NEUTRONICA, funcionamiento y explotación de los reactores nucleares, reactores de producción de radioisótopos, de energía eléctrica y sus aplicaciones.

Contenido Mínimo: Historia de la neutrónica - Interacciones neutrón - materia - Reacción en cadena, flujo, tasa de reacción - Reacción en cadena, flujo, tasa de reacción - Frenado de neutrones sin absorción.

Nivel de la Materia: Nuclear Reactor Physics, E. E. Lewis, Ed. Academic Press (2008)

**FÍSICA DE LAS RADIACIONES**

Ciclo Formativo

Carga horaria: 4 horas por semana en 2 sesiones

Objetivos Generales: Esta materia constituye una introducción a la Física, pero no desde el punto de vista clásico, como generalmente ocurre en este tipo de cursos, sino mas bien desde una óptica pragmática, en el sentido de que se tratarán temas directamente relacionados con la Carrera que siguen los estudiantes que cursarán esta materia. Por tanto, el objetivo general de la materia es el de proporcionar a los estudiantes un conocimiento global de la Física relacionada con su campo de acción.

Contenido Mínimo: Repaso de conceptos de física general - Vibraciones y ondas - Física Moderna: Elementos de Teoría Especial de la Relatividad y Mecánica Cuántica - Introducción a la Física Nuclear y de Partículas - Física de las radiaciones ionizantes - Principios físicos del empleo de las radiaciones en medicina - Elementos de protección radiológica

Nivel de la Materia: The physics of radiology. Johns/Cunningham. Thomas Books, 4ta. Ed. (1983).

**2.1.1.6. TESIS DE GRADO Y POSTGRADO RELACIONADAS CON FÍSICA NUCLEAR REALIZADAS EN LA CARRERA DE FÍSICA - UMSA.**

A lo largo de su historia, la Carrera de Física de la UMSA ha graduado profesionales tanto en pregrado como en postgrado que elaboraron sus tesis en temas

relacionados a Física Nuclear. La lista de estos trabajos es la siguiente:

**TESIS DE LICENCIATURA REFERENTES A LA FÍSICA NUCLEAR (UMSA)**

1. Tec. Sup. Fernando Barrientos. "Moderación y medición del flujo de neutrones". (1980)
2. Dr. Rolando Ticona. "Telescopio Espectrómetro de Neutrones Rápidos (14 MeV)", (1986)
3. M. Sc. Andrés Burgoa. "Baritina como blindaje a neutrones de 14 MeV". (1988)
4. Dr. Americo Salas. "Distribución de dosis acumuladas en un phantom", (1988)
5. M. Sc. Abelardo Alarcón. "Distribución energética de los neutrones en el generador de neutrones", (1990)
6. Lic. Roberto Chavez. "Cálculo de distintas secciones eficaces con el generador de neutrones". (1991)
7. Dr. Marcelo Ramirez. "Efectos y caracterización de las radiaciones en cristalinicos de mamíferos". (1995)
8. Lic. Francisco Sanchez. "Simulación de Montecarlo para la determinación de la dosis absorbida bajo condiciones referenciales de telecobalto terapia". (2009)
9. Lic. Ismael Vilca. "Determinación de ecuaciones empíricas en el haz de radiación gamma del Cobalto - 60 para uso de radioterapia". (2012)
10. Lic. Marco Manriquez. "Aleaciones de bajo punto de fisión como blindaje para radiación gamma". (2012)

**TESIS DE MAESTRÍA REFERENTES A LA FÍSICA NUCLEAR (UMSA)**

1. Carlos Adrián Tellería Narváez. "Aplicación de fluorescencia de rayos-x por reflexión total en la determinación de concentración de oligoelementos en cabello de niños para la estimación de niveles nutricionales". (27/04/2016)

**2.1.1.7. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FÍSICAS (IIF) - UMSA**

En el año de 1952 se creó oficialmente el Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya, dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés, bajo la coordinación del Sr. Ismael Escobar.

El antecedente que permitió la creación oficial de este laboratorio fue la confirmación experimental de la existencia del mesón  $\pi$  y su decaimiento en el muón en las placas de emulsiones nucleares colocadas en el Monte Chacaltaya por los científicos: Prof. Cecil Powel, Dr. Cesar Lattes, Dr. Giuseppe Occhialini de la Universidad de Bristol.

Este descubrimiento hizo acreedor al premio Nobel de Física en 1949 al Prof. H. Yukawa del Japón por haber predicho la existencia de esta partícula responsable de las fuerzas nucleares y al Prof. Cecil Powell al mismo premio en 1950 como cabeza del grupo que logró la confirmación experimental de su existencia.

Desde entonces han pasado por este laboratorio una gran cantidad de científicos de gran renombre. La investigación en rayos cósmicos que se lleva a cabo en el Laboratorio de Chacaltaya ha contribuido grandemente al desarrollo de esta rama de la física en el mundo.

Posteriormente el Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya paso bajo tuición del Instituto de Investigaciones Físicas (IIF) que es una unidad dependiente de la Carrera de Física, FCPN, UMSA y concentra las siguientes actividades de investigación:

- Física de altas energías (Rayos Cósmicos y Física de partículas)
- Física de la Atmósfera
- Geofísica
- Física Teórica
  - Física del Estado Sólido
  - Dinámica No Lineal y Sistemas Complejos
- Física Aplicada
  - Ultrasonido
  - Metalografía
- Física Nuclear

El 2 de Mayo de 2016, el premio Nobel de Física 2015, el Prof. Takaaki Kajita, visito Bolivia y anuncio la propuesta de un nuevo proyecto de rayos cósmicos en altura, entre el Instituto para la Investigación de Rayos Cósmicos (ICRR, por su sigla en Inglés) de la Universidad de Tokio, Japón y el IIF de la UMSA, Bolivia.

#### 2.1.1.8. PUBLICACIONES DEL IIF EN RELACIÓN A LA FÍSICA NUCLEAR

1. R.O.E. Bustos Espinoza, I. Poma Mamani & G.M. Ramírez Ávila. "Material educativo para el fortalecimiento de la cultura nuclear en Bolivia". Revista Boliviana de Física 27, 35-41. (2015).
2. Tellería Narvaez, C.A., Fernández Alcázar, S., Barrientos Zamora, F.G., Chungara Castro, J., Luna Lauracia, I., Mamani Tola, H., Mita Peralta, E., Muñoz Gosálvez, A.O., Romero Bolaños, L.E., & Ramírez Ávila, G.M.. "X-Ray Fluorescence to Determine Zn in Bolivian Children using Hair Samples". Nuclear Data Sheets 120, 258-260. (2014).
3. C.A Tellería Narvaez, S. Fernández Alcázar, F. G. Barrientos Zamora, A. O. Muñoz Gosálvez, L.E. Romero Bolaños, & G.M. Ramírez Ávila. "Aplicación de fluorescencia de raxos x por reflexión total en la determinación de concentración de zinc en cabello de niños para la estimación de niveles nutricionales". Revista Boliviana de Física 24, 1-6. (2014).
4. "Estudio de la Dinamica de Recarga en la Zona no Saturada, Empleando la Tecnica e Isotopos Ambientales". Revista Boliviana de Física. (1999).
5. "Dosimetria Gamma". Revista Boliviana de Física. (1998).
6. G.M. Ramírez Ávila & A. Alarcón. "Caracterización de los efectos de radiaciones x, gamma y neutrónica térmica en soluciones de cristalino". Revista Boliviana de Física 2, 90-97. (1996).
7. "Medición de la Energía de enlace del deuterio". Revista Boliviana de Física. (1995).
8. G.M. Ramírez Ávila & A. Alarcón. "Efectos de las radiaciones x, gamma y neutrónica térmica en soluciones de cristalino y su relación con las variaciones de concentración de proteínas". Memorias de la reunión sobre protección radiológica del Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y Tecnología Nucleares en América Latina (ARCAL), 131-136. (1995).
9. A. Alarcón, G.M. Ramírez Ávila, S. Fernández, C. Iñiguez & V. Ergueta "Resultados del análisis radiométrico realizado en muestras minerales de la empresa FUNESTAÑO". Revista Boliviana de Química 12, 54-58. (1995)
10. G. Garcia, A. Rondon, R. Torrez, S. Chavez, R. Chavez., E. Coronel, J. C. Soria, J. Llaguno. "Estudio e implementación del Monitor de neutrones", CIN-Viacha, (1983)
11. J. A. Bravo. "Espectroscopía de resonancia magnética nuclear aplicada a la química de productos naturales", Revista Boliviana de Física 7, Vol 2, 74. (2001).
12. I. Poma, "Dosimetría Gamma". Revista Boliviana de Física 4, 61. (1998).
13. F. Bejarano. "Alcance de radiación beta de dermoplacas de estroncio y detección de bremsstrahlung", Revista Boliviana de Física 4, 129. (1998).
14. A. Salas, S. Fernandez. "Medición de la energía de enlace del deuterio". Revista Boliviana de Física 1, 128. (1995).

2.1.2. *Carrera de Física, Universidad Mayor de San Simón (UMSS), Cochabamba (Física - UMSS 2018)*

2.1.2.1. ANTECEDENTES CARRERA DE FÍSICA - UMSS (Cochabamba)

La Universidad Mayor de San Simón fue fundada mediante ley de 5 de noviembre de 1832 por el Mariscal Andrés de Santa Cruz. La Misma ley dispuso la creación y funcionamiento de una Academia de Practicantes Juristas, con la que en realidad se inicia la Facultad de Derecho. Entre 1834 y 1835, la UMSS otorga los tres primeros títulos de Doctor en Derecho. El Decreto de 25 de agosto de 1845, promulgado como Ley de 12 de noviembre de 1846, por el que la República es dividida en tres distritos universitarios, se dictó bajo la presidencia del Gral. José Ballivián; en consecuencia, a Cochabamba le correspondió atender el distrito de Santa Cruz de la Sierra. En 1863 se funda la Facultad de Medicina, que tendrá vigencia hasta el año 1872; sin embargo, vuelve a funcionar por una Orden Suprema del Dr. Aniceto Arce de 4 de febrero de 1892. La Facultad de Derecho y la Facultad de Medicina fueron las primeras unidades académicas con las que comenzó a funcionar la Universidad Mayor de San Simón. Las universidades españolas sirvieron de modelo e influyeron directamente en la organización de la Universidad Colonial de Nuevo Mundo, de modo particular en las del Alto Perú. Sin embargo, pese a los moldes feudales en los que se desenvolvía la vida intelectual de las universidades, en ellas germinaron las ideas libertarias de la República.

Al influjo del pensamiento reformista de Córdoba. Plasmada en el "Manifiesto Liminar de la Juventud Argentina", publicado el 21 de julio de 1918 en la "Gaceta Universitaria" de la Universidad de San Carlos, la efervescencia de las luchas autonomistas adquirieron una dimensión continental. En Bolivia -en base al referéndum del 11 de enero de 1931, convocado por el gobierno del Gral. Carlos Blanco Galindo- lograron materializarse en el Decreto Ley de 23 de febrero de 1931, por el que se sancionó la incorporación de la Autonomía Universitaria a la Constitución Política del Estado.

Pero no es suficiente la autonomía legal -decía Dr. Arturo Urquidí Morales-, también hace falta la "Autonomía espiritual, como atributo o fuerza moral capaz de hacerla indemne a todas las acechanzas y de convertirla en el baluarte inexpugnable de la cultura científica, sin cortapisas, y de las aspiraciones más puras por la independencia nacional". La estructura universitaria respondía a esquemas feudales, totalmente desconectados de la realidad socio-cultural del país, y 1930 significó para la UMSS el inicio de un segundo período histórico. Desde entonces se han verificado cambios significativos, que la convirtieron en una institución social capaz de responder a las necesidades de la región.

En 1985, una comisión del Departamento de Física demuestra la factibilidad de la creación en la Universidad Mayor de San Simón, la necesidad e la creación de la Carrera de Física mediante nota di-

rigida al Rector Dr. Jorge Trigo Andia en la gestión del entonces Decano de la Facultad de Ciencias y Tecnología, Ing. Armando de la Parra (DEC - 492/85) y Resolución de Consejo Facultativo 010/85.

En febrero de 1987 mediante nota al entonces Jefe del Departamento de Física, Lic. Remberto Portugal P., (DEC - 051/87) se autoriza la apertura de Kardex para estudiantes postulantes a la Carrera de Licenciatura en Física.

El 3 de julio de 1992, mediante resolución rectoral (R.R. 487/92) se autoriza la creación de la Carrera de Física, a nivel de Profesorado y Licenciatura en Física dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la UMSS, de acuerdo a los objetivos, a la estructura curricular y contenidos aprobados por el Comité Académico mediante Acuerdo no. 38/92 de 28 de mayo de 1992, firmada por el entonces rector Dr. Tonchy Marinkovic Uzqueda.

El 9 de julio de 1992, el consejo universitario ratifica en todos los términos la resolución rectoral (R.R. 487/92), autorizando la creación de la Carrera de Física mediante resolución R.C.U. No. 54/92 y siendo el primer Director de la Carrera el Lic. Hugo Siles.

El 15 de febrero de 2000 mediante Resolución de Consejo de Carrera HCCFIS 01/2000, se solicita el cambio de nombre de la Carrera de Profesorado en Física a Licenciatura en Didáctica de la Física.

El 23 de junio de 2000 se firma el acuerdo CA-HCU-12/00, aprobando los diseños curriculares de los sesenta y dos Programas de Formación de Pre-Grado de la Facultad de Ciencias y Tecnología, entre ellos; Licenciatura en Física y Licenciatura en Didáctica de la Física.

El 30 de junio de 2000 mediante resolución rectoral ad referéndum R.R. No 336/00, se avala el acuerdo CA-HCU, 12/00 del 23 de junio del 2000.

El 10 de octubre de 2001, mediante resolución del consejo facultativo RCF No 100/2001 se da por bien hecha la resolución del Consejo de la Carrera de Física No 3/2001 de 15 de agosto de 2001, que aprueba el plan de estudios de la Carrera de Licenciatura en Didáctica de la Física.

2.1.2.2. PERFIL PROFESIONAL

El Licenciado en Física:

- Adquiere conocimientos teóricos que le permitirán desarrollar investigaciones de su especialidad.
- Su formación teórico-práctica le permitirán incorporarse en trabajos multidisciplinarios y también en la enseñanza universitaria pre-gradual.

2.1.2.3. MERCADO DE TRABAJO

- Actividades propias de la enseñanza en general
- Tareas básicas de Investigación en las - Universidades, Industrias y la Metalurgia
- Investigación en equipos multidisciplinarios en los programas de Energías Alternativas y/o Ecología.



- Actividades de control y calibración en los centros radiológicos

#### 2.1.2.4. OBJETIVOS

Los estudiantes a la conclusión de sus estudios deberán:

a) Poseer los suficientes recursos teóricos, pedagógicos y metodológicos que lo habiliten para la enseñanza universitaria y media de la Física.

b) Poseer los conocimientos teóricos y prácticos que le permiten participar en la búsqueda de fundamentación científica y respuestas a la problemática del desarrollo tecnológico.

c) Poseer los suficientes recursos teóricos y metodológicos que lo habiliten para participar en investigaciones de su especialidad.

d) Integrar su capacidad profesional en conductas coherentes de compromiso social frente a los desafíos de la realidad contemporánea.

#### 2.1.2.5. MATERIAS RELACIONADAS CON LA FÍSICA NUCLEAR

- FÍSICA TEORICA II
- FÍSICA TEORICA III
- ELECTRONICA
- MECANICA CUANTICA I
- ENERGIAS ALTERNATIVAS
- INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA NUCLEAR
- FÍSICA MÉDICA
- FÍSICA ATÓMICA Y MOLECULAR

#### FÍSICA TEORICA II

##### UNIDAD 1: ANÁLISIS VECTORIAL

Contenidos mínimos: 1.1 Flujo de un campo vectorial. 1.2. El operador divergencia. 1.3. Teorema de la divergencia. 1.4. Expresión de la divergencia en coordenadas cartesianas. 1.5. Circulación de un campo vectorial. 1.6. El operador rotacional. 1.7. Teorema de Stokes. 1.8. Expresión del rotacional en coordenadas cartesianas. 1.9. El operador Laplaciano.

##### UNIDAD 2: INTERACCIÓN COULOMBIANA

Contenidos mínimos: 2.1. Ley de Coulomb. Fuerza electrostática. 2.2. Campo eléctrico y líneas de campo. Principio de superposición para distribuciones discretas y continuas de carga. Aplicaciones. Ecuación de Hartree. 2.3. Flujo de un campo eléctrico vectorial y Ley de Gauss. 2.4. Aplicaciones de la Ley de Gauss al cálculo de campos eléctricos generadas por distribuciones de carga de alta simetría. Conductores y aislantes. El Dipolo Eléctrico. 2.5. Potencial eléctrico y diferencia de potencial. La fuerza eléctrica es conservativa. Desarrollo del potencial de un Dipolo. 2.6. Relación entre el campo y el potencial electrostático. Principio de superposición del potencial. Energía potencial de un sistema de cargas. 2.7. Superficies equipotenciales. Cálculo del potencial para distribuciones continuas de carga. Desarrollo multipolar de una distribución de carga. 2.8.

Campo y potencial de conductores en equilibrio electrostático.

##### UNIDAD 3: INTERACCIÓN DEL CAMPO ELÉCTRICO CON LA MATERIA

Contenidos mínimos: 3.1. Medios dieléctricos. 3.2. Dipolo eléctrico en un campo eléctrico. Descripción atómica de los dieléctricos. 3.3. Polarización y el vector de Polarización  $P$ . Densidades de Polarización. 3.4 Forma diferencial de la Ley de Gauss. Ley de Gauss en un medio Dieléctrico. 3.5. El Desplazamiento. 3.6. Medios lineales: Susceptibilidad eléctrica y Constante Dieléctrica

##### UNIDAD 4: CORRIENTE ELÉCTRICA

Contenidos mínimos: 4.1. Corriente eléctrica e Intensidad eléctrica. 4.2. Densidad de corriente. 4.3. Ecuación de continuidad. 4.4. Ley de Ohm. 4.5. Conductividad de un medio. 4.6. Resistencia eléctrica de un circuito. 4.7. Fenómenos disipativos en una teoría de fuerzas conservativas.

##### UNIDAD 5: INTERACCIÓN MAGNETOSTÁTICA: CAMPO MAGNÉTICO EN EL VACÍO

Contenidos mínimos: 5.1. Definición operacional de Campo Magnético. Ley de Biot y Savart. 5.2. Fuerza experimentada por un elemento de corriente en un campo magnético. 5.3. Forma diferencial de la ley de Biot y Savart. Ley de Ampere. 5.4. Energía de una espira en un campo magnético. 5.5. Forma general de la Ley de Ampere. Corriente de desplazamiento.

##### UNIDAD 6: CAMPOS MAGNÉTICOS EN LA MATERIA

Contenidos mínimos: 6.1. Magnetización e Intensidad magnética. Susceptibilidad magnética y permeabilidad magnética. 6.2. El dipolo magnético. El spin. 6.3. Ferromagnetismo. Dominios magnéticos. Histéresis. 6.4. Diamagnetismo. 6.5. Paramagnetismo. Constante de Curie. 6.6. Aplicaciones. Resonancia Nuclear magnética (NMR)

##### UNIDAD 7: INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Contenidos mínimos: 7.1. Ley de inducción de Faraday. 7.2. Fuerza electromotriz en movimiento. 7.3. Ley de Lenz. 7.4. FEM inducida y campos eléctricos. Las corrientes de desplazamiento. 7.5. Energía magnética y densidad de energía.

##### UNIDAD 8: ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Contenidos mínimos: 8.1. Ecuaciones de Maxwell. 8.2. Ondas electromagnéticas planas. 8.3. Energía y potencia transportada por ondas electromagnéticas. 8.4. Intensidad de las ondas. 8.5. Momentum de las ondas electromagnéticas. 8.6. Presión de radiación. 8.7. Espectro de ondas electromagnéticas.

##### FÍSICA TEORICA III

##### UNIDAD 1: FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO

Contenidos mínimos: 1.1. Ecuaciones de Maxwell en el vacío. 1.2. Fuentes del Campo Electromagnético. 1.3. Distribuciones singulares de carga y corriente. 1.4. Clasificación de las fuentes del campo electromagnético. 1.5. Ecuaciones de Maxwell en Medios Continuos. 1.6. Condiciones de frontera.

1.7. Ecuaciones de Maxwell en medios lineales. 1.8. Potenciales electromagnéticos. 1.9. Formulación del electromagnetismo en función de los potenciales. 1.10. Transformación de los potenciales.

#### UNIDAD 2: TEOREMAS DE CONSERVACIÓN

Contenidos mínimos: 2.1. Energía Electromagnética. 2.2. Teorema de Poynting. 2.3. Unicidad de la solución de las ecuaciones de Maxwell. 2.4. El Momento del campo Electromagnético. Tensor de Maxwell. 2.5. Fuerzas sobre medios materiales. 2.6. Momento angular electromagnético.

#### UNIDAD 3: ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Contenidos mínimos: 3.1. Ecuaciones de onda en medios homogéneos, lineales e isotrópicos. 3.2. Ondas planas en medios no dispersivos. 3.3. Ondas monocromáticas. 3.4. Polarización de las ondas. 3.5. Ondas planas en medios dispersivos. 3.6. Velocidad de grupo.

#### UNIDAD 4: RADIACIÓN

Contenidos mínimos: 4.1. Potenciales retardados. 4.2. Campos de radiación. Dipolo Eléctrico radiante. Desarrollo multipolar de la radiación. 4.3. Energía y momento angular radiados por multipolos. 4.4. Campos de cargas en movimiento. Los potenciales vector de Liénard - Wiechert. 4.5. Campos derivados del potencial: Campos de velocidad y Campos de aceleración. 4.6. Radiación de una carga acelerada. Radiación a baja velocidad. Radiación de frenado. Radiación a alta velocidad. Radiación de Cherenkov. Aceleradores lineales.

#### UNIDAD 5: FORMULACIÓN COVARIANTE DE LA MECÁNICA

Contenidos mínimos: 5.1. Elementos de la Teoría Especial de la Relatividad: Invariancia de Galileo versus Invariancia de Lorentz. 5.2. Postulados de Einstein, Transformaciones de Lorentz. 5.3. Transformación de velocidades. 5.4. Línea de universo y tiempo propio, Espacio de Minkowski. 5.5. Cuadrivectores: Cuadrivelocidad y Cuadriaceleración. 5.6. Fuerza de Minkowski. Momento relativista. Cuadrimomento. 5.7. Conservación de la energía y del momento. Equivalencia de masa y energía.

#### UNIDAD 6: FORMULACIÓN COVARIANTE DE LA ELECTRODINÁMICA

Contenidos mínimos: 6.1. Invariancia de gauge: Gauges de Lorentz y de Coulomb. 6.2. Cuadrivector de densidad de Corriente. Ecuación de Continuidad. 6.3. Cuadripotencial. 6.4. Tensor Electromagnético. 6.5. Ecuaciones de Maxwell en forma Covariante. 6.6. Transformación de los campos eléctricos y magnéticos.

#### ELECTRONICA

##### UNIDAD 1: SISTEMAS DE NUMERACIÓN

1.1 Sistemas de numeración: Binario, octal, decimal, hexadecimal. 1.2 Conversión entre sistemas de numeración. 1.3 Operaciones aritméticas en el sistema binario: Adición, sustracción y multiplicación. 1.4 Representación de números negativos.

##### UNIDAD 2: FUNCIONES LÓGICAS - PUERTAS LÓGICAS

2.1 Funciones AND, OR, NOT, NAND, NOR, OR EXCLUSIVO, NOR EXCLUSIVO. 2.2 Tablas de Verdad. 2.3 Circuitos.

##### UNIDAD 3: ALGEBRA DE BOOLE

3.1 Postulados. 3.2 Propiedades. 3.3 Identidades. 3.4 Teoremas de De Morgan. 3.5 Identidades auxiliares. 3.6 Expresiones y circuitos a partir de Tablas de Verdad. 3.7 Circuitos OR y NOR EXCLUSIVO para más de dos variables.

##### UNIDAD 4: SIMPLIFICACIÓN DE CIRCUITOS LÓGICOS

4.1 Simplificación de expresiones booleanas. 4.2 Simplificación de circuitos con Diagramas de Veitch - Karnaugh para dos, tres y cuatro variables. 4.3 Otros métodos de simplificación.

##### UNIDAD 5: LÓGICA COMBINACIONAL CON CIRCUITOS INTEGRADOS

5.1 Codificadores y decodificadores. 5.2 Display de 7 segmentos. 5.3 Circuitos aritméticos: Sumador medio, sumador completo, sustractor medio y sustractor completo.

##### UNIDAD 6: LÓGICA SECUENCIAL, FLIP FLOP

6.1 Flip Flop RS básico. 6.2 Flip Flop JK. 6.3 Flip Flop tipo D. 6.4 Flip Flop tipo T. 6.5 Tablas de verdad. 6.6 Ecuaciones características de los Flip Flop.

##### UNIDAD 7: CONTADORES

7.1 Contadores asíncronos. 7.2 Contadores síncronos. Contadores ascendentes y descendentes.

##### UNIDAD 8: MULTIVIBRADORES

8.1 Circuitos temporizadores. 8.2 El temporizador 555. 8.3 Funcionamiento como estable y monoestable. 8.4 Circuitos de aplicación.

##### UNIDAD 9: INTRODUCCION A LOS MICROCONTROLADORES

9.1 Concepto de microcontrolador y microprocesador. 9.2 Arquitectura Harvard y Von Neumann. 9.3 Familias de microcontroladores. 9.4 Diagrama de bloques y configuración externa. 9.5 Recursos comunes a los microcontroladores (Unidad Central de Proceso, Memoria, Interfaces de entrada/salida). 9.6 Los registros internos del microcontrolador. 9.7 Módulos internos de un microcontrolador.

##### UNIDAD 10: PROGRAMACIÓN Y JUEGO DE INSTRUCCIONES EN ENSAMBLADOR Y LENGUAJES DE ALTO NIVEL. APLICACIONES

10.1 Juego de Instrucciones. Metodología de programación. Estructura de programa. 10.2 Subrutinas. Gestión de interrupciones. 10.3 El ensamblador de los PIC de la Gama Media. Formato de las instrucciones. 10.4 Modos de direccionamiento. El juego de instrucciones. 10.5 Directivas del ensamblador y macros. 10.6 El programa ensamblador MPASM. 10.7 Estructura de un programa en C estándar. 10.8 Funciones más importantes. 10.9 Subrutinas. Gestión de interrupciones. 10.10 Aplicaciones.

##### MECANICA CUANTICA I

##### UNIDAD 1: INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA CUÁNTICA

Contenidos mínimos: 1.1 Problema de la radiación del cuerpo negro. 1.2 Efecto fotoeléctrico. 1.3 Efecto Compton. 1.4 Espectro atómico - Modelo de Bohr

**UNIDAD 2: PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA**

Contenidos mínimos: 2.1 Análisis del experimento de las ranuras de Young. 2.2 Dualidad onda-partícula. 2.3 Principio de descomposición espectral

**UNIDAD 3: FORMALISMO MATEMÁTICO DE LA MECÁNICA CUÁNTICA**

Contenidos mínimos: 3.1 Espacio de funciones de onda. 3.2 Espacio de estados y notación de Dirac. 3.3 Operadores lineales. 3.4 Conjugación hermítica. 3.4 Bases ortonormales y representaciones  $r$  y  $p$ . 3.5 Observables - observables  $R$  y  $P$ . 3.6 Conjunto de Observables que Conmutan Completo (C.O.C.C.) -  $X, Y, Z$  y  $P_x, P_y, P_z$

**UNIDAD 4: POSTULADOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA**

Contenidos mínimos: 4.1 Primer postulado: Descripción del estado de un sistema. 4.2 Segundo postulado: Descripción de una magnitud física. 4.3 Tercer postulado: Medida de una magnitud física - resultados posibles. 4.4 Cuarto postulado: Medida de una magnitud física - principio de descomposición espectral. 4.5 Quinto postulado: Medida de una magnitud física - colapso de la función de onda. 4.6 Sexto postulado: Evolución temporal del estado de un sistema - ecuación de Schrodinger

**UNIDAD 5: INTERPRETACIÓN FÍSICA DE LOS POSTULADOS**

Contenidos mínimos: 5.1 Reglas de cuantificación. 5.2 Interpretación de la función de onda. 5.3 Cuantificación de las medidas de ciertas magnitudes. 5.4 Valor medio de una observable - relaciones de incertidumbre de Heisenberg. 5.5 Compatibilidad y conmutabilidad de observables. 5.6 Propiedades de la ecuación de Schrodinger. 5.7 Sistemas conservativos

**UNIDAD 6: DESCRIPCIÓN CUÁNTICA DE UNA PARTÍCULA LIBRE Y UNA PARTÍCULA SOMETIDA A UN POTENCIAL CONSTANTE**

Contenidos mínimos: 6.1 Partícula libre. 6.2 Paquete de ondas. 6.3 Evolución temporal de un paquete de ondas. 6.4 Partícula sometida a un potencial escalón. 6.5 Partícula sometida a una barrera de potencial - efecto túnel. 6.6 Partícula sometida a un pozo de potencial - pozo de potencial infinito

**UNIDAD 7: OSCILADOR ARMÓNICO EN UNA DIMENSIÓN**

Contenidos mínimos: 7.1 Oscilador armónico clásico. 7.2 Hamiltoniano cuántico del oscilador armónico. 7.3 Determinación del espectro del oscilador armónico. 7.4 Representación  $\{\Phi_n\}$ . 7.5 Valores medios y desviación cuadráticos de  $X$  y  $P$ . 7.6 Propiedades del estado fundamental.

**ENERGIAS ALTERNATIVAS****UNIDAD 1: ENERGÍA, RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**

Contenidos mínimos: 1.1 Clasificación de energía según la fuente 1.2 Introducción a las energías renovables 1.3 Energía y desarrollo en América Latina 1.4 Energía en Bolivia 1.5 Agenda 21, Huella Ecológica, Comercio de Emisiones, Protocolo de Kyoto

**UNIDAD 2: ENERGIA SOLAR**

Contenidos mínimos: 2.1 Fundamentos de la energía solar 2.2 Energía solar térmica 2.3 Sistemas de captación solar 2.4 Energía solar fotovoltaica 2.5 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica 2.6 La energía solar termoeléctrica 2.7 Impacto medioambiental de la energía solar

**UNIDAD 3: ENERGIA HIDRAULICA**

Contenidos mínimos: 3.1 Fundamentos de la energía hidráulica 3.2 El recurso hidráulico y su potencial 3.3 La obra civil en la instalaciones hidráulicas 3.4 Análisis de impacto ambiental

**UNIDAD 4: ENERGIA EOLICA**

Contenidos mínimos: 4.1 Conceptos de meteorología en energía eólica 4.2 Aprovechamiento del viento. El potencial eólico 4.3 Energía eólica y medioambiente

**UNIDAD 5: BIOMASA Y BIOCMBUSTIBLES**

Contenidos mínimos: 5.1 Conceptos generales 5.2 Biomasa residual seca 5.3 Biocarburantes 5.4 Biomasa residual húmeda

**UNIDAD 6: NUEVAS TECNOLOGIAS EN ENERGIAS RENOVABLES**

Contenidos mínimos: 6.1 Descripción, aplicación y desventajas de nuevas tecnologías

**INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA NUCLEAR****UNIDAD 1.- ESTRUCTURA NUCLEAR**

Contenido Mínimo: 1.1 Núcleo Atómico. 1.2 Nucleones y carta de núclidos. 1.3 Isótopos, isótonos e isóbaros. 1.4 Propiedades del núcleo: tamaño, masa, carga eléctrica y espín nuclear. 1.5 Sistema de dos nucleones, deuterón. 1.6 Energía de ligadura. 1.7 Fuerza nuclear.

**UNIDAD 2.- MODELOS NUCLEARES**

Contenido Mínimo: 2.1 Modelo de la gota líquida. 2.2 Fórmula semiempírica de masas. 2.3 Estabilidad de isóbaros. 2.4 Modelo del gas de Fermi. 2.5 Modelo de capas. 2.6 Números mágicos. 2.7 Interacción espín-órbita. 2.8 Modelo colectivo. 2.9 Transiciones radiactivas.

**UNIDAD 3.- PROCESOS NUCLEARES**

Contenido Mínimo: 3.1 Desintegración radioactiva y constante de desintegración. 3.2 Actividad. 3.3 Equilibrio secular. 3.4 Familias transuránicas. 3.5 Emisión alfa. 3.6 Emisión beta. 3.7 Emisión gamma. 3.8 Reacciones Nucleares. 3.9 Sistema centro de masa y energía umbral. 3.10 Fisión y fusión nuclear.

**UNIDAD 4.- PASO DE LA RADIACIÓN POR LA MATERIA**

Contenido Mínimo: 4.1 Sección eficaz. 4.2 Pérdida de energía y poder de frenado. 4.3 Interacción de la radiación con la materia. 4.4 Coeficiente de absorción. 4.5 Dispersión coherente. 4.6 Efecto fotoeléctrico. 4.7 Efecto Compton. 4.8 Sección eficaz de Klein-Nishina. 4.9 Creación y aniquilación del par electrón-positrón. 4.10 Física del neutrón. 4.11 Sección eficaz de captura neutrónica.

**UNIDAD 5.- MÉTODOS EXPERIMENTALES**

Contenido Mínimo: 5.1 Propiedades de la radiación ionizante. 5.2 Detectores de radiación: cámara de ionización. 5.3 Contador proporcional. 5.4 Contador

G-M. 5.5 Contador de centelleo y de estado sólido. 5.6 Espectrómetro de partículas. 5.7 Aceleradores de partículas. 5.8 Física de reactores.

#### UNIDAD 6.- PARTÍCULAS FUNDAMENTALES

Contenido Mínimo: 6.1 Partículas y antipartículas. 6.2 Inestabilidad de las partículas fundamentales. 6.3 Interacciones y leyes de conservación, invariancia y simetría. 6.4 Carga leptónica y carga bariónica. 6.5. Isospín y extrañeza - Hadrones. 6.6 Interacción débil e interacción fuerte.

#### FISICA MÉDICA

#### UNIDAD 1.- MATERIA Y TRANSFORMACION NUCLEAR

1.1 El átomo. 1.2 Núcleo atómico. 1.3 Radiactividad, Actividad y Vida media. 1.4 Decaimiento alfa, beta, captura electrónica y gama. 1.5 Reacciones nucleares. 1.6 Fisión. 1.7 Fusión.

#### UNIDAD 2.- RAYOS X

2.1 Tubo de rayos X. 2.2 Bremsstrahlung. 2.3 Rayos X característicos. 2.4 Unidades de Kilovoltaje. 2.5 Ortovoltaje y Megavoltaje. 2.6 Terapia superficial. 2.7 Acelerador lineal. 2.8 Betatrón. 2.9 Ciclotrón. 2.10 Unidad de Cobalto 60

#### UNIDAD 3.- INTERACCION DE LA RADIACION CON LA MATERIA

3.1 Ionización. 3.2 Coeficiente de atenuación. 3.3 Interacción de la radiación con la materia. 3.4 Dispersión coherente. 3.5 Efecto fotoeléctrico. 3.6 Efecto Compton. 3.7 Producción de pares. 3.8 Interacción de partículas cargadas con la materia. 3.9 Medición de la radiación ionizante. 3.10 Cámara de ionización. 3.11 Cámara Farmer - Electrómetro.

#### UNIDAD 4.- MEDICION DE DOSIS ABSORBIDA

4.1 Exposición. 4.2 Kerma. 4.3 Dosis absorbida. 4.4 Dosis absorbida en aire. 4.5 Dosis absorbida en cualquier medio. 4.6 Teoría de la cavidad de Bragg - Gray. 4.7 Stopping power. 4.8 Cámara cilíndrica y plano paralela. 4.9 Transferencia de dosis absorbida. 4.10 Disimetría de película.

#### UNIDAD 5.- BASES FISICAS DE LA RADIOTERAPIA

5.1 Modalidades de Radioterapia. 5.2 Energía de la radiación en radioterapia externa. 5.3 Técnicas de tratamiento: SSD y SAD. 5.4 Disimetría Física. 5.5 Curvas de dosis en profundidad. 5.6 Curvas de isodosis. 5.7 Disimetría clínica. 5.8 Radioterapia superficial. 5.9 Gammaterapia. 5.10 Electroterapia. 5.11 Braquiterapia intersticial y endocavitaria. 5.12 Radioterapia metabólica.

#### UNIDAD 6.- PROTECCION RADIOLOGICA

6.1 Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. 6.2 Radioisótopos naturales y artificiales. 6.3 Dosis equivalente. 6.4 Dosis efectiva. 6.5 Límites de dosis efectiva ocupacional y público. 6.6 Cálculo de blindaje. 6.7 Normas generales de protección radiológica.

#### FISICA ATOMICA Y MOLECULAR

#### UNIDAD 1: LA MASA Y EL TAMANO DEL ATOMO

Contenidos mínimos: 1.1 Núcleo atómico 1.2 Determinación de la masa 1.3 Métodos de determinación del número de Avogrado 1.4 Determinación

del tamaño del átomo 1.5 Problemas referidos al temario

#### UNIDAD 2: EL ELECTRON

Contenidos mínimos: 2.1 Producción de electrones libres 2.2 Tamaño del electrón 2.3 La carga del electrón 2.4 La carga específica e/m del electrón 2.5 El carácter ondulatorio del electrón y otras partículas 2.6 Interferometría con átomos.- Problemas

#### UNIDAD 3: EL MODELO DE BOHR DEL ATOMO DE HIDROGENO.

Contenidos mínimos: 3.1 Principios básicos de espectroscopia 3.2 El espectro óptico del átomo de hidrógeno 3.3 Postulados de Bohr.- Movimiento del núcleo 3.4 Espectro de átomos hidrogenoides 3.5 Excitación de los saltos cuánticos por colisiones. 3.6 Extensión de Sommerfeld del modelo de Bohr y la justificación experimental del segundo número cuántico 3.7 Eliminación de la degeneración orbital por el cambio de masa relativista 3.8 Límites de la teoría de Bohr-Sommerfeld 3.9 El principio de correspondencia.- átomos de Rydberg.- Positronio.- Muonio, y antihidrogeno.- Problemas.

#### UNIDAD 4: ELIMINACIÓN DE LA DEGENERACIÓN ORBITAL EN EL ESPECTRO DE ATOMOS ALCALINOS.

Contenidos mínimos: 4.1 Física del neutrón y sección eficaz de captura neutrónica Estructura de capa. 4.2 Apantallamiento, el diagrama de Grotrian 4.3 Capa cerrada.- Problemas.

#### UNIDAD 5: MAGNETISMO ORBITAL Y DE SPIN (ESTRUCTURA FINA)

Contenidos mínimos: 5.1 Momento magnético del movimiento orbital. 5.2 Presesión y orientación en un campo magnético. 5.3 Spin y momento magnético del electrón 5.4 Determinación del radio giro magnético por el método de Einstein-Hass. 5.5 Detección de la cuantización direccional por Stern y Gerlach. 5.6 Estructura fina y acoplamiento Spin-Orbita. 5.7 Cálculo del desdoblamiento Spin-Orbita en el modelo de Bohr. 5.8 Esquema de nivel de los átomos alcalinos. 5.9 Estructura fina en el átomo de hidrógeno.- Problemas.

#### UNIDAD 6: ATOMOS EN UN CAMPO MAGNETICO

Contenidos mínimos: 6.1 Teoría cuántica del efecto Zeeman ordinario. 6.2 Tratamiento teórico cuántico del Spin del electrón y el protón. 6.3 Tratamiento mecánico cuántico del efecto Zeeman anómalo con acoplamiento Spin-Orbita. 6.4 Teoría cuántica de un Spin en campos magnéticos mutuamente perpendiculares, uno constante y uno dependiente del tiempo. 6.5 Las ecuaciones de Bloch.- teoría relativista del electrón. La ecuación de Dirac.- Problemas.

#### UNIDAD 7: ATOMOS EN UN CAMPO ELECTRICO

Contenidos mínimos: 7.1 Observación del efecto Stark. 7.2 Teoría cuántica de los efectos Stark lineal y cuadrático. 7.3 Interacción de un átomo de dos niveles con un campo de radiación coherente.- Problemas.

**UNIDAD 8: LEYES GENERALES DE LAS TRANSICIONES OPTICAS**

Contenidos mínimos: 8.1 Simetrías y reglas de selección. 8.2 Anchos de línea y formas de línea. 8.3 Transiciones ópticas.

**UNIDAD 9: ATOMOS MULTIELECTRONICOS**

Contenidos mínimos: 9.1 Espectro del átomo de Helio. 9.2 Repulsión de electrones y el principio de Pauli. 9.3 Acoplamiento del momento angular. 9.4 Momento magnético de átomos multielectrónicos. 9.5 Excitaciones múltiples.- Problemas.

**UNIDAD 10: UNA INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LAS MOLECULAS**

Contenidos mínimos: 10.1 La aproximación de Born-Oppenheimer. 10.2 La teoría de orbital molecular.- teoría de orbital molecular para moléculas poli atómicas. 10.3 La teoría de Bandas de los sólidos.- Cálculo de la estructura electrónica. 10.4 El método auto consistente de Hartree-Fock. 10.5 Correlación del electrón, teoría de perturbación de muchos cuerpos de Moller-Plesset. 10.6 Rotaciones y vibraciones moleculares transiciones electrónicas moleculares propiedades eléctricas de las moléculas. 10.7 Propiedades magnéticas de las moléculas.- Problemas.

**2.1.2.6. TESIS DE GRADO RELACIONADAS CON FÍSICA NUCLEAR REALIZADAS EN LA CARRERA DE FÍSICA - UMSS**

1. Monitoreo de Radioactividad Ambiental a gran altura, Terrazas. Vargas, Juan Carlos (2006).

2. Cálculo numérico de la energía total del estado Fundamental para sistemas atómicos, Flores Flores, Freddy (2008).

3. La radiación del cuerpo negro en la mecánica estadística no extensiva - Análisis comparativo, Andrade Uzieda, Marko (2009).

4. Análisis por fluorescencia de rayos X, Revollo Zurita, Henry (2012).

**2.1.2.7. PUBLICACIONES EN LA CARRERA DE FÍSICA - UMSS EN RELACIÓN A LA FÍSICA NUCLEAR**

1. Coeficiente de extinción de radiación eritémica en la columna de agua en lagunas de alta montaña del Tunari. Moreira R., Castellón E., Lucano M., Fuentes I. Revista COPERNICO, Departamento de Física, UMSS (2012).

2.1.3. *Carrera de Física, Universidad Autónoma Tomás Frías (UATF), Potosí (Física - UATF 2018)*

**2.1.3.1. ANTECEDENTES Carrera de Física - UATF (Potosí)****1. FUNDACION DE LA UATF**

El funcionamiento de la Facultad Libre de Derecho a partir del año de 1876, subordinada al Cancelariato de Chuquisaca, es el primer antecedente para el nacimiento de la UATF. Oficialmente la Universidad Potosina nace por Ley de 15 de Octubre de 1892,

**2. AUTONOMÍA**

Mediante Decreto - Ley de 8 de octubre de 1937 se reconoce la autonomía al distrito universitario de Potosí, siendo el primer Rector Autonomista el Dr. Alberto Saavedra Nogales.

**3. PRINCIPIOS**

Art. 1. La Universidad Autónoma "Tomás Frías" recuperada su condición de Universidad Nacional, Científica, Democrática y Popular, es una institución de derecho público que se desenvuelve jurídicamente, conforme a las normas del presente Estatuto al amparo de la Autonomía Universitaria proclamada por la Constitución Política del Estado y demás leyes concordantes.

Art. 2. La Autonomía Universitaria conquista histórica y revolucionaria de nuestro pueblo, consiste en la amplia e irrestricta práctica orgánica e institucional de los siguientes principios fundamentales: autarquía económica y administrativa, autonomía académica, cogobierno paritario docente estudiantil, democracia interna, pluralismo ideológico, libertad de cátedra y efectiva democratización de la educación superior.

La Universidad Autónoma "Tomás Frías" en ejercicio de su autonomía, es parte integrante de la Universidad Boliviana, la que coordinará sus fines y funciones mediante el Estatuto Orgánico de la Universidad Boliviana.

Art. 3. La autarquía económica y administrativa, consiste en la libre percepción y disposición de los recursos económicos y financieros de la Universidad, así como el legítimo nombramiento de sus autoridades y personal administrativo con sujeción a las normas establecidas por los reglamentos correspondientes, sin intromisión ni interferencia de ninguna fuerza extrauniversitaria.

Art. 4. La autonomía académica consiste en la aprobación y la ejecución independiente de planes, programas y demás instrumentos pedagógicos de todas las Facultades, Carreras y establecimientos universitarios, a la sola condición de que respondan a los adelantos científicos y tecnológicos, una la teoría con la práctica y la ciencia con el trabajo y la producción, contribuyan a la formación de una conciencia social crítica y revolucionaria de la juventud, interpretando los altos ideales emancipatorios de nuestro pueblo, así como los intereses locales y nacionales y promuevan el desarrollo socio-económico y cultural soberano del país.

Art. 5. La autonomía académica consiste, además en la provisión de catedráticos idóneos que respondan a tales requerimientos y sean designados inexcusablemente mediante procedimientos de Concurso de Méritos y Examen de Competencia y en su caso de Oposición.

Art. 6. El cogobierno paritario docente-estudiantil, conquista democrática de los Universitarios, es la base del desenvolvimiento institucional de la Universidad, que consiste no solamente en la cogestión gubernamental responsable, solidaria y mancomunada; sino también en la cogestión administrativa a través de delegados estudiantiles democráticamente elegidos para dicho fin.

Art. 7. La democracia universitaria consiste en el deber y el derecho de elegir y ser elegido mediante voto secreto, directo y universal, para los distintos roles de mando y poder universitarios y la Facul-

tad de pedir destitución de quienes no respondan al mandato conferido o traicionen los altos fines y principios de la Universidad. También debe entenderse como el sometimiento de las minorías a las mayorías, a fin de garantizar la unidad universitaria.

Art. 8. El pluralismo ideológico y la libertad de cátedra, consisten en mantener el principio de la universalidad universitaria, que posibilite el libre juego de todas las ideas vigentes en nuestro tiempo, a sola condición de que no vulneren los fines y principios antes mencionados, permitiendo igualmente el ejercicio de la cátedra paralela para fomentar la superación de la enseñanza y acrecentar el juicio crítico y científico en el seno de la Universidad.

Art. 9. La democratización de la Educación Superior, finalmente, consiste en la difusión de la cultura y la formación universitaria, llevándola hacia el seno de las masas populares, obreras y campesinas, a través de adecuadas unidades educativas y servicios de extensión que no exijan otro requisito que el de su capacidad receptiva y experiencia práctica al margen de toda forma de discriminación.

#### 4. FINES Y OBJETIVOS.

Art. 10. La Universidad Autónoma "Tomás Frías", en su que hacer científico y cultural, se identifica con los intereses de los sectores populares integrándose a ellos en la lucha por la liberación nacional.

Art. 11. Forma profesionales idóneos con conciencia crítica y creativa de acuerdo a las necesidades del desarrollo soberano e independencia del país.

Art. 12. Su actividad está orientada a la formación científica, tecnológica, cultural y social de la población en todas sus clases sociales. Su misión por consiguiente es el cultivo, enseñanza, investigación y difusión de la ciencia y la técnica, las artes y las letras.

Art. 13. Profundiza la popularización y amplia democratización de la enseñanza, por la libre admisión de obreros y campesinos en sus aulas, sin otro requisito que su capacidad y aptitud vocacional.

Art. 14. La Universidad contribuirá a la creación de una conciencia nacional, partiendo del conocimiento de la realidad de dependencia, opresión y explotación del país, en la perspectiva de la integración y la libre determinación nacional dentro del contexto de países latinoamericanos y mundial de los pueblos que luchan por la sociedad más justa y el respeto a los derechos humanos.

#### CREACION DE LA CARRERA DE FISICA

La Carrera de Física de la UATF se creó por decreto supremo durante la dictadura de Hugo Banzer, el 14 de agosto de 1972, como una necesidad de hacer ciencia en Bolivia, se creó la misma junto a las Carreras de matemática y química. Posteriormente se creó la Carrera de Estadística el año 1980, el año 1996 aproximadamente se creó la Carrera de licenciatura en Informática, que cambió su razón de ser a partir del año 2005 y se llama ahora ingeniería Informática pero sigue en la Facultad de Ciencias Puras. La Facultad de Ciencias Puras a la fecha cuenta con 5 carreras. Las Carreras en cuestión, para la parte investigativa, dependen de la Dirección

de Investigación de Ciencia y Tecnología DICYT, donde se creó el Instituto de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Puras el año 2010, y se estableció como tal el año 2012.

#### 2.1.3.2. DATOS PRINCIPALES DE LA CARRERA DE FISICA

Nombre Completo: FISICA

Facultad: CIENCIAS PURAS

Fecha de Fundación: 14/08/1972

Duración de la Carrera: 10 SEMESTRES

Diploma Académico: LICENCIATURA EN FÍSICA

Título en Provisión Nacional: LICENCIATURA EN FÍSICA

Modalidades de Ingreso: PREUNIVERSITARIO - ADMISIÓN LIBRE

Dirección: AVENIDA EL MAESTRO ( EDIF. CENTRAL)

Ciudad: Potosí

Teléfono: (591) 6231520

Correo Electrónico: fisica@uatf.edu.bo

Universidad: Autónoma Tomás Frías (UATF)

#### 2.1.3.3. MISION Y VISION

Misión

Implementar e impulsar la ejecución del nuevo rediseño curricular de la Carrera de Física, preparación y gestión de proyectos para acreditar el patrimonio de la Carrera, organizar todas las tareas académicas con la finalidad de obtener una formación de recursos humanos en el área de Física, con creatividad, conciencia crítica y ambiental, con valores que muestren competencia para crear, transformar la ciencia y la tecnología para el beneficio de la sociedad y de nuestra región.

Visión

Lograr la calidad y excelencia académica mediante el Liderazgo, eficiencia y reingeniería en el marco de una formación humanística universal.

#### 2.1.3.4. OBJETIVOS

Lograr la calidad y excelencia académica en la Carrera de Física, proyectando el liderazgo en la prestación de servicios, asimilando conciencia de integración y desarrollo tecnológico para coadyuvar en la formación y mejoramiento por competencias de los recursos humanos en el área de Física, generando una conciencia crítica, creativa y ambiental.

#### 2.1.3.5. NORMAS DE TITULACION

Reglamento de Graduación directa de la Facultad de Ciencias Puras.

#### 2.1.3.6. PERFIL PROFESIONAL

- Conocimiento de las ciencias básicas como: Matemática, Química y Física.
- Métodos y técnicas de Investigación.
- Desarrollo de diseños experimentales en Laboratorio.
- Conciencia crítica del aspecto socio económico de la industria actual.
- Trabajo en grupo.

#### 2.1.3.7. AREA DE ACCION

- Investigación Básica, Teórica y Aplicada en Ciencias Físicas.
- Proyectos de Investigación en Física Aplicada.
- Resolución de problemas industriales.
- Control de calidad.
- Generación y adecuación de tecnologías apropiadas.
- Asesoramiento científico.
- Docencia en la enseñanza de la Física.

#### 2.1.3.8. MATERIAS RELACIONADAS CON LA FÍSICA NUCLEAR

- METODOS MATEMATICOS DE LA FISICA
- ECUACIONES DIFERENCIALES
- CALCULO COMPLEJO
- MECANICA CLASICA
- ELECTRONICA PARA FISICOS
- FISICA MODERNA
- SIMULACION DE MODELOS FISICOS
- MECANICA CUANTICA
- ELECTROMAGNETISMO
- TERMODINAMICA
- CIENCIA DE MATERIALES
- MECANICA ESTADISTICA
- FISICA NUCLEAR
- ELECTRODINAMICA
- TALLER DE INVESTIGACION I, II, III.

#### SYLLABUS DE LA MATERIA DE FISICA NUCLEAR FIS 382

CONTENIDO MINIMO: Introducción.- Detección de radiaciones nucleares.- Aceleradores de partículas.- Transiciones radioactivas.- elementos de estructura y sistematización nuclear.- emisión alfa.- Emisión gamma.- Radiactividad beta.- Sistemas de dos cuerpos y las fuerzas nucleares.- Reacciones nucleares.- Los neutrones.

##### PROGRAMA ANALITICO:

1. INTRODUCCION. 1.1. Definiciones. 1.2. Terminología y unidades.
2. DETECCION DE RADIACIONES NUCLEARES. 2.1. Clasificación. 2.2.1. Cámara de Ionización. 2.2.2. Contador Geiger Muller 2.2.3. Cámara de Burbujas. 2.2.4. Espectrógrafo de masas. 2.3. Problemas de Aplicación.
3. ACELERADORES DE PARTÍCULAS. 3.1. Clasificación. 3.1.1. Aceleradores de Van de Graff.

3.1.2. El ciclotrón. 3.1.3. El Betatrón. 3.1.4. Acelerador lineal 3.2. Problemas de Aplicación.

4. TRANSICIONES RADIOACTIVAS. 4.1. Teoría continua - una sola substancia. 4.2. Teoría continua - más de una substancia 4.3. Bifurcación 4.4. Medidas de la radioactividad.- Dosimetría. 4.5. Medición de constantes radioactivas. 4.6. Problemas de Aplicación.

5. ELEMENTOS DE ESTRUCTURA Y SISTEMATIZACION NUCLEAR. 5.1. Carga. 5.2. Masa. 5.3. Radios Nucleares. 5.4. Modelo de la gota líquida 5.5. Modelo de Capas. 5.5. Fuerzas Nucleares. 5.6. Problemas de Aplicación.

6. EMISION ALFA. 6.1. Introducción. 6.2. Sistematización de la desintegración alfa. 6.3. Problemas de aplicación.

7. EMISION GAMMA. 7.1. Introducción. 7.2. Reglas de Selección. 7.3. Fluorescencia nuclear. 7.4. Problemas de Aplicación.

8. RADIATIVIDAD BETA. 8.1. Introducción. 8.2. Relaciones energéticas en la desintegración beta. 8.3. Clasificación de las interacciones. 8.4. Teoría de Fermi de la desintegración beta. 8.5. Teoría de la interacción beta. 8.6. Problemas de Aplicación.

9. SISTEMAS DE DOS CUERPOS Y LAS FUERZAS NUCLEARES. 9.1. El deuterón. 9.2. Dispersión neutrón protón a bajas energías. 9.3. El sistema y la dispersión protón - protón. 9.4. Independencia de cargas de las fuerzas nucleares. 9.5. Fuerza nucleón - nucleón. Fuerzas de intercambio. 9.6. Fotodesintegración del deuterón. 9.7. Problemas de Aplicación.

10. REACCIONES NUCLEARES. 10.1. Introducción. 10.2. Características generales de las reacciones secciones eficaces. 10.3. Reacciones inversas. Balance detallado. 10.4. Mecanismos de reacción. Aspectos cualitativos del núcleo compuesto. 10.5. Resonancias. 10.6. Modelo óptico. 10.7. El núcleo compuesto - Densidad de niveles. 10.8. El núcleo como gas de Fermí. 10.9. Reacciones directas. 10.10. Procesos de fisión. 10.11. Reacciones nucleares con iones pesados. 10.12. Problemas de Aplicación.

11. NEUTRONICA. 11.1. Fuentes de neutrones. 11.2. Moderación de neutrones. 11.3. Distribuciones energéticas de neutrones procedentes de fuentes monoenergéticas. 11.4. Teoría de la difusión. 11.5. La ecuación de la edad. 11.6. Difusión de neutrones térmicos. 11.7. Reacción en cadena en una pila. 11.8. Cinética del reactor. 11.9. Reacciones de fusión. 11.10. Problemas de Aplicación.

##### BIBLIOGRAFIA.

- Núcleos y partículas de E. SEGRÉ. Ed. Reverté 1994.
- Física nuclear I. KAPLAN. Ed. Aguilar.
- Experimental nuclear physics K.N. MUKHIN. Ed. Mir. Publishers Moscow.
- Nuclear physics Engineering
- The Atomic Nucleus Robley D. Evans McGRAW - HILL 1990

### 2.1.3.9. TESIS DE GRADO RELACIONADAS CON FÍSICA NUCLEAR REALIZADAS EN LA CARRERA DE FÍSICA - UATF

- Evaluación de ambientes contaminados por Uranio 238: Santiago Mamani H.
- Calculo del corazón de un reactor nuclear a uranio débilmente enriquecido: Silverio Chávez R.
- Cálculo de las funciones de espacio para la fuente de neutrones Am - Be: Raúl Mamani M.
- Evaluación de Gas Radon 222 en ambientes de la ciudad de Potosí: Ms.C. Raúl Mamani M.

### 2.1.3.10. PUBLICACIONES REALIZADAS EN LA CARRERA DE FÍSICA - UATF, RELACIONADAS CON FÍSICA NUCLEAR

- Evaluacion de Gas Radon 222 en actividades de minería: Ms. C.Raúl Mamani M., Dr. Ing Jaime Claros J., Dr. Ing Jurgen Weyer, Dr Holger Chirveches S.
- Evaluacion de Gas Radón 222 y progenie en Actividades de Interior mina a 4000 m.s.n.m. y efectos sobre la salud, Dr. Ing. Jurgen Weyer. Ms.C. Raúl Mamani M., Dr. Ing Jaime Claros J., Dr Ing Denisse Arnold, Dr. Hoger Chirveches S.. Dr René Vasquez A.

## 2.2. SOCIEDAD BOLIVIANA DE FÍSICA (SOBOFI) (SOBOFI 2018)

### ANTECEDENTES de la SOBOFI

CONSIDERANDO, que la Sociedad Boliviana de Física, en adelante SOBOFI, tiene personería jurídica, y que está funcionando en forma continua desde 1994.

CONSIDERANDO, que la comunidad de profesionales y estudiantes de física en Bolivia requiere de una mayor integración, puesto que la principal actividad de los físicos en Bolivia está centrada en tres universidades del sistema estatal, pero existe una cantidad considerable de profesionales que ejercen fuera de éste ámbito académico.

CONSIDERANDO, que existe un gran vacío entre la actividad de la comunidad de físicos en Bolivia y los profesores de nivel secundario que enseñan esta ciencia, y entre los profesionales físicos y los que ejercen profesiones afines a la Física.

POR TANTO, con la finalidad de incentivar las actividades conjuntas realizadas hasta el momento y estimular todas aquellas encaminadas a destacar el papel importante de la física como ciencia fundamental y aplicada, se establece apropiada la refundación de la Sociedad Boliviana de Física, en adelante SOBOFI, como organización actuante en el ámbito nacional, de carácter no lucrativo y regido por el presente ESTATUTO, de acuerdo con los siguientes artículos:

### CAPITULO I - DE LOS OBJETIVOS

Artículo 1º.- Queda conformada la SOCIEDAD BOLIVIANA DE FISICA, en adelante SOBOFI, por la aprobación del presente Estatuto, manteniendo su carácter de asociación civil de carácter nacional y sin fines de lucro.

Artículo 2º.- Los objetivos de la SOBOFI, son:

a) Contribuir al progreso científico y tecnológico del país, tanto en el conocimiento mismo como en la aplicación de la Física en todos sus aspectos;

b) Fomentar el conocimiento en el ámbito público de la importancia de la Física en el desarrollo del país y de las actividades de formación en esta disciplina;

c) Fomentar y difundir el conocimiento de la Física como disciplina en los colegios y escuelas, así como en otros centros de instrucción;

d) Organizar y difundir la Olimpiada Boliviana de Física ( OBF ), como forma de estímulo del estudio de la Física a nivel de los colegios secundarios del país;

e) Representar a Bolivia en todos los eventos internacionales relacionados con la Física y en particular en las diferentes Olimpiadas de Física;

f) Elevar los padrones de la ética profesional, de la educación científica y tecnológica;

g) Estimular las investigaciones científicas y tecnológicas promoviendo y difundiendo, de forma amplia los avances y logros de la Física, en todas sus especialidades;

h) Actuar como centro de información en Física, coordinar y dar publicidad a las actividades de las filiales regionales y de especialidad;

i) Promover, difundir y orientar publicaciones relacionadas con la Física, en particular de la Revista Boliviana de Física ( RBF );

j) Asegurar un ámbito de encuentro y discusión entre científicos, docentes, estudiantes y profesionales afines, mediante la organización de eventos científicos, y en particular, la Reunión Nacional de la SOBOFI ;

k) Facilitar el intercambio de información y de puntos de vista sobre la Física y la importancia de ésta última, dentro de la política científica nacional;

l) Mantener intercambio con otras sociedades científicas y culturales, así como industrias, nacionales e internacionales, principalmente aquellas que se dedican a las actividades relacionadas con los métodos, técnicas o aplicaciones de la Física;

m) Otorgar premios, distinciones y reconocimientos en el ámbito de las actividades de docencia e investigación de sus miembros;

n) Organizar cualquier otro evento y aprobar cualquier otra actividad que esté encaminada a la consecución de los anteriores objetivos.

### CAPITULO II - DE LOS SOCIOS

Artículo 3º.- Los socios de la SOBOFI, deberán ser profesionales en física, estudiantes de alguna de las carreras de Física del país, profesionales que realicen actividades que involucren directamente técnicas o métodos de Física.

Artículo 4º.- Los socios de la SOBOFI, estarán clasificados en las siguientes categorías:

1 Profesional, que son aquellos socios que tengan



título universitario en Física.

2 Estudiante, que son aquellos socios que están cursando, en forma regular, estudios universitarios en alguna de las Carreras de Física del Sistema Nacional de Universidades, o en la especialidad de Física de alguno de los Institutos Normales de Educación Superior.

3 Asociado, que son aquellos socios que realizan actividades relacionadas con la Física y que no están comprendidos en las categorías anteriores.

Artículo 5º.- Podrán ser socios de la SOBOFI, aquellas personas que cumplan con los requisitos del Art. 4º y soliciten su ingreso en forma individual presentando una prueba de su condición de tales.

Artículo 6º.- Son derechos de los miembros de la SOBOFI:

- a) Participar, con voz y voto, en las reuniones plenarios de las Reuniones Nacionales de la SOBOFI;
- b) Elegir a las directivas regionales y/o nacionales de la SOBOFI, de acuerdo al Art. 12º;
- c) Poder ser elegido como miembro de las directivas regionales o nacional, de acuerdo al Art. 12º;
- d) Inscribirse, de acuerdo a lo especificado por cada filiar de especialidad, como socio de la misma;
- e) Presentar ponencias orales o de panel en las Reuniones Nacionales de la SOBOFI;
- f) Recibir un ejemplar de la Revista Boliviana de Física, y otras publicaciones que realicen las filiales de la SOBOFI, a las que el socio pertenezca.

...

NOTA: Para más información de la SOBOFI, visite la web: <http://fiumsa.edu.bo/sobofi/estatutos.htm>

#### 2.2.1. PRESENTACIONES EN LAS REUNIONES NACIONALES DE LA SOBOFI EN RELACIÓN A LA FÍSICA NUCLEAR

1. E. Coronel Canaviri. "Aplicación del efecto de Quenching de radiación Cherenkov del K-40 natural como técnica fotométrica". Revista Boliviana de Física 27, 26. (2015).
2. E. E. Centeno Mamani. "Digitalización de imágenes radiológicas". Revista Boliviana de Física 24, 35 (2014).
3. B. Lopez. "Espectrómetro de electrones". Revista Boliviana de Física 21, 33. (2012).
4. I. Poma. "Tecnologías de reactores nucleares". Revista Boliviana de Física 21, 35. (2012).
5. P. Miranda. "Monitor de neutrones NM64 de Chacaltaya". Revista Boliviana de Física 21, 35. (2012).
6. E. Barañado. "Simulación de variables físico-médicas en una cámara hiperbárica monoplaza". Revista Boliviana de Física 18, 53. (2011).
7. Búsqueda de destellos de rayos X en el monte chacaltaya con detectores de agua Cherenkov. Revista Boliviana de Física 18, 53. (2011).

8. R. Ticona. "Dosimetría de neutrones - Monitor de neutrones". Revista Boliviana de Física 16, 36. (2010).
9. E. Choque. "Diseño e implementación de una cámara hiperbárica monoplaza". Revista Boliviana de Física 15, 64. (2009).
10. I. Poma. "Física nuclear experimental". Revista Boliviana de Física 13, 132. (2007).
11. P. Miranda. "Control de soldadura industrial mediante Rayos-X: Tendido de la tubería Ovejuyo - Pampahasi". Revista Boliviana de Física 4, 71. (1998).

#### 2.3. AGENCIA BOLIVIANA DE ENERGÍA NUCLEAR (ABEN)

La Agencia Boliviana de Energía Nuclear (ABEN) nace como institución pública descentralizada, con personería jurídica y patrimonio propio, con autonomía de gestión administrativa, técnica, legal, económica y financiera, de duración indefinida y bajo tuición del Ministerio de Hidrocarburos y Energía. Se crea según el decreto supremo No.- 2697 del Estado Plurinacional de Bolivia, de fecha 9 de Marzo de 2016.

La agencia tendrá las funciones de implementar y ejecutar la política en materia de tecnología nuclear; promover y desarrollar en el país la investigación en el campo de la ciencia y tecnología nuclear y sus aplicaciones con fines pacíficos; operar las instalaciones nucleares en el marco del Programa Nuclear Boliviano (PNB); entre otras.

Se han planificado tres instalaciones: i) un complejo ciclotrón - radiofarmacia con unidades de Tomografía por emisión de positrones (PET - CT) localizadas en diferentes ciudades del Estado Plurinacional, ii) Un reactor nuclear de investigación con potencia menor a 200 kW para producción de radioisótopos y prestación de servicios (eventualmente análisis por activación neutrónica y neutrón backscattering) y iii) celdas experimentales gamma y de haces de electrones y eventualmente una planta de irradiación gamma semi industrial o industrial. Adicionalmente se dispondrá de un complejo de laboratorios asociados a las tres instalaciones.

#### 2.3.1. CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO EN TECNOLOGÍA NUCLEAR

El Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología Nuclear - CIDTN, será el lugar donde se construyan las instalaciones detalladas en la sección anterior, eventualmente se dispondrá de tecnología rusa (Empresa Rosatom) en las instalaciones ii) y iii) El centro contará con las siguientes instalaciones:

- En el Sector Salud, un Centro Nacional Ciclotrón - Radiofarmacia, cuyo fin es el de mejorar los niveles de servicio en salud para el diagnóstico y tratamiento del cáncer y otras patologías empleando tecnología médica avanzada, además de fortalecer los centros de radioterapia existentes en el país.

- En el Sector Industrial, una Planta Multipropósito de Irradiación para contribuir a la seguridad e inocuidad alimentaria, al incremento de la productividad agroindustrial y apoyar a los sectores productivos para la exportación con certificación de inocuidad.
- En el Sector de Ciencia y Tecnología, un Reactor Nuclear de Investigación de baja potencia, cuyo objetivo es contribuir al desarrollo científico y tecnológico del país, en los campos de la medicina, industria, ciencias ambientales, biológicas, físicas, químicas, petroquímicas, hidráulicas, geológicas y de materiales, entre otras, mediante la investigación básica y aplicada.
- En el Sector Académico, Laboratorios de Investigación Nuclear y Capacitación, cuyo objetivo es el de contribuir a la formación y capacitación teórica y práctica en las áreas de ciencias, ingeniería y tecnología nuclear con fines pacíficos, fortaleciendo las universidades del país.

#### 2.4. PROGRAMA NUCLEAR BOLIVIANO (Ministerio de Hidrocarburos 2015)

##### 2.4.1. ANTECEDENTES

El Programa Nuclear Boliviano, enmarcado en la agenda 2025 del Gobierno nacional, tiene el objetivo de actualizar y apoyar a los sectores de salud, industria, ciencia, tecnología y académico. Se planifica la Construcción e Implementación del Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología Nuclear. El operador de las instalaciones será la Agencia Boliviana de Energía Nuclear - ABEN.

Se construirá en la ciudad de El Alto la infraestructura del Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología Nuclear - CIDTN, para fines médicos, industriales y de investigación.

El Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear - IBTEN, autoridad nacional competente - ANC, en materia de uso de radiaciones ionizantes será la entidad que tendrá a su cargo el licenciamiento para las fases de construcción y operación de las instalaciones.

##### 2.4.2. RESUMEN DE INICIATIVAS DE DESARROLLO DEL SECTOR

El año de 1960 se crea la Comisión Boliviana de Energía Nuclear, COBOEN, impulsada por las actividades de investigación que se desarrollaban en el Instituto de Física Cósmica de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). En la gestión de 1963 se crea el Instituto de Medicina Nuclear, dependiente de la COBOEN.

En los años 70, el Departamento de Ingeniería Nuclear de la COBOEN llegó a plantear la instalación de un reactor nuclear de investigaciones para su utilización en la producción de radioisótopos como una aplicación en la medicina, industria y agricultura, como también para aplicaciones analíticas y la formación de recursos humanos. Esta iniciativa no

prosperó por no contarse con los recursos necesarios, sin embargo la Dirección Ejecutiva de la COBOEN asignó terrenos para el dicho Centro Nuclear, en la localidad de Viacha a 20 km de la sede de gobierno.

##### 2.4.3. RRHH

La necesidad de Recursos Humanos (RRHH) es imperante en el sentido de poder alcanzar las metas y planes por los nuevos programas como ser la Agencia Boliviana de Energía Nuclear (ABEN), el Programa Nuclear Boliviano (PNB), etc., para lo cual existen estrategias de motivación a la juventud Boliviana, como ser: las Olimpiadas Estudiantiles Científicas Plurinacionales, para que en un futuro próximo la juventud pueda especializarse en el área nuclear, como ser: la Física Nuclear, la Ingeniería Nuclear, la Física Médica, etc.

Ya desde los comienzos de las carreras de Física, Ciencias Químicas, Medicina, Ingeniería, etc. estudiantes y profesionales Bolivianos se han formado y están formándose en distintos centros de enseñanza y/o institutos de investigación en el área nuclear, como ser: Reactores Nucleares, Medicina Nuclear, Física Médica, etc. en distintos países, como ser: Argentina, Brasil, Italia, Rusia.

Actualmente el gobierno boliviano está planificando la formación de recursos humanos tanto en maestría como doctorado para continuar enriqueciendo las capacidades científicas y tecnológicas para el buen funcionamiento del futuro Centro de Investigación y Desarrollo Nuclear, que dependerá de la ABEN - PNB.

#### 2.5. INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR (IBTEN) (IBTEN 2018)

##### 2.5.1. VISIÓN - MISIÓN

###### VISIÓN

Controlar y fiscalizar el uso de material nuclear, radiactivo y equipos generadores de radiaciones ionizantes para proteger a la población boliviana y el medioambiente de sus efectos nocivos, impulsando la aplicación de la tecnología nuclear precautelando, los recursos naturales.

###### MISIÓN

Somos la Institución que de manera segura y oportuna controla la utilización de las radiaciones ionizantes y que aplica la ciencia y tecnología nuclear de forma pacífica en los sectores económicos y sociales contribuyendo de forma efectiva al vivir bien de la población boliviana.

##### 2.5.2. CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES (CIAN)

El centro de investigaciones y aplicaciones nucleares "CIAN", es uno de los dos centros pertenecientes al instituto boliviano de ciencia y tecnología nuclear "IBTEN", es el brazo operativo del IBTEN en la vigilancia del medio ambiente. Se encuentra ubicado en el municipio de Viacha - comunidad Surusaya, aproximadamente a 3 km de la plaza principal de Viacha, prolongación de la Av. Bolívar.

**OBJETIVOS DEL CIAN**

El CIAN desarrolla investigación y aplicación de técnicas nucleares y convencionales con fines pacíficos en diversos campos y medio ambiente precautelando el vivir bien de la población boliviana.

**OBJETIVOS ESPECIFICOS DEL CIAN**

Identificar con otras organizaciones problemas que puedan solucionarse mediante la utilización de la ciencia y tecnología nuclear.

Monitorear los proyectos en ejecución ejecutados por las unidades del Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares.

Coadyuvar en la ejecución de proyectos relación con la preservación o mejora de la calidad ambiental.

Articular las demandas institucionales planteadas por la autoridad ambiental competente con las capacidades analíticas del IBTEN - CIAN.

Promover el involucramiento de organizaciones en proyectos regionales desarrollados en el país o mediante la adhesión a iniciativas de otros países.

Socialización de actividades en las que participaron servidores públicos dependientes de la dirección del CIAN.

Apoyo a proyectos cuya contraparte principal no es el IBTEN, pero que requieren de una gestión integrada de los mismos con participación de organizaciones con capacidades diferentes de aporte pero complementarias

**2.5.2.1. UNIDAD DE ANALISIS Y CALIDAD AMBIENTAL (UACA)****UNIDAD DE ANALISIS Y CALIDAD AMBIENTAL**

La unidad de análisis y calidad ambiental "UACA" es una de las unidades dependientes del cian del Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear. Tiene una experiencia de más de 20 años en la prestación de servicios de análisis. Posee un personal con mucha experiencia y altamente capacitado. Cuenta con una infraestructura adecuada y un equipamiento renovado y moderno. Posee laboratorios reconocidos como competentes por el organismo internacional de energía atómica "OIEA"

**OBJETIVOS**

Prestar servicios de análisis ambientales a instituciones privadas y gubernamentales, dando cumplimiento a la ley 1333 de medio ambiente y sus reglamentos utilizando las técnicas analíticas nucleares.

Aportar con su tecnología, procesos y productos a cualquier proyecto de desarrollo que contribuya al bienestar general de la población boliviana.

**ACTIVIDADES SERVICIOS DE ANÁLISIS**

Físico químico de suelos, aguas, sedimentos, vegetales, fertilizantes naturales, minerales y muestras.

Físico químico de fertilizantes y plaguicidas en formulaciones.

Físico químico de minerales y muestras geológicas.

Químico en filtro con partículas aerotransportadas.

Clasificación de la calidad de los cuerpos de agua.

Isotopos estables en aguas subterráneas (Espectrometría Laser).

**2.5.2.2. UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y APLICACIONES NUCLEARES (UIAN)**

La unidad de investigaciones y aplicaciones nucleares "UIAN" es un componente del CIAN.

**Objetivos**

Coadyuvar a reducir la inseguridad alimentaria, mediante el empleo de técnicas nucleares. Mutaciones radio inducidas, en procura de obtener variedades con mayor resistencia al estrés hídrico, estrés de heladas, etc.

Remediación de suelos erosionados.

Desarrollo de un criterio cuantitativo de determinación del grado de probabilidad de los suelos.

Contribuir al mejoramiento y productividad de especies agrícolas, integrando el panorama técnico-científico de la biotecnología, apoyando su innovación mediante la interacción con el área rural.

Realizar diversos trabajos en producción, conservación y mejoramiento de cultivos agrícolas mediante técnicas convencionales y nucleares.

Actividades físicas de suelos

Servicio de análisis

Pre tratamiento de muestras, determinación de parámetros físicos de suelos:

Textura

Densidad aparente

Densidad real

Porosidad

Análisis hidro-físico

Granulometría de fertilizantes sólidos

Determinación del contenido de humedad y de la materia seca en Vegetales y en otras muestras.

Oferta de servicios analíticos matrices

Suelos

Fertilizantes

Vegetales

Textura, densidad aparente

Densidad real

Porosidad de suelo

Humedad de suelos (capacidad de campo, punto de marchitez permanente).

Granulometría de fertilizantes sólidos.

- de humedad

- de materia seca

Muestreo de matriz suelo

Tomar sub muestras en zigzag en toda el área a muestrearse, y realizar cuarteos sucesivos hasta obtener 1 kg de muestra, la cual representará a toda la superficie muestreada. Depositar la muestra en bolsas plásticas o bolsitas de nylon consistente. Etiquetarlo bien, y enviar al laboratorio.

**2.5.3. CENTRO DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA (CPSR)**

Brazo operativo de la Autoridad Nacional Competente: IBTEN, en el control del uso seguro de material radiactivo y equipos generadores de radiaciones ionizantes.

El propósito del Centro de Protección y Seguridad Radiológica "CPSR" es dar cumplimiento a la ley

de protección y seguridad radiológica, que principalmente busca el uso seguro de material radiactivo en las distintas actividades en las que se emplea.

El CPSR tiene las siguientes funciones:

1. Asesorar a los diferentes organismos públicos o privados en todos los aspectos concernientes a la protección y seguridad del personal y del público en operaciones que impliquen exposición a radiaciones ionizantes.

2. Fiscalizar las labores de producción, adquisición, uso, almacenamiento, instalación, manipulación, transporte, comercialización y descarte de las fuentes de radiaciones ionizantes en el país.

3. Dictar normas para la correcta ejecución de todas estas actividades, extendiendo licencias a instituciones públicas, o privadas para la utilización de radiaciones ionizantes en todos los campos de aplicación.

4. Elaborar y ejecutar programas de protección y seguridad radiológica acordes con lo establecido en la ley de protección radiológica.

5. Divulgar mediante cursos de capacitación los conocimientos relativos a la protección y seguridad en el empleo de las radiaciones ionizantes.

Cuenta con dos Unidades:

#### 2.5.3.1. UNIDAD DE RADIOPROTECCIÓN EN INSTALACIONES (URI)

Se encarga de la regulación del uso de fuentes de radiación.

##### 1. Regulación de instalaciones

Determinar y verificar niveles de seguridad mediante inspecciones de acondicionamiento, habilitación, verificación, especiales y a requerimiento. Evaluación y emisión de licencias de construcción para prácticas relevantes. Evaluación de documentación, antecedentes y condiciones de trabajo, sugiriendo la emisión, renovación o suspensión de licencias institucionales. Emisión de autorizaciones para actividades específicas en función a la revisión de documentación, antecedentes y condiciones de trabajo de las diferentes instituciones.

##### 2. Regulación de trabajadores

Evaluación de documentación, antecedentes y aptitudes para la emisión, renovación o suspensión de licencias individuales. Capacitación en protección radiológica en función a las diferentes prácticas reguladas. Evaluación en protección radiológica de todo personal considerado ocupacionalmente expuesto y así como de los responsables de protección radiológica. Controlar registros de dosis de trabajadores ocupacionalmente expuestos.

##### 3. Otras actividades

Se encarga del inventario nacional de material radiactivo y generadores de rayos X, además del control de transporte de material radiactivo. Encargado de la importación, exportación y devolución de material radiactivo y generadores de rayos X. Elaboración de documentos específicos de regulación. Asesoramiento radiológico. Respuesta a emergencias radiológicas. Gestión de residuos radiactivos. Además Forma parte activa del Comité de Seguridad Física Nuclear y Radiactiva.

#### 2.5.3.2. UNIDAD DE DOSIMETRÍA DE RADIACIONES IONIZANTES (UDRI)

Tiene como finalidad ser referente en metrología de radiaciones ionizantes y brindar servicios especializados científico-técnicos en protección radiológica para el control y uso seguro de las radiaciones ionizantes.

Existen dos áreas a cargo de esta unidad, mismas que se desarrollan en lo que se constituyen laboratorios, y que son las siguientes:

##### a) METROLOGÍA DE RADIACIONES IONIZANTES

La confiabilidad en las medidas de dosis o de actividad es fundamental en Protección Radiológica. Estas medidas de radiación deben tener la confianza de organismos nacionales e internacionales.

##### LABORATORIO DE METROLOGÍA DE RADIACIONES IONIZANTES - LMRI

Llamado así desde mayo 2006, a partir de contar con instrumentos de referencia para medida de radiaciones ionizantes provenientes de los radio nucleídos emisores gamma, tanto para radio protección como para radioterapia.

Las principales funciones de un laboratorio de esta naturaleza son establecer, mantener o mejorar patrones secundarios o terciarios con fines de dosimetría de la radiación; dirigida a evaluar y controlar la calidad del haz de radiación en Teleterapia (tratamiento de tumores) y en Protección Radiológica (calibración de monitores de radiación).

##### b) SERVICIOS ESPECIALIZADOS CIENTÍFICO - TÉCNICOS

###### DOSIMETRIA PERSONAL

Monitoreo individual de personas que trabajan con radiaciones ionizantes para estimar, a través del dosímetro personal, sus dosis efectivas. Se dispone de lectores de dosímetros personales bajo la técnica de termoluminiscencia y muflas para tratamientos térmicos de los cristales detectores de Fluoruro de Litio.

###### CALIBRACION DE MONITORES DE RADIACION

A través de valores de referencia se ajustan los instrumentos medidores de radiación para su respuesta correcta. Un instrumento calibrado permite la evaluación apropiada de la zona de trabajo y garantiza la salud de los trabajadores.

###### ANALISIS RADIOMETRICOS (en protección radiológica)

Se cuenta con un analizador multicanal y fuentes radiactivas de calibración. Sistema que permite determinar la no contaminación radiactiva de una muestra mediante espectrometría gamma.

#### 2.5.4. CENTRO DE DOCUMENTACIÓN NUCLEAR (CDN)

Desde que Bolivia es miembro del Organismo Internacional de Energía Atómica, en 1963, ha recibido información especializada en procura de promover a la energía nuclear y sus aplicaciones con fines pacíficos, dentro de una organización Nacional de-

nominada Comisión Nacional de Energía Nuclear. En 1983, la COBOEN se divide en Áreas del conocimiento, generando el Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear. El IBTEN hereda la información relacionada con la aplicación y uso pacífico de la Energía Nuclear dentro de la Denominada la Biblioteca especializada en el Centro de Investigaciones Nucleares (CIN) del IBTEN en la localidad de Viacha. Como una decisión estratégica en la gestión 2011, se constituye el Centro de Documentación Nuclear (CDN) que recibe toda la documentación de la Biblioteca Especializada y desarrolla un nuevo proyecto de transferencia de Información.

El CDN Especializado en temas nucleares y de protección radiológica, cuyo objetivo es facilitar el acceso a la investigación científica. Cuenta con: Publicaciones periódicas, monografías, tesis, boletines, glosarios, enciclopedias y revistas del OIEA.

### 3. LEGISLACION (Ministerio de Gobierno 2018)

El Parágrafo I del Artículo 378 de la Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, determina que las diferentes formas de energía y sus fuentes constituyen un recurso estratégico, su acceso es un derecho fundamental y esencial para el desarrollo integral y social del país, y se regirá por los principios de eficiencia, continuidad, adaptabilidad y preservación del medio ambiente.

El Parágrafo I del Artículo 379 del Texto Constitucional, establece que el Estado desarrollará y promoverá la investigación y el uso de nuevas formas de producción de energías alternativas, compatibles con la conservación del ambiente.

Por Decreto Supremo N° 5389, de 14 enero de 1960, se crea la Comisión Boliviana de Energía Nuclear para promover, dirigir, implementar y difundir el uso pacífico de la tecnología nuclear, en nuestro país, al no contar con los instrumentos de política nuclear, reestructurado por Decreto Supremo N° 19583, de 3 de junio de 1983, creándose el Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear - IBTEN, el cual concentraría las actividades de investigación y aplicación de técnicas nucleares, planificación y supervisión del desarrollo de la tecnología nuclear, y aplicación de la Ley de Protección Radiológica, y que cumplirá las funciones de contraparte nacional oficial, para todos los convenios y relaciones internacionales sobre tecnología nuclear, como Institución Científico-Técnico descentralizado, con personería jurídica, patrimonio propio, autonomía administrativa y financiera dependiente de la Presidencia de la República.

El “Programa Nuclear Boliviano (PNB)”, es considerado como un instrumento y mecanismo mediante el cual el Estado promoverá el uso pacífico de la energía nuclear, tanto en los ámbitos de las aplicaciones energéticas como tecnológicas, capaz de apalancar el desarrollo integral del conocimiento científico y tecnológico para el vivir bien.

Mediante Decreto Supremo N° 2697 del 9 de marzo de 2016 se crea la Agencia Boliviana de Energía Nuclear, cuya sigla es ABEN, como institución pública

descentralizada, con personalidad jurídica y patrimonio propio, con autonomía de gestión administrativa, técnica, legal, económica y financiera, de duración indefinida y bajo tuición del Ministerio de Hidrocarburos y Energía. La ABEN tiene por finalidad desarrollar, suministrar y comercializar bienes y servicios de tecnología nuclear con fines pacíficos. La ABEN tendrá las siguientes funciones:

- Implementar y ejecutar la política en materia de tecnología nuclear.
- Proponer y desarrollar planes y programas en materia de tecnología nuclear. Suministrar o comercializar bienes en materia de tecnología nuclear.
- Desarrollar y prestar servicios en materia de tecnología nuclear.
- Promover y desarrollar en el país la investigación en el campo de la ciencia y tecnología nuclear y sus aplicaciones con fines pacíficos.
- Operar las instalaciones nucleares en el marco del Programa Nuclear Boliviano.
- Ejercer la propiedad y resguardo estatal de los materiales fisionables que pudieran ser introducidos y desarrollados en el país.
- Ejercer la propiedad estatal de los materiales radiactivos contenidos en los elementos combustibles irradiados, generados dentro del territorio boliviano.

### 4. INTERACCION GOBIERNO, INDUSTRIA Y ACADEMIA

Los nuevos planes (ABEN-PNB, etc.) proponen una fuerte interacción Gobierno - Industria y Academia.

En la academia, las carreras de Física de las universidades estatales (UMSA, UPEA, UMSS, UATF) existen, además de las materias relacionadas, docentes - investigadores que trabajan estudiando distintos experimentos y sus futuras aplicaciones en la industria.

De igual manera, se ha creado recientemente, el 20 de Mayo de 2016, la Sociedad Boliviana de Energía Nuclear (SOBOEN) con la participación de distintas instituciones bolivianas vinculadas al área, como ser:

- Instituto de Medicina Nuclear (INAMEN)
- Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN)
- Centro de Imagen Molecular (CIM)
- Oncológico del Oriente Boliviano
- Instituto Oncológico Nacional
- Instituto de Medicina Nuclear de Sucre
- Caja Petrolera de Salud
- Agencia Boliviana de Energía Nuclear (ABEN)

- La Carrera de Física de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA)
- La Universidad Mayor de San Simón (UMSS)

El objetivo de la SOBOEN es que profesionales de distintas especialidades, como ser, médicos nucleares, físicos - médicos, físicos nucleares, ingenieros en energía, ingenieros químicos, profesionales especializados en derecho nuclear, etc. darán asesoramiento técnico, científico y tecnológico al gobierno boliviano.

El gobierno propone, mediante la ABEN - PNB, dar un fuerte impulso a 4 sectores: Salud, Industria, Ciencia - Tecnología y Academia (más información en el punto 2.2.1).

- En el Sector Salud, un Centro Nacional Ciclotrón - Radiofarmacia, para mejorar el diagnóstico y tratamiento del cáncer y otras patologías.
- En el Sector Industrial, una Planta Multipropósito de Irradiación para contribuir a la seguridad e inocuidad alimentaria.
- En el Sector de Ciencia y Tecnología, un Reactor Nuclear de Investigación de baja potencia, cuyo objetivo es contribuir al desarrollo científico y tecnológico del país.
- En el Sector Académico, Laboratorios de Investigación Nuclear y Capacitación, cuyo objetivo es el de contribuir a la formación y capacitación teórica y práctica en las áreas de ciencias, ingeniería y tecnología nuclear con fines pacíficos, fortaleciendo las universidades del país.

#### 5. INTERCAMBIO Y MOVILIDAD ESTUDIANTIL

Desde los comienzos de las carreras de física, medicina, ingeniería, etc. estudiantes y profesionales Bolivianos se han formado y están formándose en distintos centros de enseñanza y/o institutos de investigación en el área nuclear, como ser: Reactores Nucleares, Medicina Nuclear, Física Médica, etc. en distintos países, como ser: Argentina, Brasil, Italia, Rusia.

Actualmente el gobierno boliviano está planificando la formación de recursos humanos tanto en maestría como doctorado para continuar enriqueciendo las capacidades científicas y tecnológicas para el buen funcionamiento del futuro Centro de Investigación y Desarrollo Nuclear.

#### 6. USO DE TIC Y DE LA COMUNICACIÓN

”Con la Ley 070 Avelino Siñani Elizardo Pérez (ASEP) se enfatiza la apropiación de conocimientos de la Tics en las escuelas y colegios principalmente. A partir de ahí se impulsa los telecentros para favorecer a la sociedad y la comunidad educativa el uso de las nuevas tecnologías de la información, formándose el Programa Nacional de Telecomunicaciones de Inclusión Social (Prontis), para el aprovechamiento de

las TIC a nivel del sistema educativo nacional, sin embargo, el Ministerio de Educación por ejemplo está desarrollando el proyecto de ”Mi escuela conectada” dotando de computadoras a una cierta cantidad de Unidades Educativas, para el fortalecimiento del proceso de enseñanza-aprendizaje. El Prontis financiará la conexión a la red internet.

Los aportes del internet al cambio pedagógico en la educación superior, se concentra en las carreras y/o institutos de investigación de cada unidad académica, así por ejemplo la carrera de Física de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales tiene un portal donde exhibe una comunicación fluida con los medios sociales a cerca del campo de investigación que los investigadores realizan.

Con la reactivación de la energía nuclear en Bolivia, la Facultad de Ingeniería ve la necesidad de abrir una carrera de Ingeniería Nuclear en la que se haga uso de las TICs como un primer paso hacia el fortalecimiento del conocimiento en materia de energía nuclear.

Los experimentos que usualmente se realizan en el reactor de investigación RA-6 en argentina serán de mucho apoyo a países de la región, en vista de que será vía Internet el acceso a la tecnología de los reactores nucleares de investigación y su potencial uso en varias disciplinas del conocimiento, como ser la física de reactores nucleares.

#### 6.1. PUBLICACIONES EN LA PRENSA NACIONAL

- “Reactor de fusion nuclear para energía eléctrica”, Anwibuma - Física - UMSA, Bolivia, Domingo 8 de Agosto de 2010.
- “Energía Nucleoeléctrica, alternativa para Bolivia”, Anwibuma - Física - UMSA, Bolivia, Domingo 20 de Febrero de 2011.
- “Fusión nuclear, confinamiento magnético e inercial”, Anwibuma - Física - UMSA, Bolivia, Domingo 5 de Febrero de 2012.

#### 7. COOPERACION Y PARTICIPACION EN REDES ACADEMICAS (Ministerio de Educación 2011)

##### 7.1. CONVENIOS

Recientemente el país ha firmado muchos convenios y/o tiene planes de hacerlo, con distintas instituciones académicas, organizaciones no gubernamentales y gubernamentales, como ser:

**BOLIVIA - CANADA (BOLIVIA-CANADÁ 2015)**  
Se prevé que próximamente el Ministerio de Hidrocarburos y Energía de Bolivia y la Universidad de Alberta (Canadá) firmen un acuerdo para la transferencia de tecnología, la capacitación de recursos humanos y el desarrollo de investigaciones conjuntas en hidrocarburos, electricidad y nuclear.

Las autoridades de ambas instituciones se reunieron el pasado 9 de junio para comenzar a negociar el acuerdo, que se espera sea firmado en julio. Del encuentro participaron el ministro de Hidrocarburos y Energía boliviano, Luis Alberto Sánchez; y

por parte de la casa superior de estudios, el Decano Stan Blade y el gerente regional para América de la Universidad de Alberta, Cristian Gonzáles Paez.

Bolivia pretende invertir fuertes sumas en el sector hidrocarburífero en los próximos diez años, para ello se necesitará recursos humanos que puedan construir, operar, administrar, investigación básica, investigación aplicada y gerentar todos los proyectos estratégicos. De esta forma, dentro del marco del “Programa Nuclear Boliviano”, la Universidad de Alberta representa un socio estratégico gracias a su trayectoria vinculada al área hidrocarburífera en la parte social, ambiental y en la parte técnica y productiva.

**BOLIVIA - RUSIA (BOLIVIA-RUSIA 2016; LANENT 2015a)**

El actual Ministerio de Hidrocarburos y Energía, Luis Alberto Sánchez, y el presidente de la empresa rusa ROSATOM, Sergei Kiriyenko, sostuvieron un encuentro el pasado 17 de Junio de 2016, en el FORO INTERNACIONAL ECONÓMICO, llevado a cabo en San Petersburgo, donde acordaron la suscripción de tres Memorándums de Entendimiento, sobre Capacitación de Personal, Comunicación y Aceptación Pública en el tema nuclear, de acuerdo a los más altos estándares internacionales y el acompañamiento constante del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), expresó Sánchez desde Rusia.

La reunión se sostuvo al más alto nivel entre las delegaciones boliviana, encabezada por Sánchez, y la rusa encabezada por Kiriyenko, quien fue ex primer ministro de Rusia y ahora Director de la empresa en tecnología nuclear más importante a nivel mundial.

Con relación al documento sobre Capacitación de Personal, Sánchez explicó que “jóvenes de El Alto y de todo el país recibirán formación en Rusia a nivel de licenciatura, y profesionales serán especializados en postgrado en el área de las aplicaciones pacíficas de la tecnología nuclear. “Estos jóvenes y profesionales que serán capacitados serán quienes se hagan cargo del programa nuclear boliviano y lleven adelante las aplicaciones del centro nuclear”, manifestó Sánchez.

Respecto al memorándum sobre comunicación, el Ministro sostuvo que “es necesario a fin de informar a la población sobre los beneficios de cada una de las instalaciones del centro nuclear para que la población las use de acuerdo a sus necesidades”. En este sentido, consideró importante en este tema el apoyo de Rusia que un país con amplia experiencia en la tecnología nuclear y su difusión”, sostuvo la autoridad.

Asimismo, el Ministro señaló que se trabaja en los últimos detalles del documento el cual establece las condiciones y acuerdos en el marco del cual se suscribirán otros dos contratos para la realización de estudios técnicos de geología y desarrollo de la infraestructura del futuro centro en Bolivia.

El Foro Internacional Económico de San Petersburgo tiene como objetivo ser un instrumento para el negocio que ayude a superar barreras geográficas

e informativas que separan a Rusia de otros países. Reúne a más de 6.000 representantes del ámbito político y empresarial, además de científicos y representantes sociales.

Posteriormente, el pasado Viernes 8 de Julio de 2016, el Ministerio de Hidrocarburos y Energía y la empresa rusa ROSATOM, firmaron los siguientes convenios de cooperación

- “Acuerdo para el Desarrollo del Proyecto de Construcción del Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología Nuclear (CIDTN)”
- “Aceptación Pública del uso de la Tecnología Nuclear”.
- “Capacitación de Personal en el uso de la Tecnología Nuclear”

El primer documento, “Acuerdo para el Desarrollo del Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología Nuclear”, establece el programa de actividades y tareas futuras a realizar para la preparación y ejecución del Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología Nuclear (CIDTN), con la visión de que sea el más avanzado de Sudamérica, de acuerdo a los más altos estándares internacionales y con el acompañamiento permanente del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

El segundo acuerdo, “Memorándum de Entendimiento sobre la Cooperación en el Campo de la Aceptación Pública del Uso Pacífico de la Tecnología Nuclear”, está referido al ámbito de la comunicación que permitirá realizar una adecuada socialización y difusión de la tecnología nuclear a la población boliviana.

El tercer documento, “Memorándum de Entendimiento sobre la Preparación y Capacitación de Personal en el Campo del Uso de la Tecnología Nuclear”, permitirá desarrollar, de manera conjunta, una serie de actividades que aseguren el poder contar con profesionales bolivianos altamente especializados en las aplicaciones pacíficas de la tecnología nuclear, para la fase de implementación y operación del CIDTN.

**BOLIVIA - CERN (EJU 2015)**

Hay un convenio (pendiente) con el CERN, Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (Consejo Europeo para la Investigación Nuclear).

## 7.2. PARTICIPACIÓN EN REDES ACADÉMICAS

Las Redes Nacionales de Investigación Científica y Tecnológica actuales (2016) (Viceministerio de Ciencia y Tecnología 2017a,b) han sido impulsadas por el Viceministerio de Ciencia y Tecnología, organismo dependiente del Ministerio de Educación, responsable de la generación de políticas en apoyo al desarrollo de las actividades de ciencia, tecnología e innovación del país.

El Sistema WEB Integrado de Información científica, tecnológica y de innovación, se constituye

en la herramienta de difusión y procesamiento de información en ciencia, tecnología e innovación; con funcionalidades que permiten la interacción de los actores participantes del Sector de Ciencia y Tecnología. Tiene como misión la de planificar, promover y fortalecer la ciencia, la tecnología y la innovación, respaldando iniciativas y proyectos para contribuir al desarrollo social, económico y cultural del país. Su visión es la de ser el núcleo institucional de referencia nacional e internacional en temas de ciencia, tecnología e innovación, contribuyendo al desarrollo nacional.

Las Redes Nacionales de Investigación Científica y Tecnológica tienen como objetivo general articular investigadores, especialistas y expertos, a través de la conformación de grupos de trabajo temáticos (Redes Nacionales de Investigación Científica y Tecnológica), para la generación y actualización de conocimientos, difusión de avances, cooperación interinstitucional, apoyo al sector socio-productivo y elaboración e implementación de proyectos de investigación científica, tecnológica e innovación. Contribuyendo de esta manera al aprovechamiento, transformación sostenible y generación de valor agregado en sectores y regiones priorizadas a nivel nacional, regional y sectorial.

Sus objetivos específicos son:

- Promover la cooperación y la generación de capacidades científico-tecnológicas de los miembros involucrados en las Redes.
- Formular y ejecutar proyectos de investigación, desarrollo e innovación de manera conjunta entre los miembros de las Redes, involucrando a sectores socio-productivos.
- Difundir los resultados alcanzados a través de las Redes, generados a partir de su implementación.

Las Redes Nacionales de Investigación Científica y Tecnológica actuales son:

1. Alimentos
2. Biodiversidad
3. Bosques
4. Comunicación Ciencia y Cultura
5. Energías
6. Incubadoras de Base Tecnológica
7. Nuclear
8. Observación de la Tierra
9. Paleontología
10. Recursos Hídricos
11. Remediación Ambiental
12. Saberes Locales y Conocimientos Ancestrales
13. Tecnologías de Información y Comunicación

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente documento obedece a una revisión bibliográfica, asistencia a charlas técnicas, foros debate, etc. sobre temas referentes al estado y las tendencias sobre la educación nuclear en el Estado Plurinacional de Bolivia, desde sus inicios, a comienzos

de 1960 hasta las nuevas y últimas tendencias en el país.

Se debe elaborar una política de gestión de desechos radiactivos que aseguren efectos mínimos al medio ambiente y a la sociedad en general, así como también garantizar estudios profesionales geotécnicos, hidrológicos, ingenierías (civil, sanitaria, eléctrica, geológica, electrónica, nuclear, etc.) para la construcción de las instalaciones que se están planificando realizar a corto plazo en el país a través de la ABEN - PNB, con asesoramiento de la OIEA.

Se recomienda que la toma de decisiones en todas las actividades relacionadas con el Programa Nuclear Boliviano (PNB), con sus cuatro pilares fundamentales:

- COMPLEJO CICLOTRÓN RADIO FARMACIA (SCR)
- PLANTA MULTIPROPOSITO DE IRRADIACIÓN (PMI)
- REACTOR NUCLEAR DE INVESTIGACIÓN (RNI)
- LABORATORIO DE INVESTIGACIONES NUCLEARES Y CAPACITACIÓN (LINC)

cuente con la participación activa, no solo del estado, sino también de las universidades a través de sus Institutos de Investigación y de los sectores industriales.

Si bien las aplicaciones nucleares son amplias, tanto en la salud pública, la industria, etc., existen otros mecanismos de irradiación igual de efectivos, como ser los realizados por partículas cargadas aceleradas, como por ejemplo haces de protones, que pueden ser originados en un ciclotrón o un sincrotrón, para la terapia de protones o protonterapia (Wikipedia 2015), o el uso de haces de electrones con aplicaciones multipropósito, como ser ciencia de materiales, industria, agricultura, farmacia, preservación de patrimonios, etc. (Ramírez-Ávila et al. 2015) Es por este motivo que se recomienda potenciar dichas técnicas hasta los niveles más óptimos.

No se debe descuidar la búsqueda del mejoramiento continuo del Sistema Educativo del Estado Plurinacional de Bolivia, mediante el apoyo permanente a propuestas educativas que fomenten la enseñanza de las ciencias, sobre todo vinculadas con el área nuclear, desde tempranas etapas en todas las Unidades Educativas tanto rurales como urbanas, mediante programas ya establecidos como ser, la Olimpiada Boliviana de Física, la Olimpiada Boliviana de Astronomía y Astrofísica, en coordinación con el Ministerio de Educación, el Diplomado en Física para profesores de Colegio, como iniciativa de la Carrera de Física de la UMSA, etc., buscando el mejoramiento continuo del sistema educativo boliviano en estas disciplinas: Física, Astronomía y Astrofísica y sus directas transversales: Biología, Química, Matemática, Geología, Ciencias Sociales, etc..



Por último se recomienda no dejar de participar en redes internacionales, fomentar la investigación científica y tecnológica, y dar énfasis a una adecuada gestión del conocimiento nuclear (IAEA 2015;

LANENT 2015b) tanto a nivel nacional, latinoamericano e internacional.

#### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses con respecto a la publicación de éste documento.

#### REFERENCIAS

- Ministerio de Hidrocarburos (2015), Presentación del Ministerio de Hidrocarburos y Energía del Estado Plurinacional de Bolivia (La Paz, Bolivia)
- BOLIVIA-CANADÁ (2015), <http://www.lanentweb.org/es/capacitacion-nuclear-bolivia-canada>
- BOLIVIA-RUSIA (2016), <http://enlace.comunicacion.gob.bo/index.php/2016/06/17/en-el-marco-del-foro-mas-importante-de-europa-bolivia-y-rusia-acuerdan-firma-de-memorandums-para-capacitacion-difusion-e-implementacion-del-centro-nuclear/>
- EJU (2015), <http://eju.tv/2015/09/martin-subieta-el-fisico-boliviano-que-busca-particulas-de-dios/>
- Física - UATF (2018), <http://www.uatf.edu.bo/facultades.php>
- Física - UMSA (2018), <http://www.fiumsa.edu.bo>
- Física - UMSS (2018), <http://www.fcyt.umss.edu.bo>
- IAEA (2015), <https://www.iaea.org/nuclearenergy/nuclearknowledge/>
- IBTEN (2018), <http://ibten.gob.bo/portal/index.php>
- LANENT (2015a), <http://www.lanentweb.org/es/rusia-bolivia-capacitacion-nuclear>
- (2015b), <http://www.lanentweb.org/es>
- Ministerio de Gobierno (2018), <http://www.gacetaoficialdebolivia.gob.bo>
- SOBOFI (2018), <http://fiumsa.edu.bo/sobofi/index.html>
- Viceministerio de Ciencia y Tecnología (2017a), <http://www.cienciaytecnologia.gob.bo/contenido/RedesInvestigacion>
- (2017b), <http://www.infocyt.gob.bo>
- Wikipedia (2010), <https://en.wikipedia.org/wiki/Yellowcake>
- (2015), <http://es.wikipedia.org/wiki/Protonterapia>
- Ministerio de Educación, VCyT (2011), REDES NACIONALES DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, D.R. Ministerio de Educación del Estado Plurinacional de Bolivia (La Paz, Bolivia)
- (2012), PROGRAMA NUCLEAR DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, RED NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA NUCLEAR (La Paz, Bolivia)
- Ramírez-Ávila, G. M., Carrasco, C. & Romero-Bolaños, L. (2015), <http://www.ibten.gob.bo/portal/index.php?opt=frontmod=detalleid=47>