

**EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL  
PRIMER PROGRAMA RAMAL NUCLEAR**

**RESUMEN**

Nereida C. Díaz Martínez<sup>1</sup>  
Daniel López Aldama<sup>1</sup>  
Ramón Rodríguez Cardona<sup>2</sup>  
José Mario Rivero Blanco<sup>2</sup>  
Manuel S. Fernández Rondón<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía  
<sup>2</sup> Agencia de Energía Nuclear

Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía  
Agencia de Energía Nuclear  
Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente

La Habana, Octubre 2002

## 1. Introducción

La primera convocatoria del Programa Ramal Nuclear (PRN-I) constituyó una importante herramienta de planificación para la inserción de las técnicas nucleares en la vida socioeconómica del país. Estuvo dividida en dos etapas: la primera, que incluyó un total de treinta y tres proyectos, ejecutados en el período 1996-1998 y la segunda, que contó con cincuenta y cuatro proyectos, desarrollados desde finales de 1998 hasta el 2001. El presupuesto total del programa superó los cuatro millones de pesos, de estos aproximadamente se invirtió un tercio en la primera etapa y el resto en la segunda.

La gestión adecuada de un programa de tal envergadura y el logro de los resultados planificados fueron siempre preocupaciones de la dirección de la Agencia de Energía Nuclear. El análisis de la marcha de los proyectos era un punto frecuentemente tratado tanto por los Consejos de Dirección de los Centros como por la Junta de Directores de la Agencia. Asimismo, una discusión parcial de los resultados obtenidos fue realizada al finalizar la primera etapa en 1998.

Estos análisis fueron útiles para la gestión de los proyectos y el programa, pero pusieron en evidencia la necesidad de cuantificar mejor los resultados obtenidos. Por otra parte, demostraron la conveniencia de organizar toda la información disponible en formato electrónico para facilitar el acceso a los principales datos relacionados con el programa, así como su difusión entre los interesados.

Las incertidumbres existentes y la necesidad de evaluar los resultados alcanzados con la ejecución del PRN-I motivaron el financiamiento del proyecto de investigación no asociado a programa PNAP-CIEN-1 y su extensión PNAP/8/9 en el período 2001-2002. El presente trabajo constituye un resumen del informe final del estudio realizado.

## 2. Breve descripción del método aplicado

Es común subdividir las evaluaciones de programas de investigación en previas (*ex-ante*), durante (*ad-interin*) y finales (*ex-post*). Las evaluaciones *ex-post* suelen subdividirse a su vez en base al tiempo transcurrido desde el cierre del programa en *ex-post facto* y *ex-post de impacto*. La evaluación *ex-post facto* se hace inmediatamente que el programa concluye y las evaluaciones *ex-post de impacto* suelen realizarse de cinco a diez años después del cierre del programa.

El objetivo del trabajo fue realizar una evaluación *ex-post facto* de los resultados alcanzados en el PRN-I. El método utilizado se basa en el análisis jerárquico de los objetivos del programa. En cada nivel se sitúan los elementos similares que tienen impacto en los niveles superiores. A cada elemento se le asocia un peso en correspondencia con su importancia.

Para la ponderación se aplicó el método propuesto por Saaty, donde los pesos se calculan a partir de la predominancia de cada elemento o evento comparados dos a dos. Este método ha sido ampliamente usado por grupos de expertos de programas nacionales y ramales durante la aprobación de los proyectos presentados a dichos programas.

La asignación de las predominancias de cada aspecto a considerar, así como la evaluación de la contribución de los proyectos a los indicadores de éxito de los resultados, se basó en el criterio de los expertos a partir del análisis y la sistematización de la información recopilada.

### 3. Resultados

El procedimiento de evaluación desarrollado se aplicó al PRN-I. A partir de la documentación recopilada fueron identificados un total de cinco objetivos y veinticinco resultados. Se establecieron ochenta y nueve indicadores de éxito que fueron evaluados a partir de las salidas obtenidas por los ochenta y siete proyectos gestionados en el marco del programa, cuyo presupuesto fue superior a cuatro millones de pesos. La Tabla 1 presenta los principales datos que caracterizan el programa.

Tabla 1: Datos generales del PRN-1

No.	Propósito (Objetivo)	Número de resultados propuestos	Número de indicadores de éxito	Número de proyectos N	Presupuesto ejecutado P [\$]
1	Asegurado el apoyo científico-técnico necesario a las funciones del CITMA en el campo de la seguridad nuclear y radiológica	7 (28.0 %)	32 (36.0 %)	38 (43.7 %)	1769541 (42.9 %)
2	Establecidos nuevos servicios y elevada la calidad de los existentes en el campo nuclear.	7 (28.0 %)	21 (23.6 %)	23 (26.4 %)	1039917 (25.2 %)
3	Implementadas tecnologías en el campo de la electrónica decisivas para el desarrollo de aplicaciones nucleares.	4 (16.0 %)	10 (11.2 %)	13 (14.9 %)	618906 (15.0 %)
4	Mantenido adecuado volumen de investigación básica que garantice la necesaria actualización de conocimientos para futuros desarrollos en el campo nuclear	4 (16.0 %)	15 (16.9 %)	7 (8.0 %)	412853 (10.0 %)
5	Realizados estudios prospectivos que garanticen futuros desarrollos en la rama nuclear.	3 (12.0 %)	11 (12.3 %)	6 (7.0 %)	283590 (6.9 %)
Total	5 (100 %)	25 (100 %)	89 (100 %)	87 (100 %)	4124807 (100 %)

\*Los valores entre paréntesis representan el porcentaje del total.

La Tabla 2 resume los resultados de la evaluación propiamente dicha junto con los pesos asociados a cada objetivo y dos indicadores de gasto específicos. El primero da el presupuesto promedio por proyecto ejecutado y el segundo brinda información acerca del

presupuesto efectivo por unidad de evaluación expresado en pesos por por ciento. En el anexo I se presenta una lista de los resultados del PRN-I.

Tabla 2: Evaluación del PRN-I.

No.	Propósito	Dominancia $a_{ii}$	Peso W	Evaluación E [ptos.] E [%]	P/N [\$/proyecto]	P/(EW) [\$/%]
1	Asegurado el apoyo científico-técnico necesario a las funciones del CITMA en el campo de la seguridad nuclear y radiológica.	1.0000	0.3243	3.58	46567	60009
				90.9 %		
2	Establecidos nuevos servicios y elevada la calidad de los existentes en el campo nuclear.	1.0000	0.3243	2.40	45214	45190
				71.0 %		
3	Implementadas tecnologías en el campo de la electrónica decisivas para el desarrollo de aplicaciones nucleares.	0.5000	0.1622	2.38	47608	53952
				70.7 %		
4	Mantenido adecuado volumen de investigación básica que garantice la necesaria actualización de conocimientos para futuros desarrollos en el campo nuclear.	0.3333	0.1081	3.39	58979	43784
				87.2 %		
5	Realizados estudios prospectivos que garanticen futuros desarrollos en la rama nuclear.	0.2500	0.0811	2.00	47265	53850
				65.0 %		
Evaluación general del Primer Programa Ramal Nuclear				2.85	47412	53016
				77.8 %		

El programa alcanzó una evaluación de 2.85 puntos que representa aproximadamente un 77.8 %, el cual puede calificarse de razonablemente satisfactorio. El propósito identificado como número 1 alcanzó la mayor evaluación con un 90.9 %. Este propósito perseguía garantizar las funciones asignadas a la AEN dentro del CITMA en el campo de la seguridad nuclear y radiológica. A partir de la evaluación del objetivo puede afirmarse que la infraestructura técnica para los servicios estatales relacionados con la protección radiológica fue garantizada.

Los propósitos 2 y 3 alcanzaron una evaluación de un 71% aproximadamente. El objetivo 2 incluye resultados relacionados con el incremento de la gestión de calidad en la producción de radiofármacos, el estudio y la introducción de nuevos métodos de marcaje y

la producción de los medios de blindaje necesarios para su comercialización. Los resultados alcanzados en el propósito 3 están relacionados con la implementación de un sistema espectrométrico nuclear y la automatización de los módulos de medicina nuclear en el país.

La evaluación alcanzada por estos dos objetivos considerando la experiencia existente en el período analizado también resulta razonable. Debe señalarse que los proyectos ejecutados en el marco de estos objetivos requieren en ocasiones de sumas significativas en moneda libremente convertible, las cuales no son asignadas en el marco de los programas ramales y deben ser asumidas completamente por los centros. Por otra parte es conveniente mencionar que globalmente las producciones de la AEN aumentaron apreciablemente durante la ejecución del PRN-I, aunque no siempre estos incrementos estuvieron directamente asociados a proyectos de investigación-desarrollo financiados en el marco del programa.

El propósito 4 al igual que el 1 alcanzó una evaluación relativamente elevada. Aquí los resultados estaban relacionados con la asimilación y obtención de nuevos conocimientos en el campo de la física nuclear, los nuevos materiales y la radiobiología. Se lograron más de 20 publicaciones en revistas de impacto durante la ejecución de los siete proyectos financiados.

El propósito 5 fue el que presentó las mayores dificultades habiendo quedado sin cubrir aspectos muy importantes para la AEN relacionados con la prospectiva tecnológica y el análisis de las principales tendencias de desarrollo en la rama nuclear.

La Tabla 3 muestra los resultados de la evaluación si sólo se considera la primera etapa del PRN-I. En esta etapa se ejecutaron 33 proyectos que representan un 37 % del total de proyectos. El presupuesto gastado fue ligeramente superior a 1.3 millones de pesos para un 33 % del presupuesto total.

La mejoría en la evaluación de los propósitos 2 y 3 del PRN-I por la ejecución de la segunda etapa en el período 1998-2000 es significativa siendo aproximadamente de 16 % y 14 % respectivamente. Por otra parte el propósito 1 aumentó sólo en un 5% su evaluación a pesar de haberse ejecutado un elevado presupuesto. Puede interpretarse que la mayoría de los problemas de este objetivo quedó satisfactoriamente resuelta en la primera etapa y las mejoras obtenidas durante la segunda etapa tuvieron menor peso en general. Además la definitiva paralización por tiempo indefinido de la construcción de la Central Nuclear de Juraguá afectó negativamente la ejecución y el alcance de los resultados de este objetivo.

Los propósitos 4 y 5 tuvieron una mejoría moderada al concluir la segunda etapa del programa. Sus evaluaciones aumentaron en un 7.2 % y un 5.5 % respectivamente. Considerando los pesos de cada propósito el programa experimentó una mejoría global de un 10 %.

El análisis de la gestión del programa que se presenta a continuación se basa en las siguientes suposiciones:

- El presupuesto asignado al PRN-I era suficiente para alcanzar todos los resultados propuestos.

- El presupuesto requerido en cada propósito para obtener la máxima calificación era directamente proporcional al peso del mismo.

Tabla 3: Evaluación del PRN-I considerando sólo la primera etapa (1996-1998)

No.	Propósito	Evaluación E [ptos.] E [%]	Presupuesto P [\$] %	P/(EW) [\$/%]
1	Asegurado el apoyo científico-técnico necesario a las funciones del CITMA en el campo de la seguridad nuclear y radiológica.	3.31	340263 (25.3 %)	12239
		85.7 %		
2	Establecidos nuevos servicios y elevada la calidad de los existentes en el campo nuclear.	1.35	363692 (27.1 %)	20317
		55.2 %		
3	Implementadas tecnologías en el campo de la electrónica decisivas para el desarrollo de aplicaciones nucleares.	1.45	199857 (14.9 %)	21738
		56.7 %		
4	Mantenido adecuado volumen de investigación básica que garantice la necesaria actualización de conocimientos para futuros desarrollos en el campo nuclear.	2.99	228375 (17.0 %)	26480
		79.8 %		
5	Realizados estudios prospectivos que garanticen futuros desarrollos en la rama nuclear.	1.64	211101 (15.7 %)	43724
		59.5 %		
Evaluación general		2.20	1343288 (100 %)	19761
		68.0 %		

La Tabla 4 presenta la estructura del presupuesto según las suposiciones anteriores. La diferencia relativa está tomada con respecto al presupuesto total P. El indicador  $r$  da una medida de la eficiencia alcanzada con respecto a la eficiencia esperada, la cual se obtiene al dividir el presupuesto  $C_i$  por la evaluación máxima de 100%. Es importante señalar que de acuerdo al modelo adoptado la eficiencia efectiva máxima,  $C_i/(w_i \cdot 100\%)$ , es la misma para todos los objetivos e igual a 41248.07 \$/%. Por otra parte, el indicador  $s$  es la razón entre el presupuesto realmente gastado y el calculado. La relación entre  $r$  y  $s$  es  $r=s \cdot 100/E$ , donde la evaluación está dada en por ciento. A partir de esta expresión se aprecia que  $r=s$ , si  $E=100\%$ .

Tabla 4: Análisis del presupuesto por propósito

Propósito	Presupuesto calculado $C_i = P \cdot w_i$ [\$]	Diferencia relativa $(P_i - C_i)/P$ [%]	$r = \left( \frac{\frac{P_i}{E[\%]}}{\frac{C_i}{100\%}} \right)$	$s = \frac{P_i}{C_i}$
1	1337675	10.5	1.455	1.323
2	1337675	-7.2	1.095	0.777
3	669044	-1.2	1.308	0.925
4	445892	-0.8	1.062	0.926
5	334521	-1.3	1.304	0.848

De la Tabla 4 se observa que la estructura del presupuesto gastado se desvió significativamente de la estructura del modelo para los propósitos 1 y 2. Al propósito 1 se destinó un 10.5 % más del presupuesto requerido según su importancia y al propósito 2 por el contrario un 7.2 % menos. En el resto de los propósitos las asignaciones estuvieron por debajo en alrededor de un 1 % del presupuesto total. Es conveniente hacer notar que un 1% del presupuesto total corresponde aproximadamente al presupuesto promedio gastado por proyecto.

Como puede apreciarse la eficiencia de los propósitos 1, 3 y 5 es significativamente más baja que la esperada según el modelo propuesto. Los propósitos 2 y 4 fueron ejecutados con razonable eficiencia.

Estos indicadores sugieren que la ejecución del PRN-I pudiera haberse mejorado si parte del presupuesto ejecutado en el propósito 1 se hubiese destinado al propósito 2. Sin embargo para hacer esta afirmación es necesario chequear la disponibilidad de divisa en los centros y la existencia de los recursos humanos necesarios para asumir más proyectos.

De forma similar la ejecución de algún proyecto por encargo en el propósito 5 también hubiera contribuido a una mejor evaluación del programa. Este caso no exige sumas significativas en moneda libremente convertible y los análisis prospectivos pueden ser instrumentos de gran importancia para la toma de decisiones por los directivos de la AEN.

Debe añadirse que el PRN-I también contribuyó a aumentar la visibilidad del trabajo de la AEN, constituyó un apoyo y un instrumento de orientación para la colaboración internacional, ayudó a establecer el trabajo por proyecto y adiestró a los directivos de la agencia en la gestión y financiamiento de programas de investigación relativamente complejos.

### 3.1 Posibilidades de generalización

El concepto de generalización considera las acciones necesarias para difundir los resultados científicos alcanzados y su aplicación en una organización que no los generó. Este proceso permite elevar el impacto del resultado obtenido y con ello la pertinencia del programa.

En el marco del presente trabajo se realizó un estudio preliminar para evaluar el estado de generalización que presentan las salidas de los proyectos ejecutados. Se consideró que en general los resultados relacionados con el objetivo 1 han tenido cierta generalización al estar vinculados a servicios y funciones estatales que se garantizan en la actualidad. En este mismo objetivo existen algunas salidas que deben ser atendidas para que sean utilizadas por el ente regulatorio siendo las más significativas:

- Evaluación de las dosis que recibe la población cubana debida a fuentes ambientales de radiación o a fuentes ambientales intensificadas por la acción del hombre.
- Niveles de dispensa para la desclasificación de desechos radiactivos
- Perfeccionamiento del sistema computadorizado para la adquisición, procesamiento y control de la información dosimétrica de los trabajadores ocupacionalmente expuestos

Otras salidas pudieran ser generalizadas por el MINSAP como por ejemplo:

- Optimización de la exposición médica en el diagnóstico por rayos X.
- Aseguramiento metrológico de la determinación de la actividad de los radionúclidos en los preparados utilizados en la medicina nuclear

Con relación al objetivo 2 también se consideró que los resultados relacionados con las producciones del CENTIS y la fabricación de los contenedores de plomos se encuentran aplicados satisfactoriamente. Se evaluó que algunos resultados obtenidos fundamentalmente en la segunda etapa del PRN-I pudieran ser generalizables en coordinación con el MINSAP como es el caso de:

- Marcaje de anticuerpos monoclonales con Y-90 y Tc-99m
- Mejoramiento de los procesos de liofilización de MIBI y DMSA
- Obtención de una formulación farmacéutica con Y-90.
- Marcaje radioisotópico y HPLC para los estudios farmacocinéticos de péptidos y anticuerpos monoclonales radiomarcados.

En este objetivo es también necesario prestarle atención a:

- Introducción de la técnica de datación de sedimentos a través de radiotrazadores ambientales
- Estudios de contaminación y transporte de contaminantes en aguas naturales con técnicas de radiotrazadores.

Con relación al objetivo 3 es importante definir los trabajos de generalización con relación a la producción de un dosímetro de zona para la medición del nivel de contaminación gamma externa, a la reparación de detectores semiconductores y a la introducción del sistema RenoSys.

Finalmente en el objetivo 5 se consideró oportuno evaluar la posibilidad de incluir los resultados obtenidos en el estudio de la favorabilidad uranífera en el fondo geológico del país.

Asimismo se constató la necesidad de concluir o ejecutar los siguientes trabajos:

- Prototipos de contenedores para la gestión segura de fuentes de irradiación en desuso (PIA, CEADEN)
- Organizar cursos nacionales de protección radiológica en el ISCTN
- Establecer un sistema de vigilancia tecnológica en la AEN.

#### 4. Conclusiones y recomendaciones

Las principales conclusiones del trabajo realizado son las siguientes

- Se desarrolló un procedimiento para evaluar el PRN-I, que es aplicable a otros programas de investigación.
- Los resultados del PRN-I pueden evaluarse de razonablemente satisfactorios.
- La gestión del PRN-I fue aceptable, a pesar de no haber partido de un modelo de gestión formalmente establecido de antemano.
- El uso de un modelo formal de gestión acordado de antemano puede mejorar la gestión del programa y dirigir sus resultados a obtener un mayor impacto socioeconómico.

Como recomendaciones del trabajo podemos plantear:

- Aplicar el método desarrollado a la segunda convocatoria del PRN
- Definir el plan de generalización de los resultados alcanzados en el PRN-I

**ANEXO I: Resultados por propósitos del PRN-I**

<b>No.</b>	<b>Resultado</b>	<b>Dominancia <i>a<sub>ii</sub></i></b>	<b>Peso <b>W</b></b>	<b>Evaluación <b>E [ptos]</b></b>	<b>Presupuesto <b>[\$]</b></b>
1.1	Mejorado el sistema de vigilancia radiológica ambiental	1.0000	0.0862	2.86	58375
1.2	Mejorado el servicio de dosimetría individual a nivel nacional	0.2000	0.0172	3.27	140873
1.3	Incrementada la capacidad nacional de respuesta a emergencias nucleares y radiológicas	0.2000	0.0172	3.88	164940
1.4	Mejorada la gestión de desechos radiactivos	0.2000	0.0172	3.42	559375
1.5	Mejorados los métodos para la realización de los análisis de seguridad de las instalaciones nucleares	3.0000	0.2586	3.70	293198
1.6	Establecidos los requerimientos y métodos para la realización de los análisis de seguridad del núcleo de los reactores VVER-440	3.0000	0.2586	3.40	212453
1.7	Estudiadas las distintas vías de exposición del público a fuentes radiactivas naturales o artificiales	4.0000	0.3448	3.82	340327
2.1	Incrementada la eficiencia y calidad en la producción de radiofármacos	1.0000	0.0357	2.93	290468
2.2	Introducidos nuevos servicios de marcaje especializados	5.0000	0.1786	3.58	60054
2.3	Establecido servicio de control técnico de hermeticidad de fuentes selladas	5.0000	0.1786	3.33	110633
2.4	Establecidos nuevos servicios aplicando técnicas analíticas nucleares y radiotrazadores	4.0000	0.1429	3.40	193982
2.5	Introducida tecnología para la construcción de medios de blindajes	3.0000	0.1071	4.00	74292
2.6	Incrementada la efectividad de los sistemas dosimétricos de altas dosis utilizados con las técnicas de irradiación	5.0000	0.1786	0.00	40000

## Resultados por propósitos del PRN-I (cont.)

No.	Resultado	Dominancia <i>a<sub>it</sub></i>	Peso W	Evaluación E [ptos]	Presupuesto [\$]
2.7	Incrementada la calidad de la protección radiológica en los servicios de radioterapia (RT), radiodiagnóstico (RD) y medicina nuclear (MN).	5.0000	0.1786	0.80	270488
3.1	Establecida tecnología de reparación y producción de detectores semiconductores	1.0000	0.5769	2.18	118628
3.2	Implementado sistema espectrométrico nuclear	0.3333	0.1923	3.44	275911
3.3	Incrementado nivel de automatización de los módulos de medicina nuclear en el país	0.2000	0.1154	3.00	188178
3.4	Desarrollados prototipos de equipos dosimétricos para mejorar la protección radiológica y la práctica de radioterapia (RT)	0.2000	0.1154	1.00	36189
4.1	Desarrollados modelos y formalismos adecuados para la descripción de la estructura nuclear	1.0000	0.3000	4.00	187151
4.2	Obtenidos nuevos conocimientos sobre la interacción de las radiaciones sobre materiales importantes en estudios de daño por irradiación o analítico-estructurales	1.0000	0.3000	3.81	43553
4.3	Obtenidos nuevos conocimientos sobre radiobiología	1.0000	0.3000	2.14	68520
4.4	Asimilados métodos de evaluación de datos nucleares	0.3333	0.1000	4.00	113629
5.1	Concluido pronóstico de la prospectividad uranífera de Cuba	1.0000	0.5455	3.00	179751
5.2	Determinada la percepción de diferentes sectores de la población cubana sobre el uso de la energía nuclear	0.3333	0.1818	1.50	64582
5.3	Evaluadas tendencias de desarrollo de las principales aplicaciones de la energía nuclear para el siglo XXI y divulgación de las existentes.	0.5000	0.2727	0.32	39257
Total	25				4124807