

La Investigación y la Incorporación de Tecnología en el Plan Nuclear Argentino*

M.B.A. Crespi, J.F. Kittl. C.F. Varotto**

1. Introducción

La aceptación de la ciencia y la tecnología como factor esencial del desarrollo es total en los niveles de decisión y ejecución de los gobiernos y las fuerzas económicas de los países avanzados, pero no ocurre lo mismo en el caso de los que no se encuentran en ese nivel. Se da así la paradoja de que la actividad de investigación y desarrollo (ID) es proporcionalmente mucho menor en los países que están en la etapa preindustrial, que serían obviamente los

* Trabajo expuesto en el congreso "Los Recursos Humanos y el Desarrollo" de la Federación Mundial de Asociaciones de Ingenieros, Buenos Aires, Noviembre 1981.

**Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, Argentina.

ψ
TABLA 1 – ACTIVIDAD DE INVESTIGACION Y DESARROLLO

País y año	Científicos y tecnólogos con grado universitario en tareas ID		Gasto anual en ID	
	Por millón de habitantes	Totales	Total (10 ⁶ U\$S)	Por habitante (U\$S)
Japón (1975)	3600	400000	9750	85
EE. UU. (1976)	2500	540000	38600	180
Holanda (1975)	1750	23750	1640	120
Alemania (1975)	1700	104000	9100	150
Francia (1975)	1250	65700	5800	110
Canadá (1975)	735	16500	1700	75
Italia (1975)	690	37900	1700	31
Argentina (1976)	310	8000	85	3,3
España (1974)	225	7900	280	8
India (1971)	175	97000 (*)	250	0,45
Perú (1974)	150	2080	26	1,8
México (1974)	100	5900	100	1,7
Brasil (1974)	75	7700	310	3

(*) Incluye técnicos.

FUENTE: Tablas 211 (Ciencia y Tecnología), 194 (Tasas de Cambio) y 18 (Población), Statistical Yearbook 1978, Naciones Unidas, N. York, 1979.

NOTA: La Tabla 1 debe considerarse solamente como una primera aproximación por las siguientes razones: (a) La inversión en ID y el número de personas involucradas se obtienen por medio de encuestas efectuadas en los países miembros, por lo que los criterios de inclusión o exclusión de actividades pueden no ser totalmente uniformes. (b) Las tasas de cambio oficiales no reflejan exactamente la equivalencia de gastos ID de diferentes países (por ejemplo, una misma cantidad de dólares puede remunerar a números diferentes de personas de nivel similar).

que más la necesitan, que en los que han dejado atrás esa etapa. Por ejemplo, en la Tabla 1 se dan, para un grupo de países, valores representativos de esta actividad a mediados de la década del 70. Se ve que, aun teniendo en cuenta que se trata sólo de una primera aproximación, como se indica en la misma Tabla, la disparidad es enorme.

Un aspecto que es en parte responsable de la situación que predomina en los países preindustriales es que el dominio de una tecnología es un proceso largo, por lo que su realización sin tropiezos en las circunstancias recién mencionadas no es fácil. Esto hace que con frecuencia se cuestione la conveniencia de emprender esfuerzos locales de ID frente a la alternativa, que se ve más segura, inmediata y eficaz, de importar tecnología. Muchos de quienes sustentan esta posición no niegan la actividad científica local. Por el contrario, la aceptan e inclusive la estimulan como una parte de la cultura, importante para que un país merezca ese nombre y pueda estar orgulloso de sus logros intelectuales, como lo está de sus pintores y sus escritores.

Esto no significa que en los países preindustriales se desconozca la importancia de la ciencia y la tecnología sino, simplemente, que este reconocimiento es esencialmente declamatorio. Aquí vale el precepto de "haz lo que digo y no lo que hago". Por otra parte, en estos países se da también la circunstancia de que la actividad de ID financiada por la industria local es muy pequeña, lo que deja al gobierno como único patrocinador y provoca frecuentemente la introducción de ingredientes de carácter político que conspiran contra la continuidad y la calidad de los trabajos. Cabe destacar al respecto que en los países de la Comunidad Económica

res, pero en manera alguna la consideran como un factor efectivo y esencial del desarrollo nacional. Es de notar que tampoco quieren un país desvalido e inerte frente a los embates del comercio internacional, por lo que generalmente preconizan un sistema más o menos estricto de control de la importación de tecnología que evite abusos, aunque siempre dentro de un esquema tecnológico esencialmente subsidiario.

Creemos que en el predominio o la debilidad de esta posición apriorística reside la diferencia esencial entre un país desarrollado o destinado a serlo y otro que siempre quedará en el camino, aunque probablemente sin reconocerlo y culpando de su fracaso o alguna oscura fuerza nacional o internacional. Desde ese punto de vista, el subdesarrollo es más una cuestión de actitud que de falta de posibilidades, como generalmente se acepta.

2. El dominio de una tecnología

Puede decirse que se dispone realmente de una tecnología respecto de un ítem determinado, sea éste una instalación, un producto o un servicio, cuando se conocen con la profundidad suficiente todos los factores necesarios para acceder a ese ítem en forma permanente y continuada y para irlo mejorando a medida que las condiciones tecnológicas y económicas lo exijan. Este último aspecto es esencial, en cuanto garantiza que el conocimiento es algo más que la repetición más o menos rutinaria de una receta o una serie de recetas. Quizás una manera cuantitativa de expresarlo sería fijar como condición que sea posible vender la tecnología genuinamente a otra firma o país o, inclusive, en el caso de haberla obtenido inicialmente por transferencia, revenderla al proveedor original en forma mejorada.

Cuando la tecnología es transferida y no desarrollada localmente, y su objeto es una instalación grande, el dominio no conlleva como condición necesaria que todos los componentes sean obtenidos localmente, ya que ello puede no ser conveniente por razones técnicas o económicas, pero sí que se tenga en todo momento la capacidad de decidir por sí la alternativa más apropiada de suministro de acuerdo con las exigencias del diseño local hecho posible por ese dominio. Por ejemplo, en el caso de un programa de centrales nucleares puede ser conveniente la fabricación local de generadores de vapor, ítems especializados y costosos que se fabrican uno a uno, pero no de un pequeño número de bombas producidas en

serie en otro país. En cualquier caso, sin embargo, la seguridad del suministro con calidad apropiada es esencial, y en este aspecto el dominio real de la tecnología es también decisivo para tomar cursos de acción que garanticen la no aparición de situaciones fuera de control.

3. Tecnología y recursos humanos.

El proceso completo de adquisición de una tecnología cubre cuatro escalones que van desde la generación del conocimiento hasta la concreción en bienes y que son, sucesivamente:

- Investigación básica
- Investigación aplicada
- Desarrollo de la tecnología
- Producción.

En la primera etapa, la investigación básica, el investigador trabaja prácticamente por el interés puramente académico de un problema y la aplicación de sus resultados no entra en consideración. Estos resultados son, en algunos casos favorables (quizá el 1% de los posibles), el punto de partida del segundo escalón, que es aún investigación, con métodos análogos a los de la investigación básica y con el objetivo de obtener un mejor conocimiento de algún aspecto de la naturaleza, pero en la cual este conocimiento no se considera como un fin en sí mismo sino como un paso intermedio hacia un aprovechamiento práctico.

En el tercer escalón, este conocimiento forma la base para el desarrollo de productos o de procesos para obtenerlos; la creación, ya no de conocimientos, sino de tecnología. Este es el campo propio de la empresa de tecnología, cuyos productos no son conocimientos ni bienes sino métodos para aplicar los conocimientos a la producción de bienes.

En cuanto al cuarto escalón, éste está constituido por la producción industrial de bienes.

Hay una diferencia entre los primeros dos escalones y los dos últimos. En efecto, en éstos, el producto, sea tecnología o bien, entra en la competencia económica, y las empresas generadoras de dicho producto deben ser económicamente rentables, o sea capaces de generar, por su venta, recursos genuinos para su evolución y crecimiento. Esto significa que la tecnología producida en el tercer escalón debe ser 'económicamente viable' y no sólo 'técnicamente realizable', y que tanto ésta como sus productos deben competir en el mercado y llenar una necesidad medible en 'ventas'. Ello no ocurre en los dos primeros escalones, en que la valoración responde a otra escala y en que la inversión principal es en personal califi-

cado y en su costo de formación. En el tercer escalón, las inversiones en 'materia gris' suelen ser comparables a las inversiones en bienes, y en el cuarto predominan normalmente estas últimas aunque, como la inversión total es mucho mayor, la correspondiente al personal calificado sigue siendo alta en valor absoluto.

Surge de lo anterior que el factor fundamental en la adquisición y el dominio de una tecnología es la disponibilidad de recursos humanos apropiados en las cuatro etapas. La separación entre éstas no es a veces muy neta, pero lo es el hecho de que cada una de ellas requiere un tiempo mínimo para concretarse y de que deben darse en su secuencia natural. Así, no es concebible que en un medio sin tradición alguna en investigación básica se origine espontáneamente el segundo o tercer escalón. Y si se tiene el cuarto escalón solamente, como puede darse, esto será por simple aplicación mecánica de procedimientos, sin posibilidad alguna de que se alimente de innovaciones generadas en los escalones locales y por lo tanto, de que se cumpla la condición de dominio real dada más arriba. Es claro que podrá alimentarse desde el exterior, pero es claro también que, aunque esto pueda ser conveniente y aun necesario en una determinada etapa, no es la solución buena en el largo plazo, en especial cuando se trata de producción de bienes económicamente competitivos para el medio considerado comparado con otras regiones o países y aun cuando se extremen las precauciones para que las técnicas de fabricación introducidas sean útiles. En efecto, al limitarse a establecer un control de la importación de tecnología, por bueno que éste sea, sin cuidar de poner en marcha un sistema paralelo de desarrollo propio, no sólo se acepta de antemano una subordinación económica, social y finalmente política creciente de los países proveedores, sino ni siquiera se garantiza el funcionamiento correcto del sistema de transferencia, ya que éste, para ser satisfactorio, debe estar insertado en una realidad científico-tecnológica activa con espíritu crítico propio y no simplemente espectadora.

Una vez puesta en operación e insertada en el sistema productivo existente una tecnología, queda todavía el problema de la aceptación del o los nuevos productos en el mercado interno y en el de exportación. Este último aspecto se ve dificultado generalmente en los países preindustriales por los pronunciados vaivenes usuales en su política económica, que los descoloca frente a la estabilidad de los países industrializados, con metas mucho más claras y definidas

para el mediano y largo plazo, y también porque estos últimos países, en virtud de su intensa labor en ID, pueden ofrecer una evolución tecnológica continua en los productos que exportan. En el caso del mercado interno, la solución se busca a veces aplicando medidas proteccionistas sin acompañarlas de una política de desarrollo tecnológico suficientemente activa, por lo que la consecuencia frecuente es la presencia de tecnologías anticuadas, sin potencial de evolución. Por ejemplo, la inserción de industrias automotrices estimuladas por la satisfacción de un mercado ansioso, que aparece en primer análisis como un medio eficaz de incorporar tecnología en el sector metal-mecánico, puede terminar en un callejón del tipo del recién mencionado, como ha ocurrido en muchos países, si se realiza fundamentalmente en base a una transferencia indiscriminada desde el exterior y no se desarrollan paralelamente las otras etapas.

En todos los casos, la consolidación de recursos humanos de alto nivel científico-técnico, capaces de actuar con creatividad en las cuatro etapas, aparece como la condición esencial para racionalizar e innovar tecnológicamente "desde adentro" antes de que, con el tiempo, un esquema inicialmente exitoso basado en la transferencia vaya perdiendo automáticamente vigor por la saturación del mercado interno y la incapacidad de exportar competitivamente. Para la utilización eficiente de una tecnología es necesario que ésta se use correctamente y que tenga capacidad de evolución, y para ello es imprescindible tener un grupo suficientemente grande de personas con capacidad científica y tecnológica adecuadas y un sistema para su formación que aumente continuamente su calidad y cubra sus bajas.

En términos económicos, la disponibilidad insuficiente de recursos humanos adecuados penaliza con un costo oculto el empleo de una tecnología determinada. Según Trindade (C. Trindade, *The Social Price of Energy Transfer*, en "Solar Energy for Development", Comisión de Comunidades Europeas, Informe EUR-6377, Bruselas, 1979), si C es el costo monetario pagado por el usuario de una tecnología por su transferencia (por lo general pequeño en relación con el total de la operación, ya que lo usual es que se venda una instalación y se transfiera la tecnología por un sobreprecio) y Q la fracción del conocimiento esencial involucrado absorbida, el precio real para el usuario es $P = C/Q$, que sólo coincide con el nominal cuando $Q = 1$, es decir, cuando el dominio es total. En el caso límite en que Q es nula, más

próximo a muchos ejemplos reales de lo que puede creerse, el precio P es infinito. Lo interesante es que desde el punto de vista del proveedor, para el cual $Q = 1$, el precio es el valor C que figura en el contrato en cualquier caso. Esta diferencia de lenguaje entre proveedor y usuario explica muchos de los problemas que aparecen a veces en la economía de las tecnologías transferidas.

Corresponde mencionar, finalmente, que existe también una diferencia entre las dos primeras y las dos últimas etapas en lo que hace al tipo de recursos humanos más apropiados. En las dos primeras se requieren esencialmente un conjunto de cualidades que se identifican con lo que usualmente se denomina un 'investigador', en cuanto su obra culmina en contribuciones al avance del conocimiento. En las dos últimas, en cambio, las necesidades apuntan al 'ingeniero', ya que lo que interesa es llegar a una realización concreta que podrá o no ser original pero que debe cumplir con un fin determinado. Para que una tecnología pueda considerarse realmente dominada, lo ideal es que ambas mentalidades coexistan y colaboren armoniosamente, ya que una de ellas provee la garantía de funcionamiento y la otra la garantía de innovación.

4. Desarrollos generales y sectoriales.

Por lo general, la meta de cubrir las cuatro etapas recién mencionadas en todas las tecnologías necesarias para su desarrollo resulta demasiado ambiciosa para los países preindustriales. Un ataque en todos o gran parte de los frentes exige una decisión política de primer nivel que asigne una prioridad franca e indiscutida a la adquisición real de tecnología y la mantenga a lo largo de un período prolongado. En este período los resultados no son evidentes, ni mucho menos, por lo que lo más probable es que la política se vaya debilitando y el esfuerzo no llegue a fructificar. Cuando lo hace, los resultados pueden ser espectaculares, como lo prueba el ejemplo del Japón de postguerra, que constituye uno de los casos más claros de aplicación coherente de una política científica y tecnológica dirigida hacia el desarrollo. Cabe destacar que ésta debe incluir no sólo los aspectos (decisivos, pero no suficientes) de formación masiva de científicos y tecnólogos al máximo nivel y de provisión de condiciones adecuadas de trabajo sino también las medidas tributarias, aduaneras, de control de transferencias, etc., que la acompañan cuando se la concibe, como debe hacerse, como una política global. La adopción de medidas aisladas y no integrales, por bien

inspiradas que estén, por lo general conducen al fracaso.

Frente a la alternativa ambiciosa del ataque amplio, aparece como posibilidad el desarrollo prioritario de un sector. Esto también es difícil de concretar por las mismas razones, pero presenta la ventaja de que el campo de acción es más reducido y, por lo tanto, más manejable. Por las mismas razones, las condiciones mínimas con capacidad de reproducción, caracterizadas porque se ha llegado a la masa crítica en lo que respecta a personal calificado activo y porque la evidencia del rendimiento propio del sector multiplica las inversiones locales y estimula su crecimiento, pueden alcanzarse con menos dificultades. El desarrollo del sector en cuestión queda entonces sentado sobre bases científicas y tecnológicas firmes y es capaz de contribuir realmente a disminuir la dependencia, tanto por creación directa de tecnología cuanto por selección, adecuación y asimilación, con capacidad crítica propia, de tecnología extranjera.

Es de notar que el desarrollo prioritario de un sector particular puede ser más beneficioso para el conjunto de la actividad científica y tecnológica del país que una apertura simultánea en un abanico de temas. En efecto, en este segundo caso la falta de prioridades termina por lo general en que se realizan un sinnúmero de actividades que apenas consiguen sobrevivir sin pena ni gloria porque no llegan a sus respectivos tamaños críticos debido a dificultades económicas o de personal. Si se intensifica la acción en un sector determinado, en cambio, lo que facilita que se alcance el tamaño crítico, la influencia del sector va extendiéndose hacia afuera y, de esta manera, reactiva con estudios de base toda la zona de temas limítrofes.

Cabe mencionar que la política de desarrollo prioritario de un sector determinado es aplicada también por países ubicados francamente en la franja de los desarrollados. Por ejemplo, en el caso de Francia, el índice global "gasto en ID por habitante" pasó del 0,40 al 0,71 del valor norteamericano entre 1961 y 1967 mientras el correspondiente al desarrollo nuclear lo hizo de 1,4 a 2,1, indicando una asignación de prioridad a ese sector (K. Pavitt, loc. cit.). Basta examinar la evolución relativa de los programas nucleares de Francia y Estados Unidos en la década del 70 para ver claramente la reflexión de estas decisiones sobre los resultados obtenidos. El índice global citado en primer término es, por otra parte, un ejemplo particular del reconocimiento de los países europeos y del Japón de que una posición débil en ciencia y

tecnología aumentaba su dependencia de Estados Unidos, que provocó que la inversión relativa en ID progresara más rápido en los principales países de Europa y en el Japón que en EE.UU. a lo largo de toda esa década.

5. El desarrollo del programa nuclear argentino.

La evolución de la actividad nuclear de la Argentina constituye un caso de interés para ser examinado dentro de la perspectiva recién expuesta. La acción se inició al comenzar la década del 50, con la creación de la Comisión Nacional de Energía Atómica y la consolidación de los primeros laboratorios de investigación. Por cierto, su desarrollo no se cumplió siempre en condiciones óptimas, ni se realizó en forma aislada e independiente de los diversos momentos políticos que vivió el país, ni las políticas parciales fueron totalmente claras en todo momento. Sin embargo, a través de él se ha llegado a cubrir un programa integral de energía nuclear que incluye prácticamente todos los campos de investigación y aplicación importantes, entre ellos la instalación y operación de centrales nucleoelectricas, y que, a pesar de su complejidad, está en realización en un país en desarrollo con objetivos y criterios científicos y tecnológicos, y no solamente políticos, establecidos y controlados por éste.

Creemos que la causa principal de esa realidad, no común en países del estado de evolución de la Argentina aun en campos más simples que el nuclear, reside en que la política de formación de investigadores y tecnólogos al mayor nivel posible se mantuvo con la suficiente uniformidad e intensidad para que el plantel no dejase de crecer, y se cubriesen las inevitables bajas producidas, a lo largo de tres décadas. Otro factor importante fue, sin duda, que el ingreso de la Argentina a la actividad nuclear se produjo cuando ésta recién se había iniciado en el mundo, lo que permitió ir cubriendo las cuatro etapas mencionadas en su secuencia lógica. Pero es evidente que sin el mantenimiento de la política de recursos humanos recién mencionada la oportunidad, como tantas otras, se habría perdido, y la situación actual sería totalmente diferente de lo que es.

La experiencia que surge del proceso cumplido es útil para tratar de identificar algunos aspectos que contribuyan a definir una estrategia de aplicación general a otros casos.

En primer lugar, cabe mencionar que sólo cuando los plazos mínimos de que hablamos más arriba para las cuatro etapas, que no son cortos, pero que pueden variar mucho de un

caso a otro, fueron cubiertos, llegó a consolidarse la actividad tecnológica correspondiente. En nuestra experiencia, esta secuencia evolutiva, cuando se parte de un medio relativamente virgen en investigación (no en enseñanza, que puede desarrollarse independientemente), no puede evitarse ni aun recurriendo a la importación de material humano, porque responde a un proceso de maduración de la cultura local que no es sustituible. Una acción enérgica de reclutamiento en el extranjero puede acortar algo los plazos, pero no eliminarlos; esto se vivió cuando se quisieron forzar etapas en algunas actividades, sin resultados positivos hasta que no hubo transcurrido el período de maduración característico. Dentro del panorama general de la ciencia y la tecnología, esta es la razón principal, a nuestro juicio, por la cual fracasan muchos programas de promoción de retorno de profesionales emigrados que, especialmente si se trata de tecnólogos, no encuentran un campo maduro para que su influencia sea realmente productiva y signifique más para el país que mejorar su situación cultural mediante la publicación de un par de buenos trabajos de laboratorio o gabinete en una revista internacional.

Otro punto que surge también de nuestra experiencia es que, si bien es necesario que exista "la tradición de los cuatro escalones", ello no significa que, una vez establecida, todo profesional deba pasar obligatoriamente por todos ellos, lo que en algunos casos podría demorar en 20 o más años su acceso al trabajo realmente tecnológico. Por el contrario, cuando la tradición quede firmemente implantada habrá movimientos entre los diferentes escalones en cualquiera de los sentidos y se podrá generar nuevos conocimientos y producir nuevos bienes en plazos cortos comparados con los de implantación de los escalones en un medio virgen. Pero queremos insistir nuevamente en que los plazos de implantación son imprescindibles en el proceso de formación para cimentar la tradición, sin la cual la capacidad de generación de conocimiento no llegará a fructificar lo suficiente para ser útil. Podrá haber algunas experiencias aisladas, marcadas por inteligencias excepcionales que en base a genialidades puedan en ciertas circunstancias de lugar, época y producto, saltar algún escalón, pero aun el afianzamiento de éstas es probable que sólo se logre en un medio en que estén funcionando normalmente los cuatro escalones.

También interesa comentar el efecto de estímulo de actividades externas mencionado en el punto anterior. En el caso del programa

argentino, esto se ha manifestado de dos maneras. Por un lado, han intensificado su acción (o, inclusive, se han formado ex-profeso) grupos en universidades y centros de investigación externos dedicados a estudiar problemas básicos y aplicados de interés para el programa nuclear. Estos grupos son por lo general parcialmente financiados por el programa, con lo que éste obtiene resultados que le interesan con una inversión menor y, al mismo tiempo, promueve el desarrollo científico-tecnológico fuera de su ámbito exclusivo. Un ejemplo lo constituyen los trabajos sobre aplicaciones nucleares de los láseres, que se realizan, por contrato, en un laboratorio dedicado al estudio general de estas técnicas que pertenece a otro instituto. Otro, el estudio de una tecnología básica de obtención de agua pesada, efectuado en una universidad.

Por otro lado, la acción se ha reflejado directamente en la industria especializada. Así, la instalación de centrales nucleares ha estimulado la fabricación de componentes de alta tecnología. Como ejemplo puede citarse que componentes electromecánicos de la central Atucha II de gran tamaño y construcción muy delicada, como los generadores de vapor, se realizarán en el país. A su vez, otros sectores de la industria nacional actúan desde hace tiempo en la fabricación de equipos de medición de radioisótopos, en la utilización de radiaciones para la esterilización de material quirúrgico y en otros aspectos industriales de la energía nuclear, en todos los casos con colaboración amplia del programa.

En lo que sigue exponemos dos ejemplos que ilustran con más detalle la filosofía general recién expuesta. En uno de ellos se describe la adquisición de una tecnología en la cual se distinguen claramente las cuatro etapas mencionadas; en el otro, una de las formas en que el desarrollo prioritario del sector se expandió y abrió hacia otros.

El primer caso se tiene en la fabricación de las vainas en que se colocan las pastillas de dióxido de uranio sinterizado para formar las 'barras' con que se arman los elementos combustibles de una central nuclear. Estas vainas, lo mismo que otros elementos de armado, son de 'zircalloy', un grupo de aleaciones de circonio que contiene aproximadamente el 98% de este metal.

El origen del proceso de desarrollo orientado a conseguir la disponibilidad nacional de estos productos se remonta a 1955, cuando se decidió crear un grupo de ID dedicado a la metalurgia. Este grupo se formó con la idea de que

un país sin metalurgia moderna no podría avanzar tecnológicamente en el campo nuclear, y su primer objetivo fue, por lo tanto, formar metalúrgistas que cumplieran esa condición. Así, en un lapso de 10 años se dictaron cursos, se trajeron profesores del exterior, se fueron montando laboratorios para realizar trabajos de ID al mejor nivel posible, se enviaron profesionales a especializarse en el extranjero y se iniciaron, por lo general en asociación con centros de otros países, trabajos locales de investigación sobre temas de metalurgia básica.

El resultado de este esfuerzo fue un grupo de unas 50 personas formadas como investigadores que fueron diversificando sus objetivos en las diferentes direcciones exigidas por el programa nuclear. Uno de estos grupos comenzó en 1968 a realizar tareas de ID sobre zircalloy. Durante varios años se continuó con una orientación esencialmente académica y, con esa base, en 1972 se analizó la factibilidad técnico-económica de encarar un proyecto destinado a fabricar localmente las vainas y los elementos de armado constituidos por esa aleación.

El análisis fue revisado varias veces hasta que, en 1974, se decidió comenzar el proyecto. Se estimó entonces que el mercado no tendría una demanda importante hasta 8 años después, y se consideró que este lapso era suficiente para llegar al dominio local de la tecnología. Dos años más tarde, el crecimiento de los trabajos obligó a dividir el proyecto en dos, uno centrado en el desarrollo de la tecnología y otro dedicado a la ingeniería básica de la fábrica. Se inició también un tercer proyecto destinado a desarrollar la tecnología de producción de esponja de circonio a partir de circón, de modo de llegar a disponer localmente de toda la tecnología involucrada.

Cabe mencionar aquí, a ese respecto, que la transferencia de tecnología nuclear desde los países avanzados a los que se encuentran en desarrollo se ve dificultada, especialmente en lo relacionado con el ciclo de combustible y sus materiales, por la íntima vinculación de esta tecnología con la producción de armas nucleares. Esto complica considerablemente la situación e introduce restricciones originadas en políticas de no proliferación de armamentos que se han ido mezclando, a lo largo del tiempo, con proteccionismos exclusivamente económicos, hasta el punto que no es fácil ahora distinguir una motivación de la otra. Todo ello hace que, en este campo, la necesidad de alcanzar el dominio real de las tecnologías involucradas a través de desarrollos propios sea más crítica que en otros más accesibles.

En 1977/78 se comenzó la construcción de los edificios y la instalación de la maquinaria básica en la planta de elaboración de tubos para vainas, mientras se proseguía con el desarrollo de la tecnología. A la fecha (agosto 1981), la tecnología está casi totalmente desarrollada y parte de las instalaciones están ya habilitadas, esperándose comenzar a entregar el producto en 1983.

Viendo ahora la situación en retrospectiva, se observa que en este caso, después de una etapa previa de formación de recursos humanos de base que duró unos 10 años, se cumplieron, sucesivamente, una etapa de investigación básica de unos 7 años, otra de investigación aplicada de 4 y una tercera de desarrollo de tecnología de 5 a 6 que en este caso, por las características particulares del problema, pudo llevarse adelante en paralelo con la ingeniería y la implementación de los medios de producción. En 1984/5, ya en la cuarta etapa y con la planta en producción, se podrá efectuar un balance de los errores y los aciertos de las políticas aplicadas en la totalidad del proceso.

El segundo ejemplo que deseamos mencionar es la formación de una 'empresa de tecnología' a partir de un centro netamente académico. En los países industrializados, los desarrollos tecnológicos se realizan tradicionalmente en la industria privada, ya que las empresas de punta poseen laboratorios de investigación, desarrollo y plantas piloto de gran importancia. Como el costo involucrado en mantener dichos laboratorios es elevado, esta modalidad pone fuera del alcance de las empresas medianas la producción de mercancías de elaboración algo compleja, salvo bajo licencia de empresas mayores. Por ese motivo, se ha hecho sentir la necesidad de una empresa de nuevo tipo, la 'empresa de tecnología', que pone a disposición de su clientela equipos técnicos, laboratorios, talleres, etc. de alto nivel para realizar, por contrato, trabajos de ID que ésta desea encarar. En una primera etapa, estas empresas han surgido en varios países como derivación de tareas de consulta y afines realizadas por universidades u otros centros de investigación básica o aplicada. Son ejemplos el Stanford Research Institute en Estados Unidos, el Laboratoire d'Electronique et de Technologie de l'Informatique en Francia y el B C Research en Canadá, entre otros.

En la Argentina, en los últimos años se ha puesto en marcha una empresa de este tipo en asociación con un centro dedicado tradicionalmente a la investigación académica en física, el Centro Atómico Bariloche. La empresa está formada por la Comisión Nacional de Energía

Atómica y la Provincia de Río Negro y es una sociedad estatal que trabaja, por contratos con entes privados o también estatales, en la resolución de problemas de desarrollo tecnológico.

La circunstancia de que la empresa se haya formado en un medio esencialmente de investigación pura y que interactúe exitosamente con él, ilustra nuevamente el proceso de maduración a través de las cuatro etapas varias veces mencionado a lo largo de estas reflexiones. En este caso, la etapa de formación e investigación básica que sirvió de basamento duró unos 15 a 18 años, al cabo de los cuales comenzó a aparecer el germen de la investigación aplicada que, unos 6 años después (la segunda etapa) posibilitó el establecimiento de una actividad regular correspondiente a la tercera etapa. La empresa ha llevado ya algunos de los problemas encarados a las condiciones correspondientes a la etapa 4. Tal ocurre con la fabricación de módulos para sistemas de comunicaciones empleados por ENTEL, un proceso de purificación de cinc por fusiones y solidificaciones sucesivas, que se aplicó en una empresa privada patagónica, un procesador programable de preparaciones microscópicas de tejidos para analizar biopsias, y otros.

6. Conclusión.

El alto grado de autonomía alcanzado por el programa nuclear argentino muestra que el desarrollo prioritario de un sector, cuando se acompaña de una política enérgica de mantenimiento y mejoramiento continuo de su respaldo en recursos humanos de alta calificación, es un recurso idóneo para incorporar una tecnología, o un grupo de tecnologías relacionadas, a la estructura productiva y operativa de un país en desarrollo. Por su parte, el incremento de las actividades científicas, tecnológicas e industriales locales que ha estimulado este programa en campos afines muestra, también, que el proceso contribuye al desarrollo integral del país y no sólo del sector directamente involucrado.

El hecho de que este resultado se haya logrado en el caso de la Argentina para una tecnología de la complejidad de la nuclear sugiere que el procedimiento puede tener un éxito más rápido todavía en otros campos más accesibles. La condición clave para cualquier caso, sin embargo, es la disponibilidad de recursos humanos de capacitación adecuada, sin lo cual el fracaso es prácticamente seguro.