

8 February 2011

English only

**Committee on the Peaceful
Uses of Outer Space**
Scientific and Technical Subcommittee
Forty-eighth session
Vienna, 7-18 February 2011
Item 10 of the provisional agenda*
Use of nuclear power sources in outer space

**Workshop on the Use of Nuclear Power Sources in Outer
Space: Safety Workshop for Space Nuclear Power Sources:
the roadmap for its implementation in a special case for
Argentina**

Paper submitted by Argentina

* A/AC.105/C.1/L.306.



Abstract of Argentina's presentation on

“Safety Workshop for Space Nuclear Power Sources: the roadmap for its implementation in a special case for Argentina”.

Argentina is working to establish the internal process for the inclusion of NPS on Earth Observation (EO) satellites; particularly to ensure adequate availability of power during early orbits. To this end, short half life radioisotopes sources are being considered.

The definition of the project involves the participation of the National Atomic Energy Commission (CNEA) working together with the National Commission on Space Activities (CONAE) to meet the needs of the satellite missions of the Argentine Space Program and to fulfill international commitments.

The Nuclear Regulatory Authority (ARN) is in charge of the authorization and control of the inclusion of NPS on EO satellites, to warrant that the design and use of NPS will be fully compatible with the Argentine radiological safety standards and with the UN – IAEA Safety Framework.

Table of Contents

Introduction	1
I. Rationale	2
II. Organizations Involved in the Project.....	3
II.1 Activities and Role of each Organization in the project.....	6
II.2 Regulatory Body on radiological and nuclear safety, physical protection and control of use of nuclear materials, licensing and inspection of nuclear facilities and international safeguards.	7
III. Radioisotope Thermoelectric Generator (RTG) description.....	7
III.1 Radioisotope Thermoelectric Generator.....	8
III.2 Radioactive Source	8
III.3 Transducer System	9
III.4 Radioactive source and the radioisotope thermoelectric generator testing	10
IV. Generic Safety and Risk Analysis.....	10
IV.1 Initial considerations for the risk analysis	10
IV.2 Input elements for the risk or hazards analysis.....	10
IV.2.a. Initial Stages (Pre-F1).....	11
IV.3 Output elements of the risk or hazard analysis.....	12
IV.3.a. Risk scenarios	12
V. Regulatory framework (ARN).....	15
V.1 Radiation protection and nuclear safety in Argentina, in the national and international context	15
V.2 The Nuclear Regulatory Authority, legal and regulatory framework of its activities	16
V.3 Legal framework, licensing and monitoring of nuclear activities.....	18
V.3.a. Licensing process for the development and manufacture of energy sources using radioactive material.....	18
V.3.b. Licensing the use of radioactive sources in satellites starting from the assembly phase ..	20
V.3.c. Responsibility and delegation of tasks.....	21

VI. References.....21

I. Introduction ¹

Ten years ago, the Head of the space agency of a country that has a major role in space activities stated at a conference that without nuclear energy space projects would not have a long future. Of course, he was referring to outer space Missions.

The document presented here refers, however, to the possible use of nuclear energy, in special conditions, for satellite Missions orbiting the Earth.

This presentation is made from the point of view of a country that has no experience in the use of nuclear power sources in space, but does have extensive experience in the field of nuclear energy (Introduction to the Workshop, Strategy, Point 6)

The reasons of CONAE to enter into this endeavor are:

- a) CONAE, the Argentine space agency, implements the National Space Program, which, in the near future, only includes activities around the Earth.
- b) CONAE has considered the possible need to have nuclear power available, as backup, during the early orbits of a satellite mission. In this sense, CONAE is interested in using radioisotopes with a short half life.
- c) The development of a project of this kind in Argentina entails the participation, besides CONAE, of the National Atomic Energy Commission (CNEA), regarding the fabrication of the device with a radioactive source, and the Nuclear Regulatory Authority (ARN), as the regulatory body.
- d) It has been deemed convenient that Argentina, before implementing it in a specific mission, initiates a project for the development of the nuclear source, enabled for its use in space missions, even if initially a radioisotope with a non-short half life must be used, in accordance with the guidelines of the Document Safety Framework (A/AC.105/934). See Appendix
- e) Starting this joint activity, will also allow the realization of studies and preparation of long term projects for the time when Argentina approaches the development of Missions beyond our planet Earth.

This document describes the process that leads to the inclusion of a certain source of nuclear power onboard a satellite mission previously approved according to the Argentine regulations.

This document reflects the commitment of Argentina with the Principles Relevant to the Use of Nuclear Power Sources in Outer Space approved in 1992 (47/68 General Assembly Resolution) and takes into account the recommendations and guidelines provided for

¹ *The Argentine Republic is one of the 50 original members of the Charter of the United Nations signed in 1945 and has also ratified its commitment to the terms included in the Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies (Outer Space Treaty).*

in the Safety Framework for Nuclear Power Source Applications in Outer Space (52nd Session of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space contained in A/AC.105/934.)

The process of approval of a satellite mission in Argentina is as follows:

- i) The specific satellite mission must be included in the National Space Program, which is explicitly approved by a Decree of the President of the Nation.
- ii) For the allocation of resources for the development of such satellite mission, CONAE must submit it to the Ministry of Economy, together with a first report on environmental impact, for which it is essential the first intervention of ARN in the evaluation and approval of the radiological aspects of the project in general.
- iii) Once the satellite mission project has been approved, it must be included by the Ministry of Economy and the Office of the Chief of the Cabinet of Ministers in the Budget Law Bill that the Executive (President of the Nation) submits to the National Congress for the legislative approval.

II. Rationale

The Launch and Early Orbits Phases are the most critical stages in the success of a satellite mission. When the only source of power available for the satellite are the solar panels, any failure in their deployment, in a scenario where there is no possibility of making corrective maneuvers from Earth, may result in the loss of the mission. The availability of an alternative source of power in the satellite, even with a short time of life, completely independent from the solar panels, would give operators access to enough power to analyze the causes of the failure of the deployment mechanism of the solar panels, and to take corrective actions. At this time nuclear power sources (NPS) may be considered the only option that can provide us the amount of energy, from a non solar origin, required in the initial phases.²

This paper describes a project for the development of a satellite mission that includes a Radioisotope Thermoelectric Generator (RTG) as a power backup system for the Launch and Early Orbits Phases of Earth Observation satellite missions included in the National Space Program of Argentina, and presents a description of the regulatory framework for the development of activities with radioactive sources in the country.

The paper also includes the basic features of a preliminary risk analysis for a generic satellite mission with a radioactive source. The analysis comprises the preliminary design criteria for manufacturing and testing the RTG.

² These units have been used in US and Russian satellites and spacecrafts missions for more than 40 years, for example, the Transit, Apollo, Viking, Pioneer, Voyager, Cassini, Kosmos, etc. A detailed list can be found in the References section at the end of the document.

The National Commission on Space Activities (CONAE) and the National Atomic Energy Commission (CNEA) are the two governmental organizations in charge of the project, acting under the control of the Nuclear Regulatory Authority (ARN) as the federal Organization empowered for the regulatory control of the nuclear activities in the country.

The basic requirements that will be accomplished related to the use of a RTG in a satellite mission are:

- a) The design, manufacture and assembly of the RTG shall comply with the Argentinean standards and regulations in the areas of radiological safety, physical security of the radioactive sources and transportation of radioactive material, taking into account the stages of fabrication and assembly of the whole set in the CNEA facilities and also the integration of the source in the satellite and the mechanical and thermal requirements of the different stages of the space mission.
- b) The project will be fully compatible with the criteria set in the Safety Framework for Nuclear Power Source Applications in Outer Space approved in 2009 by the Scientific and Technical Subcommittee of the United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (UNCOPUOS) prepared in conjunction with the International Atomic Energy Agency (IAEA) (A/AC105/934).

The general requirements for the interface of the satellite with the RTG are:

1. The integration of the RTG into the satellite will be done at the launch site, being one of the last tasks to be executed on the satellite prior to launch.
2. The RTG will be self-contained. The elements that constitute it must include from the electrical point of view, at least: the thermoelectric source, the thermal to electrical power converter and the external connectors to connect to the satellite.

III. Organizations Involved in the Project

The Argentinean governmental Organizations involved in this project are:

- a) National Commission on Space Activities (CONAE)
- b) National Atomic Energy Commission (CNEA)

a) National Commission on Space Activities (CONAE)

CONAE operates within the scope of the Ministry of Foreign Affairs, International Trade and Worship. It was created in 1991, as State agency for the use of science and space technology with peaceful purposes. The Argentinean space agency is in charge of designing, managing and executing space related projects and activities, with authority in the whole Argentinean territory. (www.conae.gov.ar)

CONAE's actions and projects are developed according to the National Space Program, which has been designed with an eleven years horizon, and which is periodically updated and extended to ensure that it suits the socioeconomic and productive requirements of the country. The Program was approved for first time in November 1994. To date, the 2004-2015 issue is in force. Because of its objectives, contents and continuity, the National Space Program is considered a multipartisan policy.

Since its creation, CONAE has placed three satellites into orbit: SAC-A, SAC- B and SAC-C. Soon, three more satellites will reach their orbit: SAC-D/Aquarius, SAOCOM 1A and SAOCOM 1B, all are commanded from the Teófilo Tabanera Space Center (CETT), in Córdoba province.

At present, satellite environmental tests facilities are already operative for small and medium-sized satellites. Furthermore, it has a near field test range for antenna characterization and measurements, which is one of its kind in Latin America.

The Space Center is also home to the Institute for Advanced Space Studies Mario Gulich, created in 2001 by CONAE, together with the National University of Córdoba, with the participation of the Italian Space Agency. The aim of the Institute is to train human resources for the application of information generated by satellites.

The National Space Program also has a course of action for Access to Space. To this end, CONAE is working on its own efforts to develop a national satellite launcher for its missions.

b) National Atomic Energy Commission (CNEA)

CNEA, created in 1950, is one of the main scientific and technological organizations in Argentina.

CNEA has three atomic centers (Bariloche, Constituyentes and Ezeiza), one technological center (Pilcaniyeu), four research nuclear reactors, six particle accelerators (TAN-DAR, CEMA, Linac) and three radioisotopes production cyclotrons. There are several regional delegations of CNEA related to uranium mining, four nuclear medicine centers and three university institutes.

At all these sites, more than 3000 persons are operating at relevant installations like laboratories for research, teaching, applications and technological services.

CNEA covers all national activities of research, development, applications, production, services and human resources formation in the nuclear field as well as other fields like physics, science of materials and non-conventional energies.

Two main norms rule these activities: Decree-Law N° 22.498/56 ratified by Law N 14.467, and National Law of Nuclear Activity N° 24.804.

Among the goals established for CNEA by Law N° 24.804 (www.cnea.gov.ar) are:

- Give advice to the Government on matters related to nuclear politics.
- Promote formation of highly specialized human resources, development of science and technologies in nuclear matters, including implementation of programs for the development and promotion of innovations in technology.
- Tend to transfer technologies acquired, developed and patented by CNEA, complying all non-proliferation commitments undertaken by Argentina.
- Develop applications of radioisotopes and radiations in the fields of biology, medicine and industry.
- Carry out the development of materials and processes for fabrication of nuclear fuel elements to be used in advanced cycles.
- Implementation of a program for basic and applied research in sciences related to nuclear technology.
- Promote and carry out any other study and scientific application of nuclear reactions and transmutations.

CNEA since its creation, for 60 years has developed and promoted nuclear technology in fields as energy, power reactors, research reactors, particle accelerators, radioisotope production, fabrication of sources to be used in science, medicine and industry, nuclear materials and fuel elements, nuclear installations with high radioactive inventory, radioisotope and radiation metrology, radioactive waste management, nuclear security and radiation protection, also socially significant activities like nuclear medicine, foodstuffs, farming technology, industry and environment. CNEA has also developed solar panels to be used on satellites, micro and nanotechnology, nanoscience and special sensors, derived from basic and applied sciences.

CNEA has a broad and successful experience in the technology transfer of installations and processes, performed by itself or through associated enterprises. For instance the installation of the nuclear research reactor OPAL and a radioisotope production plant in Australia, or the nuclear research reactor ETRR-2 in Egypt; in both cases the technology transfer was performed with the cooperation of the state-owned enterprise Investigación Aplicada Sociedad del Estado (INVAP).

CNEA and its associated enterprises DIOXITEK and Nucleoeléctrica Argentina (Na.-Sa.) have an extensive experience in the fabrication of high activity Co-60 industrial sealed sources (CNEA is a global purveyor), as well as Ir-192 and Cs-137 sealed sources.

CNEA has three university institutes (Balseiro, Sábato and Beninson) linked to the National University of Cuyo and to the National University of San Martín. Degree and post degree courses are given in physics, nuclear engineering, materials' science, radiochemistry, medical physics, nuclear medicine, nuclear applications, non-destructive testing and nuclear reactors. These courses teach CNEA employees as well as professionals and

technicians in Argentina and Latin-American, and are also recognized by the International Atomic Energy Agency (IAEA).

From CNEA came forth and are associated at present state-owned enterprises like INVAP, Na.-Sa., DIOXITEK, CONUAR, FAE and ENSI. CNEA has also connections with different Argentine ministries, with the National Food, Drugs and Medical Technology Administration (ANMAT), the National Industrial Technology Institute (INTI), the National Water Institute (INA) and with international organizations such as IAEA, BIPM, ICRM and International Commission on Radiological Protection (ICRP).

III.1 Activities and Role of each Organization in the project

The activities and roles of the Organizations in the project are the following:

Activity	Organization leading the activity
-2. Satellite Mission definition	CONAE
-1. Prior Report on Environmental Impact	CONAE
0. Satellite Mission Approval from Executive Branch and Congress	
1. Design and fabrication of the radioactive source including its shell	CNEA.
2. Specifications, design and fabrication of the converter to electrical power.	CONAE-CNEA.
3. Specification and design of the external electrical connection.	CONAE-CNEA.
4. Specification, design and construction of the mechanical and thermal protection shell of the RTG	CONAE-CNEA.
5. Assembly of the RTG	CONAE-CNEA
6. Design and construction of the transportation container of the RTG with its radioactive source	CNEA.
7. Transportation of the RTG from the CNEA facilities to the launch site.	CNEA.
8. Quality Assurance. Requirements of tests to be performed by CNEA.	CONAE
9. Integration of RTG into the satellite, at the launch site.	CONAE with assistance from CNEA.

10. Launch of the satellite, follow-up and performance of necessary actions during the different phases of the satellite mission.	CONAE
---	-------

III.2 Regulatory Body on radiological and nuclear safety, physical protection and control of use of nuclear materials, licensing and inspection of nuclear facilities and international safeguards.

As described in item V, the Nuclear Regulatory Authority (ARN) is the regulatory body in this matter, and the activities carried out with radioactive sources or nuclear devices in the country must comply with the regulatory standards issued by this Organization.

Consequently, all activities for the project described in item II.1 above will be subject to the necessary licensing process and regulatory inspections conducted by the ARN.

ARN will conduct, starting from the safety Framework (A/AC105/934), the preparation of regulatory standards for NPS in space.

IV. Radioisotope Thermoelectric Generator (RTG) description

This item describes the steps that CONAE, CNEA and ARN considers as required to design and develop RTG's to be used in satellite missions of CONAE.

Pu-238 and Po-210 are the radioisotopes which could be used as thermal source according to the availability of nuclear facilities for these tasks in Argentina. Pu-238 could be purchased from an international supplier; instead, the possibility that Po-210 could be produced in Argentine nuclear reactors, for instance Embalse Nuclear Power Station, has to be analyzed.

The fundamental differences between these two options are the half-life ($T_{1/2}$) and the mass required to develop the RTG. These two characteristics are significantly higher in the case of Pu-238. According to these facts, the use of Pu-238 would be the best option in order to develop the process leading to a first Argentina RTG for satellite applications. Therefore, the Pu-238 would be used in the first stages of the development or in the mean time, it could be undertaken the local production and the development of a Po-210 source (originally proposed by CONAE).

The Pu-238 ($T_{1/2}$ = 87.74 years) is an alpha emitter (5.5 MeV). Additionally, it has a little emission of low energy gamma ray. The Po-210 ($T_{1/2}$ = 138.38 days) is also an alpha emitter (5.3 MeV).

The stages and alternatives of the design and development of the generators are described in the following paragraphs.

IV.1 Radioisotope Thermoelectric Generator

The generator is composed of two main parts: 1) a sealed radioactive source; and 2) a transducer that turns the heat produced from the sealed source into electrical energy. The resulting electrical power produced by this generator depends on the heat production capacity of the source and the efficiency of the chosen transducer.

The purpose of this project is the development of a RTG with an electric power capacity of hundreds of Watts. This RTG would be used by CONAE in satellite missions for general purposes. The design of the RTG will depend on the chosen radioisotope and the necessary power for the selected application by CONAE. A modular architecture, composed of individual cells, will be used in the design (process). This process will take into account thermal stability requirements. For a given volume, the transducer surface contact will be optimized and the working independence among them will be strengthened.

IV.2 Radioactive Source

The sealed radioactive source will use PuO₂. Heat source fuel is normally enriched to 83.5% in the Pu-238 isotope. The Pu-238 to be purchased eventually will have this level of enrichment. It has to be considered that plutonium, if recently produced, has a specific power of 0.47 W/g. Nevertheless, the Pu-238 will provide the 99.9% of the thermal power as a heat source. The generation of Helium during the radioactive decay will be considered for the design. The main advantage for constructing RTG based on Pu-238 is its reasonable thermal power capacity with a long half life (as compared with Po-210). Last fact guarantee a rate of radioactive decay less than 1% per year. This will allow for a learning process that will take some years.

It is an advantage that Pu-238 sources do not require too much radiological shielding. Nevertheless, Pu-236 may be found as impurity in those sources, leading to the presence of Tl-208 (2.6 MeV) as a result of the decay chain of that radioisotope. In that case, the stated advantage is based upon the assumption that Tl-208 had decayed up to negligible levels.

The radioactive compound will be a sintered Cermet of PuO₂ in combination with Tungsten. Cermet (ceramic-metallic) encapsulation is the formation of a material matrix composed of an intimate mixture of metallic carrier material and a ceramic compound such as a radioisotope in its oxide form. The Cerium could be used during the preliminary tests as CeO₂. Such oxide is used as a surrogate for non-radioactive demonstration of Tungsten Cermet. This is because CeO₂ has similar thermo-chemical properties to radioisotope compounds such as PuO₂. The Cermet will be produced by a spark plasma sintering. This method guarantees a high quality sintering.³

³ On the contrary, for Po-210 we still have not decided on the radioactive compound.

Taking into account that the development of the source will consider a modular design, the encapsulation process of the radioactive source shall meet the following requirements: no generation of (α,n) reactions, good thermal conductivity, oxidation resistance, high temperature resistance, enough hardness, impact resistance, a high melting point, cutting resistance and pyrolysis resistance. According to those requirements, Cermet could be encapsulated inside a container made of iridium, titanium, tungsten or another hard alloy with high melting point.

Such container should guarantee a good mechanical retention of radioactive material and a good thermal conductivity. It should also provide a radiological shielding against soft X-ray and low energy gamma rays, protection against a possible reentry into the atmosphere and a good retention of Helium which is generated by alpha radiation, or porosity venting. It will be considered the convenience of using Iridium or other similar materials for this purpose.

The activities of this project will be performed in the licensed facilities of CNEA and carried out by authorized specialized personnel. New facilities or radiological cells will be constructed if necessary. Otherwise, the current facilities will be adapted.⁴

IV.3 Transducer System

Transducer systems, used in the generation of electric current or electrical power, are based on the Seebeck effect. This effect is observed when a temperature gradient exists across the junction of two different metals or semiconductors. If a bond is formed by two semiconductors, it must present two junctions. If one of the junctions shows a higher temperature than the other, a current will flow in the bond. In other words, if a dissipative load would be placed on the bond, a potential difference will be measured. Transducers, that turn thermal power of a radioactive source into electrical power, are based on this Seebeck effect. The thermoelectric power is characterized by the Seebeck coefficient. The magnitude of this coefficient shows the induced voltage. It is assumed that the hot junction of the transducer will be in touch with a surface of approximately 1000°C and the cold junction with a surface of approximately 300°C.

The RTG will use Si-Ge transducers. In that case, the conversion of heat into electrical power will reach an efficiency of 7%. The Seebeck coefficient is about 135 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ in the Si-Ge junctions. These values set a limit on the thermal power performance. They also determine the mass of Pu-238 of the radioactive source in order to reach the minimum electrical power for the required application. The transducers can be purchased on the international market. Previous thermal analysis will be tested on the whole system. The emissivity and the heat sink will have to reach certain values and dimensions in order to achieve the best balance in the power delivery system. The transient state will be analyzed, as well.

⁴ On the contrary, CNEA have no facilities for Po-210 handling, consequently they will have to be developed, with the corresponding investment.

IV.4 Radioactive source and the radioisotope thermoelectric generator testing

The tests and quality controls of radioactive source will be performed in accordance with ISO 2919 Standard. It will also take into account the regulatory requirements of ARN and the recommendations of the Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources approved by IAEA.

The RTG will be tested according to the conditions specified by CONAE. The testing process will represent similar conditions of the launching and the space environment, such as vibration or temperature changes.

All the development, assembly, testing and controls will be made in properly qualified facilities licensed under ARN regulations. The whole project will be developed according to a quality system in compliance with CONAE requirements.

V. Generic Safety and Risk Analysis

V.1 Initial considerations for the risk analysis

1. The elements of this Project can be divided into three parts with clear interfaces:
 - a) Radioisotope Thermoelectric Generator source (RTG)
 - b) Satellite.
 - c) Launcher.
2. The risk analysis will consider typical features of each of the elements above listed, taking into account that neither the design of the RTG is still available, nor the type of satellite and the launching site are yet selected
3. The analysis will be focused on the risks arising from the inclusion of a radioactive source in a satellite.

V.2 Input elements for the risk or hazards analysis

1. The analysis shall cover the behavior of the RTG in the entire mission since the initial phases (pre-launch, launch and early orbits) up to the end of the mission life.
2. The launchers that will be used for this mission have some stage of liquid propellant and may have a solid propellant stage.
3. The satellite may be remotely monitored up to the moment of launching, but physical access to it is restricted during the last week
4. The launcher trajectory up to its placement into orbit is primarily over the sea. Even though there are some launchers that fly over land, these are not taken into account for this analysis.
5. The Project shall comply with the regulatory requirements of ARN. To this end, an analysis of optimization of the radiological protection systems of the set RTG-Launcher-Satellite will be performed, evaluating different designs of the radioactive

source that allow to reduce the potential exposure of people and the exposure of the environment and to reduce the possibility that security of radioactive source be affected during the different stages described in point 6. To this end, the security and radiological protection aspects associated to each stage shall be taken into account.

6. The stages of the set RTG-Satellite-Launcher will be:

Stage	Activity	Location	Period of Time
Pre-F1	Fabrication, internal & acceptance tests, mechanical, thermal & functional testing...	Ad-hoc facilities	T0-Development
F1	During mechanical and electrical installation of the component into the satellite.	Launching pad	T0 – 1 week.
F2	During check-up of the launch vehicle by its specialized personnel.	Launching pad	T0 – 1 week - T0 – 5 minutes
F3	Before lift-off, when the propulsion engines of the first stage are just ignited.	Launching pad	T0 – 5 minutes - T0 + 5 seconds
F4	During the ascent phase with visibility from the ground station.	Flight	T0 + 5 seconds - T0 + 1 minute
F5	During ascent to enter into orbit, considering trajectory over sea.	Flight	T0 + 1 minute - T0 + 60 minutes
F6	Orbit injection	Orbit	T0 + 60 minutes - T0 + 90 minutes
F7	First use of the propulsion system (for satellite emergency).	Orbit	T0 + 90 minutes - T0 + 1 day
F8	Satellite transfer to lower orbit (*).	De-Orbit	T0 + 1 day T0 + EOL
F9	Satellite transfer to higher orbit (**)	De-Orbit	T0+1day – T0+EOL

T0 = Launch

EOL= End of Life (mission life)

(*) Applicable if Po-210 is used

(**) Applicable if Pu-238 is used

V.2.a. Initial Stages (Pre-F1)

1. Actions associated to fabrication are not included in this report.
2. The actions associated to RTG internal testing are not included in this report. .
3. Acceptance Tests.
 - a) Measurement of emerging radiation. CNEA
 - b) Mechanical testing. CNEA-CONAE.

- c) Thermal testing. CNEA-CONAE.
 - d) Functional testing. CNEA-CONAE.
 - e) EMI-EMC test. CNEA-CONAE.
- 4. Reports. CNEA
 - 5. Transportation testing (TBD).

V.3 Output elements of the risk or hazard analysis

1. To identify for each phase the inherent hazards, the likelihood of occurrence and the associated risk.
2. To identify all the interfaces between the actors in this Project that may lead to increase the likelihood of occurrence in case of skipping a check-point.
3. To identify all prior tests and check-ups needed to reduce likelihood of the hazardous event.
4. To identify external factors that must be controlled up to the moment of losing contact with the hardware.
5. To identify all parameters that must be checked during the flight of the satellite.
6. To identify key personnel that must be present in each stage of the process.
7. To determine the worst case scenarios (unlikely cases but with potentially severe consequences) to perform a detailed analysis.

V.3.a. Risk scenarios

The different risk situations in the different stages of the Missions detailed in the previous item may be grouped in the following situations:

1. Failure of payload in the launcher followed by explosion/fire of propellant with reduced radiological risk in case of an eventual loss of integrity of the radioactive source in the RTG and spread of radioactive contamination at the site
2. Failure of launcher in the launch pad followed by explosion/fire of propellant, with reduced radiological risk in case of an eventual loss of integrity of the radioactive source in the RTG and spread of radioactive contamination at the site
3. Mechanical impact followed by fire of propellant after a failure in the launch phase. Mechanical and thermal shock with dispersion of radioactive material and contamination of wide area around launch pad.
4. Accidental re-entry during suborbital or orbital track. Mechanical and thermal shock with loss of integrity of the radioactive source, and the following alternatives:
 - a. Dispersion of radioactive material and contamination of an area of regional impact, causing exposure of environment and potential exposure of people.
 - b. If there is no dispersion of radioactive contamination but the radioactive source is fragmented in several pieces (hot particles), there is a risk of un-

controlled access of members of the public to the pieces of radioactive material resulting in exposure of people and security concerns.

Such situations may be associated to events like:

1. Explosion due to excessive pressure
2. Accidents due to meteorological situations
3. Impact of fragments at high velocity
4. Propellant fire
5. Friction heat in an accidental re-entry
6. Mechanical impact on Earth after a re-entry
7. Long term exposure in a corrosive environment (ex.: under the ocean)

We can evaluate the different situations considering their likelihood and the associated radiological risk. This enables us to prepare the following risk matrix and consider the necessary actions to reduce the radiological risks.

Those actions shall be mainly focused on a proper design of the radioactive source and the RTG, and the tailored satellite construction for phases F8 and F9.

Risk Statement			Likelihood	Impact	Mission Phase
Condition	Consequence	Radiological Risks			
Fall of component during its rising to integration station in the launcher vehicle	Since it is 10 meters above ground there is possibility of damage to the metallic cover	Dispersion of radioactive material and contamination of the launch site due to loss of integrity of the radioactive source	Very Low	Very Low	F1
Short-circuit during assembly	Possible increase of temperature due to incineration of electric components	Dispersion of radioactive material and contamination of the launch site due to loss of integrity of the radioactive source	Low	Very Low	F1
Fall of launch vehicle due to tornadoes, electrical storms	Damage of the metallic cover	Dispersion of radioactive material and contamination of the launch site due to loss of integrity of the radioactive source	Very Low	Very Low	F1, F2, F3
The RTG does not respond to checking	RTG cannot be used	Not applicable	Very Low	None	F2
Short-circuit in the launch vehicle during routine checking	Start up of a sequence resulting in unplanned engine ignition generating explosions or fall of the launch vehicle	Dispersion of radioactive material and contamination of the launch site due to loss of integrity of the radioactive source	Very Low	Medium	F2

Risk Statement			Likelihood	Impact	Mission Phase
Condition	Consequence	Radiological Risks			
Failure of engine ignition	Explosion and destruction of launch vehicle; mechanical and thermal Shock	Dispersion of radioactive material and contamination of an area around the launch site due to loss of integrity of the radioactive source	Very Low	Very High	F3
Activation of destruction system	Destruction of launch vehicle and satellite; mechanical and thermal Shock	Dispersion of radioactive material and contamination of an area around the launch site due to loss of integrity of the radioactive source	Very Low	Very High	F3
Launch trajectory is not correct	Fall of satellite on land or sea, with mechanical and thermal shock	Dispersion of radioactive material and contamination of an area of impact, potential exposure of people and environment, due to loss of integrity of the radioactive source.	Low	Very High	F4
Explosion of rocket during ascent	Mechanical and thermal shock, destruction of satellite	Dispersion of radioactive material and contamination of a regional area of impact, potential exposure of people and environment, due to loss of integrity of the radioactive source.	Very Low	Very High	F4, F5
Correct orbit cannot be reached	Possible re-entry into atmosphere, destruction of source against land or sea surface	Dispersion of radioactive material and contamination of an area of regional impact, causing exposure of environment and potential exposure of people. Alternatively if radioactive source is fragmented: risk of uncontrolled access of members of the public to pieces of radioactive source causing exposure of persons and security concerns.	Low	Very High	F5, F6, F7, F8
Impact with Space Debris	Mechanical damage. Rupture of radioactive source and possible accidental re-entry	Dispersion of radioactive material and contamination of an area of regional impact, causing exposure of environment and potential exposure of people. Alternatively if radioactive source is fragmented: risk of uncontrolled access of members of the public to pieces of radioactive source causing exposure of persons and security	Low	High	F8F9

Risk Statement			Likelihood	Impact	Mission Phase
Condition	Consequence	Radiological Risks			
		concerns.			
RTG fails to function	RTG cannot be used	Not applicable	Very Low	None	F7
De-orbit before EOL	Re-entry to atmosphere before desired time. Mechanical and thermal shock, destruction of satellite	Dispersion of radioactive material and contamination of an area of regional impact, causing exposure of environment and potential exposure of people. Alternatively if radioactive source is fragmented: risk of uncontrolled access of members of the public to pieces of radioactive source causing exposure of persons and security concerns.	Low	Very High	F9

In the design and tests of the RTG the emphasis will be to mitigate any high and very high impact situation

VI. Regulatory framework (ARN)

VI.1 Radiation protection and nuclear safety in Argentina, in the national and international context

By Decree Law 10936 of May 31, 1950 the Argentine government assumed the regulatory control of official and private atomic research made throughout the nation, to protect individuals against the harmful effects of ionizing radiation and to ensure the proper use of atomic energy in activities such as: the economy, medicine, industry, transport, etc.

These attributes were confirmed and extended in 1956 by Law 22498/56 that defined a national regulatory authority in the nuclear field, particularly in all matters relating to the protection of individuals and their environment against the harmful effects of ionizing radiation, to the safety of nuclear facilities and to the control of the end-use of nuclear material.

In the regulatory aspects of radiation safety, it is worth noting that already in 1966 the country put into effect the Basic Standards on Radiological and Nuclear Safety, which set the objectives for radiation protection of workers and members of the public, and for ra-

diological and nuclear safety of installations, that had to be complied with by all the nuclear activities, as well as the requirements to be met to achieve those goals.

Significantly, the regulatory standards in Argentina have always been consistent with the standards established by the International Atomic Energy Agency (IAEA) on the subject.

VI.2 The Nuclear Regulatory Authority, legal and regulatory framework of its activities

Taking into account the magnitude and maturity achieved by nuclear activities in the country, the Argentine government in 1994 decided to create an independent body for the regulation and control of all nuclear activities. To this end, by Decree 1540/94, the National Nuclear Regulatory Body (ENREN) was created as an autonomous Organization depending directly from the President's Office.

Later, in 1997, Law 24,804, called the National Law of Nuclear Activity, provides that the functions of regulation and supervision would be assigned to the Nuclear Regulatory Authority (ARN) as the successor of ENREN.

The Law assigned to the ARN the following responsibilities:

- 1) To protect people against harmful effects of ionizing radiation;
- 2) Ensure the radiological and nuclear safety of nuclear activities in Argentina;
- 3) Ensure that nuclear activities are not performed with purposes not authorized by this Law, by the standards issued in pursuance thereof, by international commitments and nuclear non-proliferation policy undertaken by Argentina, and
- 4) Prevent intentional acts that can lead to severe radiological consequences or to the unauthorized removal of nuclear materials or other materials or equipment subject to regulation and control under the provisions of this law.

Decree 1390 of November 27, 1998 regulates the law defining the scope and procedures to facilitate its implementation.

The following attributions of the ARN, as provided by law, are worth noting:

- 1) To establish regulatory standards relating to nuclear and radiological safety, physical protection and control of use of nuclear materials, licensing and inspection of nuclear facilities under international safeguards, and nuclear and radiological safety and physical protection aspects of the transport of nuclear material;
- 2) Establish, in accordance with international standards, safety standards on radiological and nuclear protection for the personnel working in controlled facilities;
- 3) Grant, suspend and / or revoke licenses, permits or authorizations;
- 4) Perform regulatory inspections and evaluations at facilities subject to monitoring and control by the Nuclear Regulatory Authority, where nuclear or radioactive materials is used, handled, produced, stored, etc.;

- 5) Apply sanctions in cases of non-compliance with standards and / or regulatory licenses, and
- 6) Evaluate the environmental impact of any practice that is licensed, these activities include monitoring activities, analysis and follow-up actions of the incidence, evolution and possible environmental damage derived from the licensed nuclear activities.

In support of its activities, the ARN has laboratories and appropriate equipment and specialized personnel, who carry out the necessary scientific and technical procedures.

The ARN is actively involved in the negotiation of international instruments related to the nuclear regulatory activities, in this context it is an active member in the Commission on Safety Standards of the IAEA and participates in its four international committees.

Moreover, the ARN participates in the work of the International Commission on Radiological Protection (ICRP) that provides the conceptual basis for the radiation safety regulations applied internationally.

The constant improvement of nuclear and radiological safety in the Latin American Region is a strategic objective of the ARN, and the ARN has accordingly strengthened relationships with other regulatory authorities of the region and is a founding member of the Iberoamerican Forum of Radiological and Nuclear Regulators.

Through its connections with scientific institutions and national nuclear companies, the ARN has the possibility to expand its capacity for analysis and evaluation on specific issues related to its regulatory function. In addition, its relationship with other international organizations in the regulatory and radiological protection field allows it to interact in a cooperative context.

The following are some of the institutions and organizations with which the ARN has close ties:

- IAEA (International Atomic Energy Agency) based in Austria.
- NRC (Nuclear Regulatory Commission), USA.
- DOE (Department of Energy), United States.
- EURATOM (European Atomic Energy Community).
- CNEN (National Nuclear Energy Commission), Brazil
- CEA (Commissariat à l'Energie Atomique), France.
- DGSN (Nuclear Safety Directorate), France.
- IRSN (Institute for Radioprotection and Nuclear Safety), France.
- HPA (Health Protection Agency), UK.
- ARCAL (Regional Cooperative Agreement for the Promotion of Science and Technology in Latin America and the Caribbean).
- TÜV NORD / SUD (Überwachungs Technischer Verein), Germany
- GRS mbH (Gesellschaft für Anlagen-und Reaktorsicherheit), Germany

VI.3 Legal framework, licensing and monitoring of nuclear activities

The development and manufacture of an energy source for a satellite using radioactive material, has to be performed in facilities operated by the Argentine National Atomic Energy Commission (CNEA) and specifically licensed by ARN for such purpose.

Moreover, the use of radioactive sources in satellite applications is part of the attributions of the Argentine National Commission on Space Activities (CONAE). This use is also subject to a licensing process by the ARN.

The ARN licenses and inspects all nuclear facilities, including those engaged in the nuclear fuel cycle, the manufacturing of sealed radioactive sources, the production of unsealed radioactive sources, as well as the use of radioactive sources in medical, industrial, research and teaching applications.

To this end, the ARN has issued a set of regulatory standards published on its website (www.arn.gob.ar), which lay down the objectives of nuclear and radiation safety to be achieved for the undertaking of any activity employing radioactive material and ionizing radiation. Moreover, the staff in charge of any such activity must be adequately trained and authorized to use radioactive material.

VI.3.a. Licensing process for the development and manufacture of energy sources using radioactive material

Any activity with radioactive or nuclear material involving amounts above the exemption levels specified in the national regulatory standards, such as importation, irradiation, use, production, isotope separation, purification, transportation, exportation and / or waste management of radioactive material, shall only be undertaken with a license, permit or authorization granted by the ARN.

These permits/licenses/authorizations must be requested by a Responsible Entity, meaning the organization that assumes responsibility for the radiological and nuclear safety of the facilities, and for the radiological protection of the workers, the public and the environment.

The Responsible Entity must make a commitment to do everything reasonably achievable regarding safety and, as a minimum, must comply with all the standards and requirements of the regulatory body. This responsibility cannot be transferred, even in the case the practices may be implemented by third parties.

The licensing process begins with the presentation by the Responsible Entity of the technical documentation with the appropriate radiation safety and security evaluation of the practice. Emphasis is made on the fact that the risk analysis and contingency plans provided for each stage of the process are outstanding relevant items in this documentation.

In the specific case of the design and development of a radioactive source, the Responsible Entity must ensure radiation safety throughout its usage, for which among other things; the source must be appropriately qualified by tests tailored to the demands that it will be submitted during its use. With regards to this, the regulator must have access to the information during all stages of design, construction, testing and assembly of the source so as to proceed with the licensing of the associated practices.

According to its complexity, the facilities that develop and manufacture the radioactive source are classified according to the associated radiological risk and require a licensing process with one or more steps. It is worth mentioning that the most important facilities from the point of view of radiation, nuclear and physical safety and safeguards, usually require a process that includes construction, commissioning, operation and decommissioning licensing. In contrast, non-routine radiological practices are evaluated on a case by case basis.

If the development of the radioactive source is made within an already licensed facility, the licensing process will comprise only one step, for which the ARN will require among other things, the conditioning of the installation and that the technical documentation be updated taking into consideration the new process, that of building sources.

One thing worth stating is that in the particular case of radioactive sources, the ARN owns and operates a database that is constantly updated to maintain a complete inventory of sources within the national territory, which contributes to the regulatory control of the sources. Furthermore, the ARN controls all imports and exports of radioactive materials for whatever use or destination, and adheres to the Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources of the IAEA.

In the case of imports and exports of radioactive material for the manufacture of the sources, the Responsible Entity must certify compliance with the standards of the ARN for the transport of these materials. This legislation is fully compatible with the Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material approved by the IAEA.

For the purposes of licensing, the ARN independently evaluates the radiological aspects associated with both normal operation and accidental situations of the practices. This includes the justification, compliance with dose limits, the optimization of radiation protection, environmental impact and, if applicable, the associated aspects of nuclear safety and security.

Once the independent evaluation is completed, the ARN issues a license that establishes the requirements to be met by the Responsible Entity.

It should be emphasized that any authorization or license issued by the ARN ensures compliance with international commitments assumed by the country. Licenses and / or permits issued have a fixed period of validity and its validity is subject to compliance by the Responsible Entity of the terms contained therein. The ARN, as the verification and control Organization, has the authority to verify compliance with these conditions, for

which it has a staff of qualified inspectors with unrestricted access to facilities that use radioactive material.

VI.3.b. Licensing the use of radioactive sources in satellites starting from the assembly phase

For the stages of assembly of the radioactive source in the satellite, and its transport and launch from Argentine territory, the Responsible Entity is the CONAE, for which the Organization must request for these tasks the corresponding authorizations from the ARN.

In this particular case and once the ARN has verified compliance with the radiation safety requirements of the corresponding standards, it will give the CONAE a "Non-routine Practice Authorization for the Installation and use of a Radioactive Source in the Satellite" whose validity will be subject to compliance with the conditions under which it has been granted.

As part of the request for an authorization, the CONAE must submit a Safety Report covering at least the following aspects:

- Justification of the practice;
- Description of the practice, the means to carry it out (radioactive source, personnel, facilities, intervening third party organizations, etc.) and schedule of activities;
- Integrated approach for evaluating radiation safety practice, considering the aspects of the satellite, the radioactive source and the launcher, including the measures to minimize as much as possible the risk of potential exposure in each of the foreseeable accident scenarios;
- Emergency Plan for the "Non Routine Practice ", including the assessment of collective dose for each accident scenario considered. It should also describe the mitigation measures provided in case of accidents in each of the stages, such as during the launch, early orbit or during a possible re-entry into the atmosphere, and
- Records and reports prepared for the ARN during the assembly stage, launch and operation of the satellite.

In its regulatory supervisory role, the Regulator will undertake inspection of the facilities where installation of the radioactive source to the device is undertaken. In addition, it will monitor radiation safety conditions in the needed transportation and will require information update of the satellite with the radioactive source after launching and in any eventual accident situations.

With regards to nuclear and radiological emergencies, the ARN is, according to the provisions of the Law of Nuclear Activity, the competent body of the National Government

to establish guidelines and criteria at the national, provincial and municipal levels and to assess and approve the plans, programs and procedures relating to these emergencies.

Approval of these plans includes exercises with the aim of testing their effectiveness and validity. These exercises not only involve the Responsible Entity but also to external organizations identified in those plans (civil defense, fire-fighters, police, hospitals, etc.).

The ARN has a Radiological and Nuclear Emergency Intervention System, which is responsible for coordinating the actions of other external organizations involved, as well as the medical response for the attention of people exposed to ionizing radiation in these emergencies.

This emergency response system operates from a Control Centre where assessment, communications, public communicator groups and medical specialists work.

To this end, ARN has established treaties and cooperation agreements with Civil Defense, the Ministry of Health of the Nation, the Federal Police, the National Gendarmerie, the Coast Guards and Customs among others.

VI.3.c. Responsibility and delegation of tasks

For space applications, the Responsible Entity is the Argentine National Commission on Space Activities (CONAE) and in the specific case for obtaining and / or local production of radioactive sources the Responsible Entity is the Argentine National Atomic Energy Commission (CNEA) in its capacity as operator of the nuclear installations where the obtainment or manufacture of these sources will be carried out.

In the event that a Responsible Entity delegates all or part of the task to be performed, it maintains its corresponding responsibility towards the ARN and must supervise appropriately the performance of the tasks. Note that any practice involving the use of radioactive materials, delegated to third party organizations, must be performed by organizations owing the necessary license or permit granted by the ARN.

In addition, the Responsible Entity must have the suitable staff (as necessary licensed by the ARN) and the means to carry out these tasks in the radiation safety conditions laid down in the legislation, and in the regulatory requirements and conditions set forth in the "Non-routine Practice Authorization" granted by the ARN.

VII. References

The Role of Nuclear Power and Nuclear Propulsion in the Peaceful Exploration of Space – *Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA), 2005*

Safety Framework for nuclear power source applications in outer space – *Vienna: Jointly published by the United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, Scientific and Technical Subcommittee (UNCOPUOS S&TC) and the International Atomic Energy Agency (IAEA), 2009, http://www.oosa.unvienna.org/pdf/reports/ac105/AC105_934S.pdf*

“Design Characteristics and Fabrication of Radioisotope Heat Sources for Space Missions”. Gary Rinehart, *Progress in Nuclear Energy*, vol. 39, 3-4, 305-319, 2001.

“Safe Radioisotope Thermoelectric Generators and Heat Sources for Space Applications”. R.C. O’Brien, R.M. Ambrosi, N.P. Bannister, S.D. Howe, H.V. Atkinson, *Journal of Nuclear Materials*, 377 (2008) 506-521).

“Light-Weight Radioisotope Heater Unit impact tests”. M.A.H. Reimus et al. CP420, *Space Technology and applications International Forums-1988*.

“Overview of the U.S. Flight Safety Process for Space Nuclear Power”. Gary L. Bennett, *Nuclear Safety Vol. 22, No 4, July-August 1981*.

“Thermoelectrics handbook: macro to nano”. *CRC David Michaël Rowe*.

“Thermoelectrics handbook”. *CRC David Michael Rowe*.

“Chemistry, Physics and Material Science of Thermoelectric Materials”, *Edited by M.G. Kanatzidis, S.D. Mahanti and T.P. Hogan, Kluwer Academic 2003 N.Y.*

“The safety Review and Approval Process for Space Nuclear Power Sources”, Gary L. Bennett, *Nuclear Safety Vol. 32, No 1, January-March 1991*.

Law 24.804 “National Law of Nuclear Activity ” <http://www.arn.gov.ar/Ley%20nuclear/index.HTM>

ARN Regulatory Standards - <http://www.arn.gov.ar/normas/index.htm>

ARN Regulatory Guides - <http://www.arn.gov.ar/Guias-R/index.htm>

Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources, *IAEA., Viena , 2004*.
http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Code-2004_web.pdf

Appendix

SAFETY WORKSHOP FOR SPACE NUCLEAR POWER SOURCES: THE ROADMAP FOR ITS IMPLEMENTATION IN A SPECIAL CASE FOR ARGENTINA

Correlation between the NPS Implementation Case in Argentina and the Safety Framework for the Use of Nuclear Power Sources in Outer Space

In his *Introduction to the Workshop (First draft)*, the Chairman of the Working Group on Nuclear Power Sources, Sam Harbison, lists the expected outcomes of the presentations in the Workshop, emphasizing that they will

- (a) lead to a sharing of information and best practices about the implementation of the Safety Framework
- (b) help to identify any challenges faced in the implementation of the Safety Framework
- (c) establish a sound basis for a possible two further workshops in 2012 and 2013
- (d) provide information of assistance to the NPS Working Group in its deliberations about any potential future work to promote and facilitate implementation of the Safety Framework.

Question: Have all of any of the goals stated by the Chairman been achieved?

To answer this question, the first thing we must take into account is that the document presented is the first joint incursion of the three technical bodies of Argentina involved in the development and possible use of Nuclear Sources in space. A special effort has been made to follow, in the elaboration of the document, the guidelines of the Safety Framework (Document A/AC.105/934).

Therefore, the presentation fits under point b) of the Strategy of the Work Plan, which states:

- (b) Member States and international intergovernmental organizations considering or initiating involvement in space NPS applications will be invited to summarize their plans, progress to date and any challenges faced or foreseen in implementing the Safety Framework or specific elements thereof.***

Having pointed out this, let's see the main aspects of the Safety Framework and how they have been, or will be, taken into account in the Project proposed by CONAE. To this end, we will follow each of the relevant items of Document A/AC.105/934.

2.- Safety Objective: *The fundamental safety objective is to protect people and the environment in Earth's biosphere from potential hazards associated with relevant launch, operation and end-of-service phases of space nuclear power source applications.*

The whole document of the Project reflects the special effort made to fulfill this goal.

3.- Guidelines for Governments:

3.1.- Safety policies, requirements and processes: *Governments that authorize or approve space nuclear power source missions should establish safety policies, requirements and processes.*

The document clearly notes the intervention of both the Executive and the Legislative Branches of the Government at the beginning of the whole process (with the supervision and independent control of ARN).

3.2.- Justification for space nuclear power source applications: *The government's mission approval process should verify that the rationale for using the space nuclear power source application has been appropriately justified.*

As it was mentioned in the introduction of the document, in the case of a country like Argentina, the Rationale for the use of NPS in Low Earth Orbit is the possibility of having available an alternative source of energy to prevent the loss of the satellite due to power failure at the beginning of the mission.

Further to this, the primary goal for the Project presented is to implement in Argentina a culture of using nuclear sources in space, more than justify its use onboard a specific mission.

3.3.- Mission launch authorization: *A mission launch authorization process for space nuclear power source applications should be established and sustained.*

The document presented is based on the premise that if Argentina decided to develop a mission of the said characteristics, it should have by that time its own satellite launchers. Otherwise, it should have agreed from the beginning of the mission the provision of the launch services with a country with launching capacity. In this aspect, a first difficulty arises between the reasons for the use of NPS in low orbit and the country that provides the launch Service.

This is an aspect that we consider presents one of the biggest difficulties for the inclusion of nuclear sources onboard space Missions, either in an orbit around the planet Earth or beyond, for countries that do not possess their own launching capacities.

Possibly, one of the issues that would be convenient to address in the Working Group is that of proposing guidelines in the Safety Framework that contemplate the case of those countries that wish to realize Missions with nuclear power sources, and do not have their own launching capacities to place those Missions into orbit.

3.4.- Emergency preparedness and response: *Preparations should be made to respond to potential emergencies involving a space nuclear power source.*

In the case of launching the mission from Argentine territory, the document states that the procedures approved by ARN would be applied.

We consider that one of the issues that should be discussed in the NPS WG is how to coordinate the actions with other countries over which the space mission would fly, in the case of accident of satellites in Earth orbit or outer space Missions that fail to follow their trajectory.

4.- Guidance for Management:

4.1.- Responsibility for safety: *The prime responsibility for safety should rest with the organization that conducts the space nuclear power source mission.*

Although it is not elaborated with the level of detail stated in the Safety Framework, the document presented in the Workshop clearly establishes that the prime responsibility lies in CONAE, the organization responsible for the space mission.

Particularly, as is established in this point of the Safety Framework, the specific safety responsibilities are clearly imposed by the applicable Argentine legislation.

4.2.- Leadership and management for safety: *Effective leadership and management for safety should be established and sustained in the organization that conducts the space nuclear power source mission.*

Although it is not elaborated with the level of detail stated in the Safety Framework, the document presented in the Workshop clearly establishes that the compliance with norms demanded by ARN can only be achieved with an adequate management, appropriately led, that respect the culture of safety. This is why an emphasis was made on ARN and its role in the processes that handle radioactive material in Argentina and the demands that these activities impose on the other two actors: CONAE and CNEA.

5.- Technical Guidance:

5.1: Technical competence in nuclear safety: *Technical competence in nuclear safety should be established and maintained for space nuclear power source applications.*

Although it is not elaborated with the level of detail stated in the Safety Framework, the document presented in the Workshop clearly establishes that the technical bodies of Argentina involved in the process of utilization of nuclear power sources in space have the appropriate technical competence as regards to nuclear safety.

5.2- Safety in design and development: *Design and development processes should provide the highest level of safety that can reasonably be achieved.*

Although it is not elaborated with the level of detail stated in the Safety Framework, the document presented in the Workshop clearly establishes that the designs and developments of the NPS and its integration into a space vehicle will be realized with the greatest respect to the matters of nuclear safety, all of that under the continuous control of ARN.

5.3- Risk assessments: *Risk assessments should be conducted to characterize the radiation risks to people and the environment.*

The document presents a first approach, quite detailed, of the Risk Assessment. Of course, this is a dynamic process that will receive feedback from the learning generated by the advancement of the Project itself, which will be reflected in the improvement of the Risk Analysis & Assessment.

5.4.- Accident consequence mitigation: *All practical efforts should be made to mitigate the consequences of potential accidents.*

This issue is not addressed in the document. It is one of the most difficult aspects to address given the difficulties stated in points 3.3 and 3.4.

Resumen de la presentación de la República Argentina

“Seminario sobre Fuentes de Energía Nuclear en el Espacio: el camino a seguir para su implementación en un caso especial para la Argentina”.

La República Argentina se encuentra trabajando a fin de establecer el procedimiento interno para la inclusión de fuentes de energía nuclear en satélites de Observación de la Tierra (OT); en particular para asegurar la adecuada disponibilidad de energía durante las órbitas tempranas. Con este fin, se están considerando radioisótopos de vida media corta.

En la definición del proyecto trabajan conjuntamente la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) a fin de cubrir las necesidades de las misiones satelitales del Plan Espacial Nacional y cumplir con los compromisos internacionales.

La Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) está a cargo de la autorización y fiscalización de la inclusión de fuentes de energía nuclear en satélites de Observación de la Tierra, a fin de garantizar que el diseño y el uso de las fuentes sea totalmente compatible con los estándares de seguridad radiológica de la Argentina y con el Marco de Seguridad de ONU/OIEA.

Tabla de Contenidos

I.	Introducción	4
II.	Fundamentos.....	5
III.	Organismos involucrados en el proyecto	6
III.1	Actividades y Roles de cada organismo	9
III.2	Órgano regulador en materia de seguridad radiológica y nuclear, protección física y fiscalización del uso de materiales nucleares, licenciamiento y fiscalización de instalaciones nucleares y salvaguardias internacionales.....	10
IV.	Descripción del Generador Termoeléctrico Radioactivo (GTR).....	10
IV.1	Generador Termoeléctrico Radioactivo (GTR):	11
IV.2	Fuente Radiactiva	11
IV.3	Sistema Transductor.....	12
IV.4	Ensayos de la Fuente Radiactiva y del Generador Termoeléctrico (GTR)	13
V.	Análisis genérico de Riesgos y seguridad.....	13
V.1	Consideraciones iniciales para el análisis de riesgos.....	13
V.2	Elementos de entrada para el análisis de riesgo o peligros.....	14
V.2.a.	Etapas Iniciales (Pre-F1).....	15
V.3	Elementos de salida del análisis de riesgos o peligros.....	15
V.3.a.	Escenarios de Riesgo	16
VI.	Marco regulatorio (ARN).....	19
VI.1	La protección radiológica y seguridad nuclear en la Argentina, en el contexto nacional e internacional	19
VI.2	La Autoridad Regulatoria Nuclear, marco legal y regulatorio de sus actividades.....	19
VI.3	Marco normativo, licenciamiento y fiscalización de las actividades nucleares.....	21
VI.3.a.	Proceso de licenciamiento para el desarrollo y fabricación de fuentes de energía utilizando material radiactivo.....	22
VI.3.b.	Licenciamiento del uso de fuentes radiactivas en satélites a partir de la fase de montaje	

VI.3.c.	Responsabilidad y delegación de tareas.....	25
VII.	Referencias.....	25

I. Introducción ¹

Hace ya diez años, el responsable de la agencia correspondiente de un país con actividad espacial muy relevante, afirmó en una conferencia, que sin energía nuclear no habría mucho futuro para los proyectos espaciales. Desde ya se refería a las misiones extraterrestres.

El documento que se va a presentar a continuación se refiere sin embargo a la posible utilización de energía de origen nuclear, en condiciones especiales, para misiones satelitales en órbita Terrestre.

Esta presentación es efectuada desde el punto de vista de un país que no tiene experiencia en el uso de fuentes de energía nuclear en el espacio pero si una amplia experiencia en el campo de la energía nuclear (Introduction to the Workshop, Strategy, Point 6).

Las razones para encarar el tema, por parte de la CONAE, son las siguientes:

- a) La CONAE, agencia espacial de Argentina, desarrolla el Plan Espacial Nacional, que no prevé, en el futuro cercano, actividades espaciales fuera de la órbita terrestre.
- b) La CONAE se ha planteado el tema de la posible necesidad de contar, como reaseguro, con energía de origen nuclear en el transcurso de las primeras órbitas de una misión satelital. En este sentido la CONAE está interesada en radioisótopos de vida media corta.
- c) Para el desarrollo de este tipo de proyectos, en Argentina deben intervenir además de la CONAE, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) en lo que respecta a la fabricación del dispositivo con fuente radioactiva y la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) como entidad reguladora.
- d) Se ha determinado la conveniencia de que la Argentina, encare, antes de su implementación en una misión específica, un proyecto de desarrollo de fuente nuclear, habilitada para uso espacial, aunque sea utilizando inicialmente radioisótopos de vida media no corta, en concordancia con los lineamientos del Documento "Marco de Seguridad" (A/AC.105/934). **Ver Apéndice**
- e) El inicio de estas actividades conjuntas permite además el estudio y preparación de proyectos a largo plazo, para el día que Argentina encare misiones extraterrestres.

El documento que se presenta describe el proceso que conlleva a la inclusión de una determinada fuente de energía nuclear a bordo de una misión satelital que ya ha sido previamente aprobada, acorde a la normativa de Argentina.

El presente documento refleja el compromiso de Argentina con los **Principios pertinentes a la utilización de fuentes de energía nuclear en el espacio ultraterrestre**

¹ La República Argentina es uno de los 50 miembros originales de la Carta de las Naciones Unidas firmada en 1945 y también ha ratificado su compromiso con los términos del Tratado sobre los principios que deben regir las actividades de los Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes (Tratado del Espacio Ultraterrestre).

aprobados en 1992 (Resolución de la Asamblea General 47/68) y tiene en cuenta las recomendaciones y lineamientos establecidos en el **Marco de seguridad relativo a las aplicaciones de fuentes de energía nuclear en el espacio ultraterrestre** (52ª Sesión de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, documento A/AC.105/934.)

El proceso de aprobación de una misión satelital en Argentina es el siguiente:

- i) La misión satelital específica debe estar incluida en el Plan Espacial Nacional, que es aprobado explícitamente por Decreto del Presidente de la Nación.
- ii) Para la asignación de recursos para el desarrollo de dicha misión satelital, la CONAE debe presentar la misma al Ministerio de Economía, acompañado de un primer informe de impacto ambiental, para lo cual es esencial la primera intervención de la ARN en la evaluación y aprobación de los aspectos radiológicos del proyecto en general.
- iii) Una vez aprobado el proyecto de misión satelital, debe ser incluido por el Ministerio de Economía y la Jefatura de Gabinete de Ministros en el proyecto de Ley de Presupuesto, que el poder ejecutivo (Presidente de la Nación) remite al Congreso de la Nación para aprobación legislativa.

II. Fundamentos

La fase de lanzamiento y las primeras órbitas de un satélite son las etapas más críticas para el éxito de una misión satelital. Si el satélite no cuenta con otra fuente de energía que la generada por los paneles solares, una falla en la apertura de los mismos, en un escenario en el cual no haya posibilidades de realizar maniobras correctivas desde Tierra, puede significar la pérdida de la misión. Si en el satélite se dispusiera de una fuente de energía alternativa, aún con un tiempo de vida corto, que fuera totalmente independiente de la energía solar, los operadores tendrían acceso a suficiente energía para analizar las causas de la falla en el mecanismo de apertura de los paneles solares y tomar medidas correctivas. En este momento las Fuentes de Energía Nuclear (NPS por su sigla en inglés) son las únicas que pueden proveer de una cantidad de energía suficiente, de origen no solar, en el período que dura esta fase inicial.²

En este trabajo se describe un proyecto de misión satelital que incorpora un generador térmico de electricidad basado en fuentes radiactivas (GTR), como respaldo de energía alternativa en la fase de lanzamiento y en las primeras órbitas, para misiones satelitales de observación de la Tierra incluidas en el Plan Espacial Nacional de la Argentina. Se presenta asimismo una descripción del marco legal y regulatorio para el desarrollo de actividades con fuentes radiactivas en el país

² Estas unidades se han usado en misiones satelitales de los Estados Unidos y Rusia por más de 40 años, por ejemplo, las misiones Transit, Apollo, Viking, Pioneer, Voyager, Cassini, Kosmos, etc. Se puede encontrar una lista detallada en la sección de Referencias al final del documento.

El trabajo también incluye las características básicas de un análisis de riesgo preliminar para una misión satelital genérica con una fuente radiactiva. El análisis comprende los criterios preliminares de diseño para la fabricación y ensayos de un GTR.

La Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) son los dos entes gubernamentales que están a cargo del proyecto, y que actúan bajo el control de la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN), organismo federal con poder para ejercer el control regulatorio de las actividades nucleares en el país.

Los requerimientos básicos que se cumplirán respecto de la utilización del GTR en la misión satelital, son los siguientes:

- a) El diseño, fabricación y montaje del GTR se ajustará a los requerimientos de las normas regulatorias argentinas en materia de seguridad radiológica, seguridad física de las fuentes radiactivas y transporte de materiales radiactivos; teniendo en cuenta tanto las etapas de fabricación y ensamblado del conjunto en la CNEA como el montaje del dispositivo en el satélite y las exigencias mecánicas y térmicas de las diferentes fases de la misión espacial.
- b) El proyecto será totalmente compatible con los criterios contenidos en el Marco de Seguridad para las Aplicaciones de Fuentes de Energía Nuclear en el Espacio, que fuera aprobado en el año 2009 por la Subcomisión Científico - Técnica del Comité de Uso Pacífico del Espacio Ultraterrestre de las Naciones Unidas (COPUOS) preparado en conjunto con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (A/AC105/934).

Los requerimientos generales sobre la interfaz del satélite con el (GTR) son los siguientes:

1. El montaje del GTR en el satélite se hará en la base de lanzamiento, siendo esta operación una de las últimas que se ejecuten sobre el satélite previo a su lanzamiento.
2. El GTR será autocontenido; los elementos que lo conformen deben incluir desde el punto de vista eléctrico al menos: la fuente térmica-radiactiva, el convertidor a potencia eléctrica y los conectores eléctricos externos que permitan su conexión al satélite.

III. Organismos involucrados en el proyecto

Los organismos nacionales de Argentina involucrados en este proyecto son:

- a) Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE)
- b) Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)

a) Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE)

CONAE es un organismo descentralizado del Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto. Fue creada en 1991, como el ente gubernamental para el uso de la ciencia y la tecnología espaciales con fines pacíficos. La agencia espacial argentina está a cargo del diseño, gestión y ejecución de los proyectos y actividades espaciales, con autoridad sobre todo el territorio argentino (www.conae.gov.ar).

Las acciones y proyectos de la CONAE se desarrollan de acuerdo con el Plan Espacial Nacional, el cual ha sido diseñado con un horizonte de 11 años, y es actualizado y extendido periódicamente para asegurar que se ajuste a los requisitos socio-económicos y de producción del país. El Plan fue aprobado por primera vez en noviembre de 1994. A la fecha, la versión 2004-2015 está en vigor. Debido a sus objetivos, contenido y continuidad, el Plan Espacial Nacional se considera una política de estado.

Desde su creación, la CONAE ha puesto en órbita tres satélites: SAC-A, SAC-B y SAC-C. En el corto plazo, tres satélites más llegarán a su órbita: SAC-D/Aquarius, SAOCOM 1A y SAOCOM 1B, los cuales serán comandados desde el Centro Espacial Teófilo Tabanera (CETT) en la provincia de Córdoba.

En la actualidad, ya se encuentran operativas las instalaciones para ensayos de satélites pequeños y medianos. Además, se cuenta con un centro de ensayo de campo cercano para caracterización y medición de antenas que es único en su especie en América Latina.

El Centro Espacial también alberga el Instituto Mario Gulich de Altos Estudios Espaciales, creado en 2001 por la CONAE, junto con la Universidad Nacional de Córdoba, con la participación de la Agencia Espacial Italiana. El objetivo del Instituto es formar recursos humanos para la aplicación de la información generada por los satélites.

El Plan Espacial Nacional también incluye un curso de acción para Acceso al Espacio. A tal fin, la CONAE está haciendo sus propios esfuerzos para desarrollar un lanzador satelital para sus misiones.

b) Comisión Nacional de Energía Atómica

Fundada en 1950, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) es uno de los organismos de ciencia y tecnología más importantes de la Argentina.

CNEA posee tres centros atómicos (Bariloche, Constituyentes y Ezeiza) un centro tecnológico (Pilcaniyeu); cuatro reactores nucleares de investigación; seis aceleradores de partículas (TANDAR, CEMA, Linac) y tres ciclotrones de producción de radioisótopos). También posee varias delegaciones regionales en todo el país vinculadas a la minería del uranio; cuatro centros de medicina nuclear y tres institutos universitarios.

En todos estos emplazamientos se opera una gran diversidad de instalaciones relevantes, laboratorios de investigación, docencia, aplicaciones y servicios tecnológicos que emplean a más de 3000 personas.

La CNEA abarca todas las actividades nacionales de investigación, desarrollo, aplicaciones, productos, servicios y formación de recursos humanos en el área nuclear, y abarca otros campos relacionados con la física, la ciencia de los materiales y las energías no convencionales, entre otros.

Dos normas principales amparan esta variedad de actividades, el Decreto-Ley N° 22.498/56, ratificado por la Ley N° 14.467, y la Ley Nacional de la Actividad Nuclear N° 24.804, con su Decreto Reglamentario N° 1.390/98.

Entre los objetivos fijados la Ley N° 24.804 (www.cnea.gov.ar), se extractaron los siguientes, que se relacionan con el tema tratado en este trabajo.

- Asesorar al Poder Ejecutivo en la definición de la política nuclear.
- Promover la formación de recursos humanos de alta especialización y el desarrollo de ciencia y tecnologías en materia nuclear, comprendida la realización de programas de desarrollo y promoción de emprendimientos de innovación tecnológica.
- Propender a la transferencia de tecnologías adquiridas, desarrolladas y patentadas por el organismo, observando los compromisos de no proliferación asumidos por la República Argentina.
- Desarrollar aplicaciones de radioisótopos y radiaciones en biología, medicina e industria.
- Efectuar el desarrollo de materiales y procesos de fabricación de elementos combustibles para su aplicación en ciclos avanzados.
- Implementar programa de investigación básica y aplicada en las ciencias base de la tecnología nuclear.
- Promover y realizar todo otro estudio y aplicación científica de las transmutaciones y reacciones nucleares.

La CNEA, en sus 60 años de existencia ha desarrollado e impulsado la tecnología nuclear en campos como la energía, reactores de potencia y de investigación, aceleradores de partículas, producción de radioisótopos, fuentes radiactivas de uso científico, médico e industrial, materiales y combustibles nucleares, instalaciones nucleares con alto inventario de materiales radiactivos, metrología de radiaciones y de radioisótopos, gestión de residuos radiactivos, seguridad nuclear y protección radiológica; además de actividades de impacto social como la medicina nuclear, alimentos, tecnología

agropecuaria, industria y medio ambiente, entre otras. También ha desarrollado paneles solares para uso satelital, micro y nanotecnología, nanociencia y sensores especiales, como derivados de sus tareas en ciencias básicas y aplicadas.

CNEA tiene amplia y exitosa experiencia en transferencia de tecnología de instalaciones y procesos, por sí misma o a través de empresas vinculadas. Por ejemplo, la instalación del reactor OPAL y una planta de producción de radioisótopos en Australia, el reactor ETRR-2 y una planta similar en Egipto, entre otros emprendimientos conjuntos con la empresa estatal INVAP.

En el caso especial de fuentes radiactivas industriales, CNEA y sus empresas asociadas DIOXITEK y Nucleoeléctrica Argentina S.A. (Na.-Sa.) poseen experiencia en la producción de fuentes de Co-60 de alta actividad (proveedora mundial) y también de Ir-192, Cs-137 y otras.

CNEA posee tres institutos universitarios (Balseiro, Sábato y Beninson) vinculados a las universidades nacionales de Cuyo y de San Martín. En estos institutos se dictan cursos, carreras de grado y de posgrado en las áreas de física, ingeniería nuclear, ciencia de los materiales, radioquímica, física médica, medicina nuclear, aplicaciones nucleares, ensayos no destructivos y reactores nucleares. Con estas carreras y cursos se capacita al personal propio de CNEA y a diversos profesionales y técnicos en todo el país y la Región Latinoamericana, reconocidos a nivel internacional, por ejemplo por el IAEA.

La CNEA dio origen y posee asociaciones con empresas nacionales como INVAP, Na.-Sa., DIOXITEK, CONUAR, FAE y ENSI. También está relacionada organismos de la Argentina, como ARN, ministerios, ANMAT, INTI, INA, entre otros, así como organismos internacionales como el IAEA, BIPM, ICRM, ICRP y varios más.

III.1 Actividades y Roles de cada organismo

Las actividades y los roles de estos organismos en el proyecto son los siguientes:

Actividad	Organismo que lidera la actividad
-2. Definición de la Misión Satelital	CONAE
-1. Informe Previo de Impacto Ambiental	CONAE
0. Aprobación de la Misión Satelital por parte del Poder Ejecutivo y el Congreso de la Nación	
1. Diseño y fabricación de la fuente radiactiva incluyendo su blindaje	CNEA.
2. Especificaciones, diseño y fabricación del convertidor a energía eléctrica.	CONAE-CNEA.
3. Especificación y diseño del conexionado eléctrico externo.	CONAE-CNEA.

4. Especificación, diseño y construcción de la cubierta de protección mecánica y térmica del GTR	CONAE-CNEA.
5. Armado del GTR	CONAE-CNEA
6. Diseño y construcción del contenedor de transporte del GTR con su fuente radiactiva	CNEA.
7. Transporte del GTR desde las instalaciones de CNEA hasta el sitio de lanzamiento.	CNEA.
8. Quality Assurance. Requerimiento de pruebas que debe realizar CNEA.	CONAE
9. Montaje del GTR en el satélite, en el sitio de lanzamiento.	CONAE con asistencia de CNEA.
10. Lanzamiento del satélite, seguimiento y acciones necesarias durante las diferentes fases de la misión satelital	CONAE

III.2 Órgano regulador en materia de seguridad radiológica y nuclear, protección física y fiscalización del uso de materiales nucleares, licenciamiento y fiscalización de instalaciones nucleares y salvaguardias internacionales

Tal como se describe con detalle en el ítem V posterior, la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) es el órgano regulador en esta materia, y las actividades que se lleven a cabo con fuentes radiactivas o dispositivos nucleares en el país deben ajustarse a la normativa regulatoria de este organismo.

Consecuentemente, todas las actividades para el proyecto descriptas en el ítem III.1 anterior, deben contar con el necesario licenciamiento de la ARN y estarán sujetas a la correspondiente fiscalización por parte de ese organismo.

La ARN llevará adelante, a partir del Marco de Seguridad (A/AC105/934), la preparación de los estándares de reglamentación para las Fuentes de Energía Nuclear en el Espacio.

IV. Descripción del Generador Termoeléctrico Radioactivo (GTR)

En este ítem se describen los pasos que CONAE, CNEA y ARN consideran necesario seguir en el diseño y desarrollo de GTR para ser usados en misiones satelitales de la CONAE.

Los radionucleidos considerados para los GTR, según la disponibilidad de instalaciones nucleares para este fin en Argentina, son Pu-238 y Po-212. El Pu-238 podría ser comprado a un proveedor internacional, mientras que la posibilidad de producir Po-210 en reactores nucleares de Argentina, por ejemplo la central nuclear de Embalse, debería ser analizada.

Las diferencias fundamentales entre los radioisótopos mencionados son el período de semidesintegración ($T_{1/2}$) y la masa necesaria para el desarrollo del GTR. Dado que ambas características son significativamente mayores en el caso del Pu-238. Por ello, este radionucleido sería la mejor opción para aplicar en el desarrollo del primer RTG de la Argentina para aplicaciones satelitales. Por lo tanto el Pu-238 sería utilizado en el primer estadio del desarrollo y, a posterioridad, se llevaría adelante la producción local y el desarrollo de la fuente de Po-210 (propuesta originalmente por la CONAE).

El Pu-238 ($T_{1/2}= 87,74$ años) es un emisor alfa (5,5 MeV), con una pequeña emisión de radiación gamma de baja energía. El Po-210 es también un emisor alfa (5,3 MeV) de $T_{1/2}= 138,38$ días.

Las etapas y alternativas del diseño y desarrollo de generadores se describen en los párrafos siguientes.

IV.1 Generador Termoeléctrico Radiactivo (GTR):

El generador está compuesto por dos partes principales, 1) una fuente sellada y 2) un sistema transductor que convierte el calor generado por la fuente radioactiva en energía eléctrica. La potencia eléctrica resultante dependerá de la capacidad de producir calor de la fuente y de la eficiencia de conversión del transductor utilizado.

El propósito de este proyecto es el desarrollo de un GTR con capacidad para producir una potencia del orden del centenar de Wattios. Este RTG será utilizado por CONAE en los satélites con propósitos generales. El diseño del RTG dependerá de la fuente radioactiva elegida y de la necesidad de potencia para la aplicación seleccionada por CONAE. El GTR será concebido con una arquitectura modular compuesta de celdas individuales. El diseño de las celdas y del GTR en general, tendrá en cuenta los requerimientos de estabilidad térmica. Para un determinado volumen se tratará de maximizar la superficie de contacto de los transductores y fortalecer la independencia en el funcionamiento entre ellos.

IV.2 Fuente Radiactiva

La fuente radioactiva sellada del GTR será de PuO_2 El Pu-238 disponible a nivel internacional está normalmente enriquecido al 83,5% en el isótopo de Pu-238. El Pu-238 Se considera que, si el plutonio es recientemente fabricado, posee una potencia específica de 0,47 W/g. No obstante esto, el Pu-238 proveerá el 99,9 % de la potencia térmica como fuente de calor. En el diseño estará contemplado la generación de helio en el decaimiento del Pu-238. La mayor ventaja del Pu-238 reside en que tiene una razonable capacidad de potencia térmica y una vida media larga (comparada con Po-210). Este último hecho garantiza una tasa de decaimiento radioactiva menor que el 1% por año. Esto permitirá un proceso de aprendizaje que tomará unos años.

Otra ventaja del uso del Pu-238 es que no requiere un blindaje radiológico significativo, la contribución más importante proviene del Tl-208 (2,6 MeV de radiación gamma) ya dada su $T_{1/2} = 3,05m$, se lo deja decaer hasta niveles despreciables. El Tl-208 es un producto del decaimiento del Pu-236, impureza de la fuente de PuO₂.

El compuesto radiactivo será un cinterizado de PuO₂ del tipo Cermet (cerámico-metálico), combinado con tungsteno. El encapsulado de Cermet es la formación de una matriz compuesta por una mezcla de un material portador metálico y un compuesto cerámico tal como un radioisótopo en su forma de óxido. En los ensayos preliminares (no radioactivos) se aplicará CeO₂, como sustituto del Cermet - Tungsteno pues sus propiedades termo-químicas son similares a las del PuO₂. El Cermet será producido por tratamiento "spark plasma" por su alta calidad de sinterizado.³

Teniendo en cuenta que el desarrollo del RTG considerará un diseño modular, el proceso de encapsulado de la fuente radioactiva deberá cumplir los siguientes requisitos, no generar reacciones (α, n), deberá poseer buena conductividad térmica, resistencia a la oxidación, resistencia a la alta temperatura, dureza suficiente, resistencia al impacto, alto punto de fusión, resistencia al corte y a la pirólisis. Cumpliendo con estas exigencias el Cermet puede encapsularse dentro de titanio, tungsteno u otra aleación dura y de alto punto de fusión.

Tal contenedor deberá proveer una buena retención mecánica del material radiactivo y buena conducción térmica. Adicionalmente deberá proporcionar blindaje para radiación X y gamma de baja energía, protección ante un eventual reingreso a la atmósfera, y buena retención del Helio generado por la radiación alfa, o venteo por porosidad. Se analizará la conveniencia de usar iridio u otros materiales para este propósito.

Los trabajos de desarrollo se realizarán en instalaciones licenciadas de CNEA y serán llevados a cabo por personal especializado y autorizado. Las actuales instalaciones ó celdas radiactivas serán adaptadas y si fuese necesario, serán construidas nuevas.

IV.3 Sistema Transductor

Los sistemas transductores usados en la generación de corriente eléctrica o potencia eléctrica se basan en el efecto Seebeck. Dicho efecto aparece cuando existe un gradiente de temperatura entre la unión de dos diferentes metales o semiconductores. Si un lazo esta formado por dos semiconductores deberá presentar dos uniones. Si una unión está a una temperatura más alta que la otra unión, entonces circula una corriente por el lazo. Dicho de otra manera, si fuese colocada una carga disipativa en el lazo se mediría sobre ella una diferencia de potencial. Los transductores que convierten la potencia térmica de una fuente radiactiva en potencia eléctrica están basados en el efecto Seebeck. La

³ Por el contrario, para el Po-210 no se ha decidido todavía el componente radiactivo.

potencia termoeléctrica está caracterizada por el coeficiente Seebeck, cuya magnitud da el voltaje inducido por cada grado del gradiente de temperatura. Se supone que la unión caliente del transductor estará en contacto con una superficie de aproximadamente 1000°C y la unión fría del transductor estará en contacto con una superficie de aproximadamente 300 °C .

Los GTR usarán un arreglo de transductores de Si-Ge. En ese caso, la conversión de calor en potencia eléctrica tendrá, como máximo, una eficiencia del orden del 7% y el valor del coeficiente Seebeck será aproximadamente 135 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Este paso fija un límite en el rendimiento de la potencia térmica y determina la masa de Pu-238 de la fuente para obtener un mínimo de potencia eléctrica para la aplicación requerida. Los transductores pueden ser adquiridos en el mercado internacional. El sistema será analizado previamente desde el punto de vista térmico; la emisividad y los disipadores deberán alcanzar valores y dimensiones que contemplen el mejor balance posible en el régimen de entrega de potencia. También se analizarán los transitorios.

IV.4 Ensayos de la Fuente Radiactiva y del Generador Termoeléctrico (GTR)

La fuente radiactiva será sometida a los ensayos y controles de calidad necesarios de acuerdo con la norma ISO 2919. Serán tenidos en cuenta los requerimientos regulatorios de la ARN y las recomendaciones del Código de Conducta sobre Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radiactivas aprobado por el OIEA.

El GTR será sometido a ensayos de acuerdo con las condiciones especificadas por CONAE. En el proceso de pruebas se reproducirán condiciones similares a las existentes durante el lanzamiento y en el ambiente espacial, tales como vibración y variaciones de temperatura.

Todos los desarrollos, montaje, ensayos y controles se realizarán en instalaciones debidamente calificadas y licenciadas por la ARN. Todo el proyecto estará enmarcado en un sistema de calidad que garantice el cumplimiento en tiempo y forma de los requerimientos de CONAE.

V. Análisis genérico de Riesgos y seguridad

V.1 Consideraciones iniciales para el análisis de riesgos

1. Los elementos que forman parte de este proyecto pueden ser divididos en tres partes con claras interfaces.
 - a) Fuente radiactiva (GTR)
 - b) Satélite.
 - c) Lanzador.

2. El análisis de riesgo considerará muestras típicas de cada una de los tres elementos pues no se cuenta con un diseño de la fuente, no se conoce el tipo de satélite y no se tienen precisiones acerca del tipo de lanzador, ni lugar de lanzamiento.
3. El análisis que se expone en este informe estará concentrado en los riesgos que conlleva la inclusión de una fuente radiactiva dentro de un satélite.

V.2 Elementos de entrada para el análisis de riesgo o peligros.

1. El análisis debe cubrir el comportamiento del RTG durante toda la misión, desde las fases iniciales (pre-lanzamiento, lanzamiento y primeras órbitas) hasta el final de la vida útil de la misión.
2. Los lanzadores que se utilizarán para esta misión tienen alguna etapa de combustión líquida y pueden tener alguna etapa con combustión sólida.
3. El satélite puede ser monitoreado hasta el momento del lanzamiento en forma remota, pero su acceso físico está restringido en la última semana.
4. La trayectoria del lanzador hasta su puesta en órbita es primariamente sobre el mar. Si bien existen algunos que sobrevuelan sobre territorio se descartan en este análisis.
5. Se dará cumplimiento a los requerimientos de la ARN. Para ello se realizará un análisis de optimización de los sistemas de protección radiológica del conjunto GTR-Lanzador-Satélite, evaluando las diferentes soluciones posibles para el diseño de la fuente radiactiva que permitan reducir las exposiciones potenciales de las personas y la exposición del ambiente frente a los riesgos radiológicos y la posible afectación de la seguridad física de la fuente radiactiva durante las diferentes etapas descritas en el punto 6. A tales efectos, se tendrán en cuenta los aspectos de seguridad física y de protección radiológica asociados a cada etapa.
6. Las etapas del conjunto Fuente-Satélite-Lanzador serán las siguientes.

Etapa	Actividad	Lugar	Tiempo
Pre-F1	Fabricación, ensayos internos y de aceptación, ensayos térmicos, mecánicos y funcionales	Instalaciones ad hoc	T0-Desarrollo
F1	Durante la instalación mecánica y eléctrica del componente dentro del satélite.	En rampa de lanzamiento	T0 – 1 semana.
F2	Durante el chequeo del vehículo lanzador por su personal especializado.	En rampa de lanzamiento	T0 – 1 semana - T0 – 5 minutos
F3	Previo al ascenso del lanzador, cuando se encienden los motores de propulsión de la primera etapa.	En rampa de lanzamiento	T0 – 5 minutos - T0 + 5 segundos
F4	En el ascenso con visibilidad desde estación de Tierra.	Vuelo	T0 + 5 segundos - T0 + 1 minuto
F5	En el ascenso para entrar en órbita, considerando la trayectoria sobre el	Vuelo	T0 + 1 minuto - T0 + 60 minutos

	mar.		
F6	Inyección en órbita.	Órbita	T0 + 60 minutos - T0 + 90 minutos
F7	Primer uso del sistema de propulsión (por emergencia del satélite).	Órbita	T0 + 90 minutos - T0 + 1 día
F8	Transferencia del satélite a una órbita inferior (*).	Salida de órbita	T0 + 1 día T0 + EOL
F9	Transferencia del satélite a una órbita superior (**)	Salida de órbita	T0+1 día – T0+EOL

T0 = Lanzamiento

EOL= Fin de vida útil de la Misión (End of mission Life)

(*) Si se usa Po-210

(**) Si se usa Pu-238

V.2.a. Etapas Iniciales (Pre-F1)

1. Las acciones ligadas a la fabricación están fuera de este reporte.
2. Las acciones ligadas a los ensayos internos están fuera de ese reporte.
3. Tests de Aceptación.
 - a) Medición de la radiación emergente. CNEA
 - b) Ensayos mecánicos. CNEA-CONAE.
 - c) Ensayos térmicos. CNEA-CONAE.
 - d) Ensayos funcionales. CNEA-CONAE.
 - e) Ensayos EMI-EMC. CNEA-CONAE.
4. Informes. CNEA
5. Ensayos de transportación (TBD).

V.3 Elementos de salida del análisis de riesgos o peligros.

1. Identificar para cada etapa los peligros inherentes, la probabilidad de ocurrencia y el riesgo asociado.
2. Identificar todas las interfaces entre los actores de este proyecto que puedan llevar a incrementar las probabilidades de ocurrencia en caso de saltar una verificación.
3. Identificar todos los ensayos y verificaciones previas que se necesitan para reducir la ocurrencia del evento peligroso.
4. Identificar los factores externos que deben controlarse hasta el momento de perder contacto con el hardware.
5. Identificar todos los parámetros que deben chequearse durante el vuelo del satélite.
6. Identificar personal clave que debe estar presente en cada parte del proceso.

7. Determinar los peores casos (casos poco probables pero que tendrían consecuencias severas) para realizar un análisis detallado.

V.3.a. Escenarios de Riesgo

Las diferentes situaciones de riesgo en las distintas etapas de las Misiones detalladas en el ítem anterior pueden agruparse de la siguiente manera:

- 1) Falla de la carga útil en el lanzador seguida por explosión/incendio del propelente con reducido riesgo radiológico en caso de una eventual pérdida de integridad de la fuente radiactiva en el GTR y diseminación de contaminación radiactiva en el sitio.
- 2) Falla del lanzador en la plataforma de lanzamiento seguida por explosión/incendio del propelente con reducido riesgo radiológico en caso de una eventual pérdida de integridad de la fuente radiactiva en el GTR y diseminación de contaminación radiactiva en el sitio.
- 3) Impacto mecánico seguido por incendio del propelente luego de falla en la fase de lanzamiento. Shock térmico y mecánico con dispersión de material radiactivo y contaminación de un área extensa alrededor de la plataforma de lanzamiento.
- 4) Re-entrada accidental durante rastreo suborbital u orbital. Shock térmico y mecánico con pérdida de integridad de la fuente radiactiva, y las siguientes alternativas:
 - a) Dispersión de material radiactivo y contaminación de un área de impacto regional, causando exposición del medio ambiente y potencial exposición de personas.
 - b) Si no hay dispersión de contaminación radiactiva pero la fuente radiactiva se fragmenta en varias partes (partículas calientes), existe un riesgo de acceso sin control de parte de miembros del público general a partes de material radiactivo con el resultado de exposición de personas y problemas de seguridad.

Dichas situaciones pueden estar asociadas a eventos tales como:

- 1) Explosión debida a presión excesiva.
- 2) Accidentes debidos a situaciones meteorológicas.
- 3) Impacto de fragmentos a gran velocidad.
- 4) Incendio del propelente.
- 5) Calor producido por la fricción en una re-entrada accidental
- 6) Impacto mecánico sobre la Tierra luego de la re-entrada.
- 7) Exposición por largo tiempo a un ambiente corrosivo (por ej: bajo el océano).

Se pueden evaluar las diferentes situaciones considerando la probabilidad de que ocurran y el riesgo radiológico asociado. Esto permite elaborar la siguiente matriz de riesgos y considerar las acciones necesarias para reducir los riesgos radiológicos.

Aquellas acciones estarán principalmente enfocadas a un diseño apropiado de la fuente radiactiva y el GTR, y la construcción a medida del satélite para las etapas F8 y F9.

Declaración de Riesgo			Probabilidad	Impacto	Etapa de la Misión
Condición	Consecuencia	Riesgos radiológicos			
Caída física del componente durante el izaje a la estación de montaje en el lanzador	Por estar a 10 metros hay posibilidad de dañar la cubierta metálica	Dispersión de material radiactivo y contaminación del sitio de lanzamiento por pérdida de integridad de la fuente radiactiva	Muy baja	Muy bajo	F1
Cortocircuito durante el montaje	Posible aumento de temperatura por incineración de componentes eléctricos	Dispersión de material radiactivo y contaminación del sitio de lanzamiento por pérdida de integridad de la fuente radiactiva	Baja	Muy bajo	F1
Caída del lanzador por tornados, tormentas eléctricas	Daño a la cobertura metálica	Dispersión de material radiactivo y contaminación del sitio de lanzamiento por pérdida de integridad de la fuente radiactiva	Muy baja	Muy bajo	F1, F2, F3
El generador GTR no responde a los chequeos	No podrá ser utilizado	No se aplica	Muy baja	Ninguno	F2
Cortocircuito en el lanzador durante check in de rutina	Inicio de alguna secuencia que encienda los motores en forma imprevista, generando explosiones o caída del lanzador	Dispersión de material radiactivo y contaminación del sitio de lanzamiento por pérdida de integridad de la fuente radiactiva	Muy baja	Medio	F2
Mal encendido de los motores	Explosión y destrucción del vehículo lanzador; shock térmico y mecánico	Dispersión de material radiactivo y contaminación del sitio de lanzamiento por pérdida de integridad de la fuente radiactiva	Muy baja	Muy alto	F3
Activación del sistema de destrucción	Destrucción del lanzador y el satélite; shock térmico y mecánico	Dispersión de material radiactivo y contaminación del sitio de lanzamiento por pérdida de integridad de la fuente radiactiva	Muy baja	Muy alto	F3

Declaración de Riesgo			Probabilidad	Impacto	Etapa de la Misión
Condición	Consecuencia	Riesgos radiológicos			
La trayectoria del lanzador no es la correcta	Caída del satélite sobre tierra o mar, con shock mecánico y térmico	Dispersión de material radiactivo y contaminación de un área de impacto, exposición potencial de personas y afectación del ambiente debido a la pérdida de integridad de la fuente radiactiva.	Baja	Muy alto	F4
Explosión del cohete durante el ascenso	Shock térmico y mecánico, destrucción del satélite	Dispersión de material radiactivo y contaminación de un área de impacto, exposición potencial de personas y afectación del ambiente debido a la pérdida de integridad de la fuente radiactiva.	Muy baja	Muy alto	F4, F5
Imposibilidad de alcanzar la órbita correcta	Posible reingreso a la atmósfera, destrucción de la fuente contra la superficie de la Tierra o el mar	Shock mecánico y térmico con pérdida de integridad de la fuente radiactiva; dispersión de material radiactivo y contaminación de un área de impacto regional, exposición potencial de personas y afectación del ambiente. Alternativamente, si la fuente radiactiva se fragmenta: riesgo de acceso sin control por parte de miembros del público a partes de la fuente radiactiva, causando exposición de personas y problemas de seguridad.	Baja	Muy alto	F5, F6, F7, F8
Impacto contra desechos espaciales	Daño mecánico. Rotura de la fuente radiactiva y posible re-entrada accidental.	Dispersión de material radiactivo y contaminación de un área de impacto regional, exposición potencial de personas y afectación del ambiente. Alternativamente, si la fuente radiactiva se fragmenta: riesgo de acceso sin control por parte de miembros del público a partes de la fuente radiactiva, causando exposición de personas y problemas de seguridad.	Baja	Alta	F8, F9
Falla de funcionamiento del GTR	No podrá ser utilizado	No se aplica	Muy baja	Ninguno	F7
Salida de órbita antes de EOL	Re-entrada a la atmósfera antes del tiempo deseado. Shock térmico y mecánico, destrucción del satélite	Dispersión de material radiactivo y contaminación de un área de impacto regional, exposición potencial de personas y afectación del ambiente. Alternativamente, si la fuente radiactiva se fragmenta: riesgo de acceso sin control por parte de miembros del público a partes de la fuente radiactiva, causando exposición de personas y problemas de seguridad.	Baja	Muy Alta	F9

En el diseño y ensayos del GTR el énfasis estará puesto en la mitigación de cualquier situación de alto y muy alto impacto.

VI. Marco regulatorio (ARN)

VI.1 La protección radiológica y seguridad nuclear en la Argentina, en el contexto nacional e internacional

Por Decreto Ley N° 10.936 del 31 de mayo de 1950, el Estado argentino asumió el control regulatorio de las actividades nucleares oficiales y privadas que se efectuaran en todo el territorio del país; con el fin de tomar todas las medidas necesarias para proteger a la población de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes y de asegurar el buen uso de la energía atómica en la actividad económica, medicina, industria, transportes, etc.

Tales atribuciones fueron ratificadas y ampliadas en 1956 por la Ley N° 22.498/56 que definió una autoridad nacional competente en materia nuclear, particularmente en todo lo referente a la protección de los individuos y su ambiente contra los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes, a la seguridad de las instalaciones nucleares y al control del uso final del material nuclear.

En los aspectos normativos de la seguridad radiológica, puede destacarse que ya en el año 1966 el país puso en vigencia las Normas Básicas de Seguridad Radiológica y Nuclear, que establecían objetivos de protección radiológica y seguridad nuclear para los trabajadores y miembros del público, que debían alcanzarse en las actividades nucleares, así como los requisitos que debían cumplirse para alcanzar dichos objetivos.

Cabe destacar que la normativa regulatoria argentina ha sido siempre consistente con la normativa del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) en la materia.

VI.2 La Autoridad Regulatoria Nuclear, marco legal y regulatorio de sus actividades

Teniendo en cuenta la madurez y envergadura que habían alcanzado las actividades nucleares en el país, el Estado argentino, decidió crear en 1994 un organismo independiente de regulación y fiscalización de las actividades nucleares. Para ello, mediante el Decreto N° 1540/94, creó el Ente Nacional de Regulación Nuclear (ENREN) como institución autárquica directamente dependiente de la Presidencia de la Nación.

Posteriormente, en el año 1997, la Ley N° 24.804, denominada Ley Nacional de la Actividad Nuclear, establece que las funciones de regulación y fiscalización serán asignadas a la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) como entidad sucesora del ENREN.

Dicha Ley establece las siguientes competencias:

- 1) Proteger a las personas contra los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes.
- 2) Velar por la seguridad radiológica y nuclear en las actividades nucleares desarrolladas en la República Argentina.

- 3) Asegurar que las actividades nucleares no sean desarrolladas con fines no autorizados por esta ley, las normas que en su consecuencia se dicten, los compromisos internacionales y la política de no proliferación nuclear, asumidas por la República Argentina.
- 4) Prevenir la comisión de actos intencionales que puedan conducir a consecuencias radiológicas severas o al retiro no autorizado de materiales nucleares u otros materiales o equipos sujetos a regulación y control en virtud de lo dispuesto en la ley.

El Decreto N° 1390 del 27 de noviembre de 1998 reglamenta esta ley definiendo sus alcances y los procedimientos que facilitan su aplicación.

Entre las atribuciones, según establece la ley, cabe destacar:

- 1) Dictar las normas regulatorias referidas a seguridad radiológica y nuclear, protección física y fiscalización del uso de materiales nucleares, licenciamiento y fiscalización de instalaciones nucleares, salvaguardias internacionales y transporte de materiales nucleares en su aspecto de seguridad radiológica y nuclear y protección física.
- 2) Establecer, de acuerdo con parámetros internacionales, normas de seguridad radiológica y nuclear referidas al personal que se desempeñe en las instalaciones controladas.
- 3) Otorgar, suspender y/o revocar las licencias, permisos o autorizaciones que correspondan.
- 4) Realizar inspecciones y evaluaciones regulatorias en las instalaciones sujetas a la fiscalización y control de la Autoridad Regulatoria Nuclear, donde se utilice, manipule, produzca, almacene materiales nucleares o radiactivos.
- 5) Aplicar sanciones, en los casos de incumplimiento de la normativa y/o licencias regulatorias
- 6) Evaluar el impacto ambiental de toda actividad que se licencie, entendiéndose por tal a aquellas actividades de monitoreo, estudio y seguimiento de la incidencia, evolución o posibilidad de daño ambiental que pueda provenir de la actividad nuclear licenciada.

Como soporte de sus actividades, la ARN cuenta con laboratorios y equipamiento apropiados, así como con personal especializado, que lleva a cabo las tareas científico – técnicas necesarias.

La ARN interviene activamente en la negociación de instrumentos internacionales relativos al accionar regulatorio nuclear, en este contexto es un integrante activo en la Comisión sobre Normas de Seguridad del OIEA y participa de sus cuatro comités internacionales.

Por otra parte, la ARN participa en los trabajos de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, por sus siglas en inglés), que son la base conceptual de la normativa en seguridad radiológica aplicada internacionalmente.

El mejoramiento constante de la seguridad radiológica y nuclear de la Región Latinoamericana es un objetivo estratégico de la ARN, en ese sentido la ARN ha fortalecido los lazos con las autoridades regulatorias de la región y es parte fundante del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares.

A través de su vinculación con las instituciones del ámbito científico y empresas nucleares nacionales, la ARN tiene la posibilidad de expandir su capacidad de análisis y evaluación en temas específicos a su accionar regulatorio. Además, su relación con otros organismos internacionales del ámbito regulatorio le permiten interactuar en un marco de cooperación.

Las siguientes son algunas de las instituciones y organismos con las cuales la ARN tiene estrechos vínculos:

- OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica), con sede en Austria.
- NRC (Comisión Regulatoria Nuclear), Estados Unidos.
- DOE (Departamento de Energía), Estados Unidos.
- EURATOM (Comunidad Europea de la Energía Atómica).
- CNEN (Comisión Nacional de Energía Nuclear), Brasil
- CEA (Commisariat à l'Énergie Atomique), Francia.
- DGSN (Dirección General de Seguridad Nuclear), Francia.
- IRSN (Instituto de Radioprotección y Seguridad Nuclear), Francia.
- HPA (Health Protection Agency), Reino Unido.
- ARCAL (Arreglos Regionales Cooperativos para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe).
- TÜV NORD/SÜD (Technischer Überwachungs Verein), Alemania
- GRS mbH (Gesellschaft Für Anlagen-Und Reaktorsicherheit), Alemania

VI.3 Marco normativo, licenciamiento y fiscalización de las actividades nucleares

El desarrollo y fabricación de una fuente de energía para un satélite, utilizando material radiactivo, involucra prácticas radiológicas e instalaciones operadas por la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) que requieren un proceso de licenciamiento por parte de ARN.

Por otra parte, la utilización de dichas fuentes radiactivas en aplicaciones satelitales, está dentro de las responsabilidades de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Esta aplicación también está sujeta a un proceso de licenciamiento por parte de la ARN.

La ARN licencia e inspecciona todas las instalaciones nucleares, entre las que se incluyen las del ciclo de combustible nuclear, las de fabricación de fuentes radiactivas selladas, las de producción de fuentes radiactivas no selladas, así como también aquellas que utilizan fuentes radiactivas en aplicaciones médicas, industriales, de investigación y docencia.

Para este fin, la ARN ha dictado un conjunto de normas regulatorias, publicadas en su página web (www.arn.gob.ar), que establecen los objetivos de la seguridad radiológica y nuclear que deben ser alcanzados para el desarrollo de cualquier actividad con material radiactivo y radiaciones ionizantes. A su vez, el personal debe estar adecuadamente capacitado y autorizado para utilizar material radiactivo.

VI.3.a. Proceso de licenciamiento para el desarrollo y fabricación de fuentes de energía utilizando material radiactivo.

Toda práctica con materiales radiactivos y/o nucleares, que involucre cantidades por encima de los niveles de exención establecidos en la normativa regulatoria nacional, tales como la importación, irradiación, producción, separación isotópica, purificación, traslado, exportación y/o gestión como residuo de material radiactivo, requiere un proceso de licenciamiento o autorización por parte de la ARN.

Dicha autorización/licencia debe ser solicitada por una Entidad Responsable, entendiendo por tal, aquella organización que asume la responsabilidad por la seguridad radiológica y nuclear de las instalaciones, de los trabajadores, del público y de la protección del medio ambiente.

La Entidad Responsable debe asumir el compromiso de hacer todo lo que sea razonablemente posible en favor de la seguridad y, como mínimo, debe dar cumplimiento a todas las normas y requerimientos del órgano regulador. Dicha responsabilidad es indelegable, aún en el caso en que algunas de las prácticas pudieran ser ejecutadas por terceros.

El proceso de licenciamiento se inicia con la presentación por parte de la Entidad Responsable de la documentación técnica con su correspondiente evaluación de seguridad radiológica y física de la práctica. Cabe destacar que el análisis de riesgo y los planes de contingencia previstos en cada etapa del proceso son ítems de relevancia superlativa en esta documentación.

En el caso específico del diseño y desarrollo de una fuente radiactiva, la Entidad Responsable debe garantizar la seguridad radiológica en su aplicación, para lo cual entre otras cosas la fuente debe ser adecuadamente calificada mediante ensayos ajustados a las exigencias a las que estará sometida en su uso. En ese sentido, el organismo regulador debe tener acceso a la información en todas las etapas del diseño, fabricación, ensayos y montaje de dicha fuente para proceder al licenciamiento de las prácticas asociadas.

Según su complejidad, las instalaciones en las que se desarrollará y fabricará la fuente radiactiva se clasificarán en función del riesgo radiológico asociado y requerirán un proceso de licenciamiento que puede ser de una o más etapas. Al respecto, cabe mencionar que las instalaciones más relevantes desde el punto de vista de la seguridad radiológica, nuclear, física y salvaguardias, normalmente requieren un proceso que comprende licencia de construcción, de puesta en marcha, de operación y de retiro de servicio. En cambio, las prácticas radiológicas no rutinarias se evalúan caso por caso.

Si el desarrollo de la fuente radiactiva se efectuase en una instalación ya licenciada, el proceso de licenciamiento será de una etapa, para lo cual la ARN requerirá entre otras cosas que se acondicione la instalación y que se adecue la documentación técnica de la misma al nuevo proceso que se incorpore para fabricar la fuente.

Un detalle a destacar es que en el caso particular de las fuentes radiactivas, la ARN posee y opera una base de datos que se actualiza permanentemente para mantener un inventario completo de fuentes en su territorio nacional y que coadyuva para el control regulatorio de las mismas. Asimismo, la ARN controla todas las importaciones y las exportaciones de materiales radiactivos cualquiera sea su uso y destino, y adhiere al Código de Conducta sobre Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radiactivas del OIEA.

En el caso particular de la importación/exportación de material radiactivo para la fabricación de la fuente, la Entidad Responsable debe acreditar el cumplimiento de la normativa de la ARN para el transporte de este tipo de materiales, normativa que es totalmente compatible con el Reglamento para el Transporte Seguro de Material Radiactivo aprobado por el OIEA.

A los efectos del licenciamiento, la ARN evalúa en forma independiente los aspectos radiológicos asociados tanto a la operación normal como a las probables situaciones accidentales de las prácticas. Esto comprende la justificación, el cumplimiento de los límites de dosis, la optimización de la protección radiológica, el impacto ambiental y de corresponder, los aspectos de seguridad nuclear y física asociados.

Una vez finalizada la evaluación independiente, la ARN emite una licencia que establece los requisitos que debe cumplir la Entidad Responsable.

Corresponde destacar que cualquier autorización/licencia emitida por la ARN garantiza el cumplimiento de los compromisos internacionales asumidos por el país. Las licencias y/o autorizaciones emitidas, tienen un período máximo de validez prefijado y su vigencia está supeditada al cumplimiento por parte de la Entidad Responsable de las condiciones estipuladas en la misma. La ARN, como organismo de verificación y control tiene la potestad de verificar el cumplimiento de tales condiciones; para ello cuenta con un plantel de inspectores calificados con acceso irrestricto a las instalaciones que utilizan material radiactivo.

VI.3.b. Licenciamiento del uso de fuentes radiactivas en satélites a partir de la fase de montaje

Para las etapas del montaje de la fuente radiactiva en el satélite, y del transporte y lanzamiento del mismo desde el territorio argentino, la Entidad Responsable será la CONAE, para lo cual ese organismo debe solicitar la correspondiente autorización de la ARN.

En este caso particular y una vez que la ARN verifique el cumplimiento de los requisitos de seguridad radiológica de la normativa, otorgará a la CONAE una “Autorización de Práctica no Rutinaria para el montaje y utilización de una fuente radiactiva en el satélite” cuya vigencia estará sujeta al cumplimiento de las condiciones bajo las cuales haya sido otorgada.

Como parte de la solicitud de dicha autorización, la CONAE deberá presentar, como mínimo, información sobre los siguientes aspectos de seguridad radiológica:

- Justificación de la práctica.
- Descripción de la práctica, los medios para llevarla a cabo (fuente radiactiva, personal, instalaciones, terceras organizaciones que intervendrán) y cronograma de actividades.
- Enfoque integral para la evaluación de la seguridad radiológica de la práctica, considerando los aspectos relativos al satélite, la fuente radiactiva y el lanzador, incluyendo las medidas previstas para minimizar tanto como sea posible el riesgo de exposición potencial en cada uno de los escenarios de accidente previsible.
- Plan de emergencias de la “Práctica No Rutinaria”, incluyendo la evaluación de la dosis colectiva para cada escenario de accidente considerado. También debe describir las medidas de mitigación previstas en caso de accidente en cada una de las etapas, por ejemplo durante el lanzamiento, en las órbitas tempranas o durante un eventual reingreso del mismo a la atmósfera.
- Registros y comunicaciones previstas con la ARN durante las etapas de montaje, lanzamiento y operación del satélite.

En su función de fiscalización el organismo regulador efectuará inspecciones a las instalaciones donde se efectúe el montaje del dispositivo con la fuente radiactiva. Además, controlará las condiciones de seguridad radiológica en los transportes necesarios y requerirá información actualizada sobre el satélite con la fuente radiactiva una vez producido su lanzamiento y ante eventuales situaciones accidentales.

Con relación a las emergencias radiológicas y nucleares, la ARN según lo establecido por la Ley de la Actividad Nuclear, es el organismo competente del Estado Nacional para establecer lineamientos y criterios en el ámbito nacional, provincial y municipal, evaluar y aprobar los planes, programas y procedimientos relacionados con esas emergencias.

La aprobación de dichos planes incluye ejercicios con el objetivo de probar su efectividad y vigencia. Estos ejercicios no solo involucran a la Entidad Responsable sino también a las organizaciones externas identificadas en dichos Planes (defensa civil, bomberos, policías, hospitales, etc.).

La ARN posee un Sistema de Intervención ante Emergencias Radiológicas y Nucleares, que además es responsable de coordinar el accionar de otras organizaciones externas involucradas y la respuesta médica para la atención de las personas expuestas a las radiaciones ionizantes en este tipo de emergencias.

Este Sistema de intervención en emergencias, opera desde un Centro de Control en el que actúan grupos de evaluación, comunicaciones, difusión pública y especialistas médicos.

Con este fin, la ARN ha establecido acuerdos y convenios de cooperación con Defensa Civil, Ministerio de Salud de la Nación, Policía Federal, Gendarmería Nacional y Prefectura Naval y Aduana entre otros.

VI.3.c. Responsabilidad y delegación de tareas

En el caso de aplicaciones espaciales, la entidad responsable será la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y en el caso particular de la obtención y/o fabricación local de fuentes radiactivas, la entidad responsable será la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) en su carácter de operadora de las instalaciones nucleares en que se llevará a cabo la obtención o fabricación de dichas fuentes.

En caso de que una Entidad Responsable delegue total o parcialmente la ejecución de tareas, mantiene la responsabilidad correspondiente ante la ARN y debe supervisar adecuadamente la ejecución de las tareas. Cabe destacar que cualquier práctica que involucre el uso de materiales radiactivos, que haya sido delegada en terceras organizaciones, deberá contar con la correspondiente licencia o autorización otorgada por la ARN.

Además, la Entidad Responsable deberá contar con el personal idóneo (cuando corresponda, licenciado por la ARN) y los medios para llevar a cabo esas tareas en las condiciones de seguridad radiológica establecidas en la normativa regulatoria y en los requerimientos y condiciones de la Autorización de Práctica no Rutinaria que haya otorgado la ARN.

VII. Referencias

The Role of Nuclear Power and Nuclear Propulsion in the Peaceful Exploration of Space – Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA), 2005

Safety Framework for nuclear power source applications in outer space – Vienna: Jointly published by the United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, Scientific and

Technical Subcommittee (UNCOPUOS S&TC) and the International Atomic Energy Agency (IAEA), 2009, http://www.oosa.unvienna.org/pdf/reports/ac105/AC105_934S.pdf

“Design Characteristics and Fabrication of Radioisotope Heat Sources for Space Missions”. Gary Rinehart, *Progress in Nuclear Energy*, vol. 39, 3-4, 305-319, 2001.

“Safe Radioisotope Thermoelectric Generators and Heat Sources for Space Applications”. R.C. O’Brien, R.M. Ambrosi, N.P. Bannister, S.D. Howe, H.V. Atkinson, *Journal of Nuclear Materials*, 377 (2008) 506-521).

“Light-Weight Radioisotope Heater Unit impact tests”. M.A.H. Reimus et al. CP420, *Space Technology and applications International Forums-1988*.

“Overview of the U.S. Flight Safety Process for Space Nuclear Power”. Gary L. Bennett, *Nuclear Safety Vol. 22, No 4, July-August 1981*.

“Thermoelectrics handbook: macro to nano”. *CRC David Michaël Rowe*.

“Thermoelectrics handbook”. *CRC David Michael Rowe*.

“Chemistry, Physics and Material Science of Thermoelectric Materials”, *Edited by M.G. Kanatzidis, S.D. Mahanti and T.P. Hogan, Kluwer Academic 2003 N.Y.*

“The safety Review and Approval Process for Space Nuclear Power Sources”, Gary L. Bennett, *Nuclear Safety Vol. 32, No 1, January-March 1991*.

Ley 24.804 “Ley Nacional de la Actividad Nuclear” y Decreto reglamentario N° 1390/98 – <http://www.arn.gov.ar/Ley%20nuclear/index.HTM>

Normas regulatorias de la ARN - <http://www.arn.gov.ar/normas/index.htm>

Guías regulatorias de la ARN - <http://www.arn.gov.ar/Guias-R/index.htm>

Código de Conducta sobre Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radiactivas del OIEA - http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Code-2004_web.pdf7

Apéndice

“SEMINARIO SOBRE FUENTES DE ENERGÍA NUCLEAR EN EL ESPACIO: EL CAMINO A SEGUIR PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN UN CASO ESPECIAL PARA LA ARGENTINA”.

Correlación entre el Caso de Implementación de NPS en Argentina y el Marco de Seguridad para el Uso de Fuentes de Energía Nuclear en el Espacio Ultraterrestre

En su *Introduction to the Workshop* (First draft) el Presidente del Grupo de Trabajo sobre Fuentes de Energía Nuclear en el Espacio (NPS WG), Sam Harbinson, enumera los resultados que se esperan de las presentaciones que se efectúen en el Workshop, enfatizando que éstas habrán de:

- a) Conllevar a compartir información sobre las mejores prácticas en relación a la implementación del Marco de Seguridad.
- b) Ayudar a identificar los desafíos que se plantean en el camino de la implementación del Marco de Seguridad.
- c) Identificar y establecer bases razonables para la posible realización de otros dos Workshops en 2012 y 2013.
- d) Proveer información que asista al Grupo de Trabajo sobre Fuentes de Energía Nuclear en el Espacio en sus deliberaciones acerca de todo posible trabajo futuro para promover y facilitar la implementación del Marco de Seguridad.

Pregunta: ¿Se han logrado todos o algunos de los propósitos invocados por el Presidente?

Para responder a ello, lo primero que debemos tener en cuenta que el documento presentado es la primera incursión conjunta de los tres entes técnicos de Argentina involucrados en el desarrollo y posible uso de Fuentes de Energía Nuclear en el Espacio. Un especial esfuerzo ha sido puesto en seguir, para su planteo, los lineamientos del Marco de Seguridad (Documento A/AC.105/934).

La presentación por ende se encuadra en el punto b) de la *Strategy of the Work Plan* que dice:

- (b) Se invitará a los Estados miembros y a las organizaciones intergubernamentales internacionales que estén considerando la posibilidad de utilizar fuentes de energía nuclear en el espacio ultraterrestre o a los que ya hayan empezado a utilizarlas a presentar un resumen de sus planes, el grado progreso alcanzado***

hasta la fecha y los desafíos que han encontrado o prevean encontrar al implementar el Marco de Seguridad o los elementos específicos del mismo.

Hecha esta aclaración, veamos los principales aspectos del Marco de Seguridad y como se han tenido en cuenta o se van a tener en cuenta en el Proyecto propuesto por CONAE. Para ello seguiremos cada uno de los ítems relevantes del Documento A/AC.105/934.

2. Objetivo de seguridad: El objetivo de seguridad fundamental es proteger a las personas y el medio ambiente en la biosfera de la Tierra de los posibles peligros vinculados a las fases pertinentes de lanzamiento, explotación y puesta fuera de servicio de las aplicaciones de fuentes de energía nuclear en el espacio

Todo el documento del proyecto que se ha presentado refleja el cuidado puesto para el cumplimiento de este objetivo.

3. Orientación para los gobiernos

3.1. Políticas, prescripciones y procesos de seguridad: Los gobiernos que autorizan o aprueban misiones con fuentes de energía nuclear en el espacio deben establecer políticas, prescripciones y procesos de seguridad.

El documento explicita claramente la intervención tanto a nivel del Poder Ejecutivo como del Poder Legislativo al inicio de todo el proceso, (con la fiscalización y el control independiente de la ARN).

3.2. Justificación de las aplicaciones de fuentes de energía nuclear en el espacio: En el proceso de aprobación de las misiones por los gobiernos se debe verificar que se hayan justificado adecuadamente las razones para utilizar aplicaciones de fuentes de energía nuclear en el espacio.

Como se dijo en la introducción del documento, las Razones para el uso de NPS en baja órbita se dan para un país como Argentina, en la posibilidad de contar con una fuente de alimentación alternativa para evitar la pérdida por fallas de potencia al inicio de la misión. Asimismo, el proyecto que se presenta tiene como objetivo primario implementar la cultura del uso de las fuentes nucleares en el espacio en Argentina más que justificar el uso en una misión específica.

3.3. Autorización del lanzamiento de la misión: Debe establecerse y mantenerse un proceso de autorización del lanzamiento de la misión respecto de las aplicaciones de fuentes de energía nuclear en el espacio.

El documento presentado parte de la premisa de que si la Argentina decidiera realizar una misión de las características indicadas, debería contar para esa fecha con lanzadores propios. Caso contrario, debería haber acordado el lanzamiento con un país con capacidad de lanzamiento desde el inicio del diseño de la misión. En este aspecto, se

produce una primera dificultad entre las razones para utilizar NPS en baja órbita y el país que da el servicio de lanzamiento.

Este es un aspecto que consideramos que presenta una de las mayores dificultades para la inclusión de fuentes nucleares en misiones espaciales, sean en órbita terrestre o extraterrestres, por parte de países sin capacidad de lanzamiento propio.

Posiblemente uno de los temas que convenga que sean tratados por el *Grupo de Trabajo* es el de proponer guías al marco de seguridad que contemplen el caso de los países que desean efectuar misiones con fuentes nucleares y no cuentan con capacidad propia de lanzamiento de esas misiones.

3.4. Preparación y respuesta en casos de emergencia: Se deben realizar preparativos para responder a posibles casos de emergencia que entrañen una fuente de energía nuclear en el espacio.

En caso que el lanzamiento fuese realizado desde territorio argentino, el documento explicita que se aplicarían los procedimientos aprobados por la ARN.

Consideramos que uno de los temas que debieran tratarse en el WG de NPS cómo coordinar las acciones con otros países que sobrevuele la misión espacial, en el caso de accidente de satélites en órbita terrestre o misiones extraterrestres que fallen en seguir su trayectoria.

4. Orientación para la administración:

4.1. Responsabilidad de la seguridad: La responsabilidad principal de la seguridad debe recaer en la organización que lleve a cabo la misión portadora de una fuente de energía nuclear en el espacio.

Sin bien no elaborado en el detalle que explicita este punto del Marco de Seguridad, el documento presentado en el Workshop deja claramente establecido que la responsabilidad primaria está en la CONAE, que es el ente responsable de la misión espacial.

Particularmente, tal como lo establece este punto del Marco de Seguridad, las responsabilidades específicas de seguridad son impuestas claramente por la legislación argentina de aplicación.

4.2. Dirección y gestión al servicio de la seguridad: La organización que lleve a cabo la misión con una fuente de energía nuclear en el espacio debe establecer y mantener una dirección y gestión eficaces al servicio de la seguridad.

Sin bien no elaborado en el detalle que explicita este punto del Marco de Seguridad, el documento presentado en el Workshop deja claramente establecido que el cumplimiento de las normas exigidas por la ARN solo puede darse con una adecuada *dirección y*

gestión, liderada apropiadamente, que respete la cultura de la seguridad. Es por esa razón que se ha hecho tanto énfasis en la ARN y su rol en los procesos que manejan material radioactivo en Argentina y las exigencias que ello impone a los otros dos actores: la CONAE y la CNEA.

5. Orientación técnica:

5.1. Competencia técnica en materia de seguridad nuclear: Debe establecerse y mantenerse una competencia técnica en materia de seguridad nuclear para las aplicaciones de fuentes de energía nuclear en el espacio.

Sin bien no elaborado en el detalle que explicita este punto del Marco de Seguridad, el documento presentado en el Workshop deja claramente establecido que los entes técnicos de Argentina involucrados en el proceso de utilización de fuentes nucleares en el espacio tienen la competencia técnica apropiada en relación a seguridad nuclear.

5.2. Seguridad en el diseño y el desarrollo: Los procesos de diseño y desarrollo deben aportar el nivel más alto de seguridad que pueda razonablemente alcanzarse.

Sin bien no elaborado en el detalle que explicita este punto del Marco de Seguridad, el documento presentado en el Workshop deja claramente establecido que los diseños y desarrollos de la NPS y su implantación en un vehículo espacial, van a ser realizados con el mayor respeto hacia las cuestiones de la seguridad nuclear, todo ello bajo el continuo control de la ARN.

5.3. Evaluaciones de los riesgos: Deben llevarse a cabo evaluaciones de los riesgos a fin de caracterizar los riesgos radiológicos para las personas y el medio ambiente.

El documento presenta una primera aproximación, bastante detallada, de la Evaluación de Riesgos. Esta forma de encarar el tema desde ya es dinámica y a medida que se avance en el Proyecto el propio proceso de realimentación en el aprendizaje hará que el *Análisis y Evaluación de Riesgo* sea perfeccionado.

5.4. Mitigación de las consecuencias de accidentes: Deben adoptarse todas las medidas prácticas necesarias para mitigar las consecuencias de posibles accidentes

Este aspecto no es tratado en el documento presentado. Es uno de los aspectos más difíciles de encarar atento a las dificultades que se explicitaron en los puntos (3.3) y (3.4).