

~~121~~
121



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ECONOMÍA

ZINALCO: UNA VISION ECONOMICA
DE LA VINCULACIÓN Y LA INNOVACIÓN

297312

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN ECONOMÍA

P R E S E N T A:

JOSÉ CARLOS SAMPERE LÓPEZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. LEONEL CORONA TREVIÑO



MEXICO. D. F.

2001
ESTA TESIS NO SE
DE LA BIBLIOTECA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

...la Ciencia es el conocimiento de las consecuencias y dependencias de un hecho respecto a otro.

Leviatán

Thomas Hobbes

*Todo lo que vemos o parecemos
No es sino un sueño dentro de otro sueño.
Edgar Allan Poe*

DEDICO ESTA TESIS:

A MIS PADRES CARLOS Y VIRGINIA:

*Que con afecto y mucha paciencia siempre
han estado en todos mis proyectos, siendo
un ejemplo de amor y de esfuerzo
y sobre todo, dejándome ser.*

A ustedes me debo

**A MIS HERMANAS
KARLA Y ARI:**

*Mis amigas y cómplices,
las quiero mucho.*

**A MIS ABUELOS VIRB†,
RODOLFO†, JOSÉ† Y OFE:**

*Por darme estos maravillosos
padres que tengo.*

**A MIS TÍOS Y TÍAS
(RODOLFO, ROBERTO, RAÚL, PERI,
ANGELITA, PINA, CONCHA, RAFAEL,
ARMANDO, RUBÉN Y CONCHITA):**

Por su cariño y apoyo, de todos he aprendido algo.

A MIS PRIMAS, PRIMOS Y SOBRINOS:

Con quienes crecí y forme mis valores.

A MARIELA:

Quien significa más de lo que ella sabe.

**A MIS AMIGOS
(MIS OTRAS FAMILIAS):**

**Por señalarme la importancia de todo
lo que no alcanzo a ver, y por su cariño y apoyo.**

A MIS PROFESORES EN ESTE CICLO:

**Quienes ocuparon unas horas de sus vidas
para cambiar la mía.**

**A MIS SINODALES:
DR. LEONEL CORONA, LIC. JORGE DESCHAMPS,
PROF. ISAAC MINIAN, DRA. CONSUELO GONZÁLEZ,
LIC. MA. DE LA LUZ VARGAS**

Por sus comentarios y correcciones.

A MI QUERIDA UNIVERSIDAD:

**Que me enseñó a luchar y me albergó
durante 11 años.**

**... y a tod@s !@s que me faltan, pero no por eso son menos
importantes.**

A TODOS: VA POR USTEDES Y GRACIAS

INDICE:

INTRODUCCIÓN

	PAG.
1. MARCO TEÓRICO	1
a. LA TECNOLOGÍA EN LOS NEOCLÁSICOS	2
i. El modelo de la función de producción	2
ii. El modelo lineal de cambio tecnológico	4
a) La innovación inducida (Tech-Push)	4
b) La demanda de innovaciones (Market-Pull)	5
c) El tamaño de la firma, la estructura de mercado y la innovación tecnológica	6
b. LA INDUCCIÓN DEL "EMPRENDEDOR" EN EL PENSAMIENTO DE SCHUMPETER	7
c. LA DIVERGENCIA EVOLUCIONISTA (Partiendo de lo empírico)	9
i. Las ideas comunes	9
ii. Los conceptos: Paradigmas y trayectorias	10
d. SISTEMAS, REDES E INSTITUCIONES	12
i. Los Sistemas Nacionales de Innovación	12
ii. Vinculación y redes industriales	14
iii. Redes: concepto y formas	16
a) Redes tradicionales de subcontratación	16
b) Redes de ensamblado modular	16
c) Redes de productos complejos	17
d) Redes basadas en tecnología	17

	PAG.
iv. Sistema Mexicano de Innovación (estructura)	21
2. UN ENFOQUE GENERAL DE LA VINCULACIÓN ENTRE LA ACADEMIA Y EL SECTOR PRODUCTIVO	25
a. CIENCIA Y PRODUCCIÓN	26
b. TENDENCIAS EN LAS RELACIONES ENTRE CIENCIA, INDUSTRIA Y MERCADO	28
c. MODALIDADES Y FORMAS GENERALES DE LAS RELACIONES CIENCIA-PRODUCCIÓN	29
d. LA I+D COMO PARTE DE LA INNOVACIÓN Y LA VINCULACIÓN	32
e. ASIMETRÍAS Y CONTRADICCIONES A SUPERAR EN LA VINCULACIÓN UNIVERSIDAD-SECTOR PRODUCTIVO	35
3. LOS NUEVOS MATERIALES, LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS Y EL SECTOR PRODUCTIVO	40
a. TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES (ORIGINADAS EN LA MICROELECTRÓNICA)	41
b. LA BIOTECNOLOGÍA	42
c. LAS NUEVAS FUENTES ENERGÉTICAS	43
d. LA CIENCIA DE LOS MATERIALES	43
i. Los nuevos materiales y la actividad económica	44
ii. El camino de la sustitución: la importancia de los nuevos materiales	47
iii. La ciencia de materiales en México	51
4.LA INNOVACIÓN Y LA VINCULACIÓN EN EL ZINALCO	52
a. ASPECTOS TÉCNICOS GENERALES	52

	PAG.
i. Propiedades físicas	53
ii. Propiedades mecánicas	54
iii. Sustitución de aluminio	56
iv. Superplasticidad	57
b. LA VINCULACIÓN Y EL DESARROLLO DE LA INNOVACIÓN (Origen e historia del Zinalco)	58
i. Primeros resultados	60
ii. Zinalco y FALMEX	61
c. EL ZINALCO: IMPACTOS ECONÓMICOS DE LA INNOVACIÓN	65
i. El Zinalco y otras aleaciones comerciales	66
ii. Posibles aplicaciones del Zinalco como bien final	67
iii. Posibilidades industriales	68
a) Llaves de Zinalco	68
b) Fichas de Zinalco	69
c) Punteras para el Metro	69
d. EL MODELO DEL ZINALCO: INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN	70
i. Modelo lineal en la innovación	71
ii. Modelo de redes en la innovación	72
a) Redes, temporalidad y directrices	74
b) La problemática en la transferencia tecnológica	76
iii. Una propuesta: Modelo explicativo y modelo normativo	77
CONCLUSIONES	80
REFERENCIAS	85

INTRODUCCIÓN

Justificación

La importancia de la tecnología se ha acentuado junto con la intensificación de los procesos de globalización de la producción y del mercadeo de bienes y servicios.

A la par de una creciente homogeneización de los procesos productivos - y los satisfactores producidos gracias a éstos - es necesaria una marcada y profunda especialización. La generación y el aprovechamiento de tales especializaciones están íntimamente vinculadas a la ciencia, la tecnología y la técnica de las distintas economías. La evidencia actual plasmada en un sinnúmero de estudios de caso se orienta a destacar el "liderazgo tecnológico" que ciertas economías ostentan gracias a sus esfuerzos por privilegiar los procesos de innovación tecnológica. Algunas de éstas han tenido un liderazgo histórico en la economía mundial, pero en otros casos, este liderazgo es reciente y las ha colocado en posiciones relativas de superioridad. Superioridad que se debe en buena parte a la forma en que se relacionan su Sector Académico y el Productivo.

De ahí que resulte relevante estudiar los procesos económicos y sociales mediante los cuales se lleva a cabo la innovación tecnológica. Una de las formas de abordar este tema es a través de estudios de caso, como se hace en esta investigación.

Presentación

En este trabajo el objeto de estudio es una innovación, específicamente una aleación metálica desarrollada en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM durante los años ochentas, y la cual llegó a convertirse en un producto de mercado que fracasó poco tiempo después de ser introducido a éste. Esta aleación recibió el nombre de Zinalco.

El Zinalco fue una innovación tecnológica resultado de la vinculación entre la academia y el sector productivo, con una promoción muy favorable, que sin embargo derivó en un éxito limitado. Tomando esto en cuenta, la investigación tiene como objetivo estudiar el desarrollo y la introducción al mercado de la aleación patentada con el nombre de Zinalco identificando en este estudio a las instituciones participantes y las vinculaciones entre ellas.

El Zinalco fracasó al poco tiempo de estar en el mercado. La búsqueda de una respuesta que explicara el por qué llegó a tal fracaso -después de ser una innovación tan publicitada- motivó en buena medida la realización de este trabajo.

De esta forma, el objetivo general de esta investigación es estudiar el desarrollo y la introducción al mercado de la aleación Zinalco, identificando a las instituciones participantes en este proceso, así como las vinculaciones establecidas entre ellas, para poder identificar el modelo de desarrollo de la innovación empleado para crear la aleación.

Se ha partido de la hipótesis de que el desarrollo del Zinalco así como las instituciones involucradas y sus relaciones a lo largo del proceso de innovación pueden ser explicadas con algún modelo de las teorías económicas de la tecnología. Específicamente se pensaba en primera instancia en la estructura del Sistema Nacional de Innovación, sin embargo, como se demostrará en las páginas siguientes es otra concepción la que explica con mayor precisión la historia del Zinalco.

Un primer acercamiento al caso del Zinalco hizo presuponer que una parte importante de su fracaso tuvo que ver con el ambiente institucional en que se desarrolló. Haciendo parecer que los esfuerzos de individuos, y no tanto de instituciones hicieron posible que la aleación Zinalco saliera de los laboratorios y se vendiera a escala industrial.

Así se concibió la participación de ciertas personas que actuaron en una forma análoga a la del "empresario innovador"¹, como lo que dio a llamarse el "académico emprendedor". En el presente trabajo se realiza una propuesta de explicación del desarrollo de la innovación del Zinalco y de sus resultados en la industria desde el enfoque económico.

Esta tesis busca ofrecer una interpretación que permita organizar y describir los principales nexos que vinculan a empresas y a instituciones académicas con el desempeño económico analizando el caso del Zinalco.

Síntesis de la investigación

En el Capítulo 1 se presenta el marco teórico que se ha considerado como base explicativa. El capítulo está dividido en cuatro secciones que abordan distintas propuestas teóricas respecto a la tecnología: 1) la tecnología en los neoclásicos; 2) el "emprendedor" en el pensamiento; 3) la propuesta de los "evolucionistas" y; 4) el enfoque de sistemas, redes e instituciones.

En el Capítulo 2 se expone un enfoque general de la vinculación entre la academia y el sector productivo, poniendo énfasis en las tendencias y en las contradicciones que se deben superar para concretar lazos de vinculación. En el capítulo constituido por cinco apartados también se presentan las modalidades y formas generales de las relaciones entre la ciencia y la producción y la importancia que tiene la I+D como parte de la innovación y la vinculación.

El Zinalco se enmarca como parte de un contexto más general como parte de una de las llamadas "Nuevas Tecnologías", la de los "Nuevos Materiales". Este contexto se describe en el Capítulo 3 relacionándolo con el sector productivo. En los primeros cuatro apartados se resalta el papel de las "Nuevas Tecnologías" en el ámbito económico. El último apartado en especial apunta una de las tendencias más importantes que presentan los "Nuevos materiales": la de sustituir a "materiales tradicionales".

¹ Que propusiera Joseph A. Schumpeter en sus estudios

En el Capítulo 4 se estudia el caso del Zinalco en cuatro secciones. La primera sección describe las características físicas del Zinalco abordando aspectos técnicos de la aleación en términos generales. En la segunda sección se hace un recuento de la historia del Zinalco para poder avanzar al estudio de sus impactos económicos en la tercera sección. La última sección presenta la propuesta de explicación del modelo de innovación del Zinalco, el cual se centra en el "modelo lineal" y en el enfoque de redes, a los cuales se agregan estilizaciones.

Finalmente, en el Capítulo 5 se presentan las conclusiones de la investigación. Donde se mencionan las limitaciones de la teoría económica para explicar los procesos de innovación y la vinculación existente entre la ciencia y la producción. Así también se resume la propuesta para explicar el desarrollo del Zinalco como resultado de un "empuje tecnológico" y de la interacción entre redes entre instituciones.

No esta de más señalar que los alcances de esta investigación son en última instancia exploratorios de una realidad extremadamente compleja y generalmente poco asequible.

1. MARCO TEÓRICO

Por si sola, ninguna teoría es suficiente para explicar la realidad y mucho menos cuando esta se refiere a un objeto en movimiento, cambiante y extremadamente específico como lo es la innovación tecnológica.

En la teoría económica existen estudios respecto al papel de la tecnología en la producción desde aquellos realizados por autores clásicos como Smith y Ricardo, sin embargo, el papel de la tecnología en esos trabajos tuvo sólo un carácter residual. Marx actuó de otra forma, pues atribuyó una parte relevante de la explicación del sistema capitalista al cambio tecnológico. Esto destaca en sus análisis sobre la competencia, la tasa de ganancia y el cambio tecnológico; la acumulación de capital y la modificación de los procesos productivos y; el papel del progreso técnico en la crisis.

Conforme la teoría económica evolucionó, se fueron incrementando la cantidad de preguntas y respuestas en torno a la tecnología y específicamente a la innovación; esto resulta lógico pues cada cuerpo teórico de acuerdo a sus intereses y metodologías de investigación establecía sus puntos de vista.

En esta investigación se ha intentado aprovechar las mejores cualidades de ciertas escuelas y expositores de la ciencia económica para dar un enfoque ecléctico a la base teórica que sustenta el proyecto de investigación cuyo objeto específico es una innovación tecnológica bajo la forma original de un producto: **la aleación Zinalco**.

Se ha preferido utilizar explicaciones: 1) de la escuela neoclásica respecto a los modelos de creación de tecnología nueva y a los determinantes de la innovación, así como del papel del poder de mercado y el tamaño de la firma; 2) De Schumpeter, respecto al papel del "emprendedor"; 3) de la Escuela Evolucionista ya que en ésta el cambio tecnológico y la innovación tienen el rol central en las explicaciones y porque sus estudios parten y se auto validan en trabajos empíricos y; 4) de autores cuyo denominador común es su énfasis en Sistemas Nacionales de Innovación, redes y alianzas estratégicas, e instituciones que interactúan multidisciplinariamente.

En una primera aproximación al objeto de estudio, se pensó que las anteriores aportaciones teóricas podían contribuir con puntos que aunque aislados no se encuentran separados en el caso del **Zinalco** y que no entran en conflicto.

La profundización en otros enfoques teóricos de la economía podría alejar de la investigación que se quiere presentar, ya sea porque su ámbito excede la particularidad del tema y la adecuación sería forzada (por ejemplo la teoría marxista), o porque sus categorías epistemológicas son tan diferentes que tan siquiera asimilarlas implicaría otro tema de tesis.

No es posible, sin embargo, descartar el uso de todo el conocimiento que se tiene acumulado en la historia del pensamiento económico, nunca se podrá evitar en una ciencia social que el investigador se complemente en un "ir y venir" constante del objeto de estudio a la teoría y viceversa. Y precisamente por lo anterior, no puede cerrarse tampoco la puerta inclusive, a otras disciplinas.

a. LA TECNOLOGÍA EN LOS NEOCLÁSICOS

En forma considerable, hasta los años cincuentas del siglo XX los cambios en la producción eran explicados por cambios en los factores tradicionales: tierra, trabajo y capital; sin embargo, desde esos años a la fecha han crecido las interpretaciones económicas del progreso técnico. Son tantos y tan vigentes los autores que han publicado al respecto que resulta difícil siquiera enunciarlos a todos.

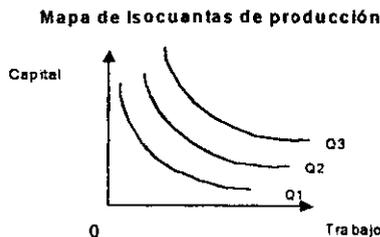
Las principales aportaciones del pensamiento neoclásico a la comprensión de la tecnología se pueden encontrar en dos modelos diferentes: la función de producción y el modelo lineal de cambio tecnológico. En los siguientes apartados se revisan ambas interpretaciones.

i. El modelo de la función de producción

En este modelo se encuentran los puntos de partida que explican el desarrollo tecnológico en el pensamiento neoclásico.

La función de producción mide el volumen máximo de producción que puede obtenerse con una cantidad dada de factores. En el caso en que hay dos factores, se han usado las isocuantas (Fig. 1) que representan el conjunto de todas las combinaciones posibles de dos factores, que son suficientes para lograr una cantidad dada de producción.

Figura 1



Utilizando la función de producción se han realizado aplicaciones para explicar el desarrollo de economías nacionales, Solow, en especial, aprovechó la definición de funciones en la economía norteamericana¹.

Solow publicó su trabajo en 1957 impactó al análisis económico dando un gran paso en la promoción de trabajos orientados a profundizar los estudios del cambio técnico en la economía (Vegara, 1989).

Cuando se decide aplicar la función de producción, surgen importantes limitaciones pero su ventaja radica en que se simplifican comportamientos fácilmente aislables, en este modelo:

¹ Vegara, (1989) señala que algunas funciones definidas para economías nacionales se encuentran en los trabajos de Abramovitz, Denison y Kuznetz.

1. El cambio tecnológico es neutral;
2. Existen rendimientos constantes a escala;
3. Existe independencia entre los factores de la producción y;
4. Se considera el cambio técnico como una variable exógena².

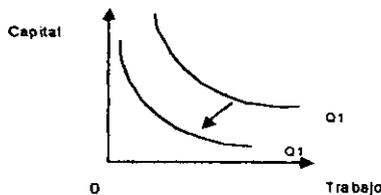
Este modelo considera el impacto de la tecnología como algo residual y en este residuo, el progreso tecnológico se explica como un conjunto de insumos que la función de producción no alcanza a medir. Entre estos factores se cuentan los errores en la medición, en la transformación de dimensiones y en el levantamiento de estadísticas, así como efectos de las economías externas y mayores niveles de educación de la fuerza de trabajo.

El que el modelo haga el supuesto de que en todas las funciones de producción neoclásicas el progreso técnico es neutro implica que las productividades marginales del capital y el trabajo permanecen constantes³. Los neoclásicos recurrieron a la neutralidad como una condición para poder construir un modelo matemático, aunque en los estudios de Hicks y Harrod, el progreso técnico fue estudiado también por su papel como ahorrador de trabajo y ahorrador de capital, respectivamente (Vence, 1995).

Cuando surge un nuevo método o mejoramiento de los ya existentes esto provoca que la función de producción se desplace hacia arriba y la isocuanta de la producción se desplace hacia el origen (Fig. 2), lo cual demuestra que se puede tener el mismo volumen de producción con menos insumos o un volumen de producción mayor con la misma cantidad de insumos (Varian, 1994).

Figura 2

Modificación en la función de producción



Desde la perspectiva de la función de producción se considera que la variable tecnológica es exógena y el impacto que tiene el progreso tecnológico desde fuera del modelo es que puede ser intensificador del capital, si incrementa el producto marginal del capital, intensificador de trabajo, si incrementa su producto marginal, o bien, neutro, si permanecen constantes sus productividades marginales.

² En su forma más simple, esto significa que se determina fuera del modelo, lo contrario ocurre con las variables endógenas.

³ Esto es una generalidad, aunque hay esfuerzos de otros autores neoclásicos para dar un enfoque más dinámico, sobre todo en estudios sobre la economía de la empresa y la organización industrial.

ii. El modelo lineal de cambio tecnológico (Modelo estandar)

En el modelo lineal de cambio tecnológico se concibe con importancia a la innovación suponiendo que ésta tiene un comportamiento secuencial como una especie de cadena de pasos, donde uno de los extremos es la investigación y desarrollo y el otro es la demanda o mercado (Fig. 1). Concibe una relación de causa efecto y las motivaciones para crear una innovación pueden venir de ambos extremos de la cadena; la secuencia tiene la siguiente forma:

Figura 3

Investigación básica y aplicada - desarrollo de productos y procesos - producción-difusión - mercado

La innovación puede darse como consecuencia de políticas de investigación y desarrollo; surgir como resultado de incrementos en la demanda, o como producto de otro grupo de variables, entre ellas, el tamaño de la firma y la estructura del mercado.

a) La innovación inducida (*Tech-push*)

En estas teorías, la innovación se concibe como el resultado de un conjunto de estrategias previamente planeadas y cuyo objetivo es lograr la creación de productos y procesos nuevos. Estas estrategias pueden venir de una firma en particular o bien por parte del Estado. Se habla de la innovación inducida cuando se parte de planear la investigación, tanto básica como aplicada. Según esta concepción en este punto es donde tienen mayor contribución las universidades, políticas en ciencia y tecnología, institutos y centros de investigación, así como los laboratorios de las grandes firmas. En este sentido, se ha dado importancia a la inversión en I+D⁴ cuya finalidad es producir conocimientos, sin determinar qué tipo de problemas se deben resolver con los conocimientos creados.

En el pensamiento de John R. Hicks la innovación se origina por la escasez de los factores, o bien, debido al incremento en los costos relativos de éstos; pero dicha innovación sigue un camino muy diferente al desarrollo de la firma. Según este autor, las innovaciones se deben a cambios históricos en los precios relativos de la fuerza de trabajo (salarios) frente a los precios observados en el capital (tasa de interés). Por ello las innovaciones se han encaminado a sustituir fuerza de trabajo, es decir a la adopción de tecnologías intensivas en capital. Un aumento de los precios relativos de un factor cualquiera de la producción haría que se buscara la implantación de técnicas ahorradoras de ese factor. Por tanto, la vinculación estaría en función de la escasez de uno de los factores de la producción (trabajo y capital).

La firma juega un papel preponderante para la vinculación, porque ésta busca nuevas tecnologías en el mercado, con el fin de sustituir un factor de producción o bien para el ahorro de insumos, que al final de cuentas reduzca sus costos.

⁴ Investigación y desarrollo.

Este modelo distingue diferentes funciones a cumplir por la innovación: innovación de producto, innovación de proceso, innovación para eliminar dificultades técnicas en manufactura o servicios, innovación para ahorrar recursos e innovación para mejorar las condiciones de trabajo (Vegara, 1989).

Para introducir nuevas tecnologías en la producción se necesita un cierto aprendizaje previo; es decir, en una determinada región o empresa resulta imposible disponer de tecnologías nuevas si antes no se cuenta con personal educado para ese fin, lo que representa una forma de inducción. Para la existencia de una vinculación, es condición necesaria la existencia de personal preparado en la aplicación de nuevas tecnologías, tanto en la firma como en las dependencias productoras de dicha tecnología, lo cual representa un empuje y es resultado de una inducción.

b) La demanda de innovaciones (Market-pull)

El desarrollo de la tecnología está completamente vinculado al desarrollo de la sociedad. Fuerzas económicas y sociales actúan como variables explicativas de las innovaciones tecnológicas. Autores como Shmoockler la resumen en lo que llaman "la presión de la demanda", defendiendo la idea de que una demanda externa influye en una tasa de aplicación de nuevos inventos en los procesos de producción.

Shmoockler realizó un estudio de las invenciones en los ferrocarriles, la construcción y la refinación de petróleo desde 1860 a 1950, en sus conclusiones, acerca de la relación entre producción e invención en las industrias examinadas, señala que ambas variables tienden a marchar juntas en el largo, mediano y corto plazos, esto se debe a dos posibles causas: las variaciones en la producción son consecuencia de variaciones en la invención o bien ambas reaccionan juntas debido a los movimientos en otro conjunto de variables.

Encuentra que las olas de invenciones vienen después de períodos de auge en la producción o se empatan o adelantan pero en períodos muy breves, y que en sus estudios no es la invención la que surge antes de la producción (Rosemberg, 1979).

Ambas variables están determinadas por un conjunto de causas, un conjunto de fenómenos socioeconómicos que hacen que estas variables se relacionen muy estrechamente.

Según este autor, la vinculación es más dinámica en los momentos en que la actividad económica presenta un índice de crecimiento más alto, ya que:

1. Los inventos requieren de costos de equipo, personal y trabajo arduo, lo cual es posible sólo en períodos de auge de la economía.
2. Los proyectos deben ser óptimos y además de correcta utilización en los lugares adecuados.
3. Las perspectivas de investigación de un proyecto, son más favorables cuando el producto que se va a desarrollar está experimentando una tendencia industrial ascendente.

4. La relación de la invención con las ventas puede ser no lineal a corto plazo; si aumentan las ventas demasiado en relación con la planta y el personal, los inventores potenciales pueden carecer de recursos y de la presión para innovar. (Rosemberg, 1979).

c) El tamaño de la firma, la estructura del mercado y la innovación tecnológica

Los estudios a este respecto tienen su origen en la ola de trabajos sobre la economía de la empresa. En los supuestos originales de los neoclásicos, el mercado se conforma de una multitud de firmas que no pueden modificar individualmente el comportamiento del mercado, sin embargo, estos supuestos era muy difíciles de verificar en la realidad, por lo que comenzaron a surgir una multitud de estudios interesados en firmas diferentes de las del modelo puro. En la teoría neoclásica, la gran corporación no correspondía a una adecuada estructura del mercado, debido a la carencia de una libre competencia y a la fijación de precios desde el punto de vista del monopolio. Sin embargo, Schumpeter, señala que la competencia de las firmas no se da únicamente en lo relativo a la fijación de precios sino que también compiten en otro ámbito como es el desarrollo de nuevos procesos y productos. Este tipo de competencia tiene bases diferentes a la establecida por la fijación de precios en el mercado. Se consideraba que las únicas empresas que contaban con recursos suficientes para dedicarlos a la investigación y desarrollo eran las que obtenían ganancias extraordinarias, lo cual es posible sólo en las grandes firmas. Una estructura de mercado en competencia perfecta sólo resulta adecuada en un mundo poco cambiante, pero en un mundo caracterizado por el dinamismo donde la tendencia es hacia la configuración de mercados oligopólicos, las firmas grandes cuentan con una serie de ventajas sobre las empresas pequeñas, aunado a la posición que les concede ventajas extraordinarias en cuanto a patentes, registro de marcas y algunas otras derivadas de la legislación (Vence, 1995).

Por otro lado, la gran firma utiliza su poder de monopolio para mantener durante algún tiempo los mismos procesos y productos, retardando de esta manera la introducción de innovaciones. Este hecho hace más difícil la difusión de las nuevas tecnologías y, por lo tanto, comprime el crecimiento de un sector científico - tecnológico.

Para Schumpeter, en el capitalismo competitivo, la empresa pequeña que tiene poca presencia en el mercado monetario y no puede pagar departamentos científicos o producción experimental, la innovación en la práctica comercial o técnica resulta algo muy arriesgado y difícil. La innovación es realizada por las empresas nuevas. En cambio, en el capitalismo monopolizado, la innovación ya no se logra de manera exclusiva por este tipo de empresas sino que es capaz de desarrollarse al interior de las grandes unidades existentes, en gran medida en modo independiente de los individuos.

En cuanto al tamaño de la empresa e innovación, Freeman⁵, postula que las pequeñas empresas pueden tener una ventaja comparativa en las primeras etapas del trabajo de

⁵ En su estudio sobre firmas en Japón.

invención y en las investigaciones menos costosas pero más radicales, mientras que las grandes empresas tienen ventajas en las últimas etapas y en el escalamiento de una invención, lo cual resulta explicable pues en esas etapas donde mayores recursos son necesarios para concretizar el proceso de innovación, idea que también apunta Schmoockler. Esto también se diferencia dependiendo de la industria, en la química resulta costoso; desde la investigación hasta la innovación y explotación de los resultados; en cambio, en la industria mecánica el ingenio puede jugar un importante papel para el logro de las invenciones.

b. LA INDUCCIÓN DEL "EMPREDEDOR" EN EL PENSAMIENTO DE SCHUMPETER.

Una aportación teórica de gran relevancia para la comprensión del cambio tecnológico y la innovación, y en específico para esta investigación es la de Joseph A. Schumpeter. Para Schumpeter el cambio técnico es una variable explicativa del desarrollo económico, en el que la inducción espontánea de un tipo de empresario innovador resulta fundamental. El desarrollo económico está asociado al cambio tecnológico discontinuo y viene dado por el desenvolvimiento económico, el cual implica nuevas combinaciones de medios productivos que dan origen a nuevos productos o procesos.

El sistema económico puede tener el crecimiento natural impulsado desde su interior por el mismo proceso económico, pero este fenómeno no se considera como desenvolvimiento, sino como una simple adaptación de la economía a un conjunto de cambios que se experimentan en el mundo que la rodea.

El desenvolvimiento económico viene dado por:

1. La introducción de un nuevo bien; esto es, con el que no se hayan familiarizado los consumidores o de una nueva calidad del bien.
2. La introducción de un nuevo método de producción; o sea, de uno no probado por la experiencia en la rama de la manufactura de que se trate, que no precisa fundarse en un descubrimiento nuevo desde el punto de vista científico, y puede consistir simplemente en una nueva forma de manejar comercialmente una mercancía.
3. La apertura de un nuevo mercado: un mercado en el cual no haya entrado la rama especial de la manufactura del país de que se trate, a pesar de que existiera anteriormente dicho mercado.
4. La conquista de una nueva fuente de aprovisionamiento de materias primas o de bienes semimanufactureros, haya o no existido anteriormente, como en los demás casos.
5. La creación de una nueva organización de cualquier industria, como la de una posición de monopolio (por ejemplo, por la formación de un *trust*) o bien la anulación de una posición de monopolio existente con anterioridad.

La definición de innovación presentada por Schumpeter está muy relacionada con el mercado, para este autor significa el empleo de recursos productivos en usos no probados hasta ahora en la práctica, y su retiro de los usos a que han servido hasta ese momento (Rosemberg, 1979).

Schumpeter atribuye al desempeño del liderazgo una gran relevancia, la innovación afortunada no representa una hazaña del intelecto sino de la voluntad. Es un caso especial de fenómeno social de liderazgo. La dificultad en la innovación consiste en la resistencia y en las incertidumbres que implican hacer lo que no se ha hecho antes y ésta sólo puede intentarlo un tipo diferente que es el "empresario innovador".

Pareciera que para Schumpeter la innovación es discontinua e implica cambios considerables que sólo es posible que los realicen empresarios nuevos, para lo cual requieren de gastos adelantados antes de la obtención de algún ingreso, de modo que la única forma de hacerse de recursos es mediante el crédito, de donde se transforma en un elemento esencial para el proceso de creación de empresas nuevas (Rosemberg, 1979).

Para Schumpeter el empresario es el agente que activa el capitalismo. La introducción de elementos que desencadenen el desenvolvimiento debe promoverse por algunos agentes dentro del sistema, este papel de introducción de nuevas combinaciones de los factores de producción le corresponde al "empresario".

En cuanto al tema específico de la vinculación, Rosemberg, critica a Schumpeter sobre el progreso técnico, pues piensa que este resulta de rupturas y discontinuidades con respecto a procesos anteriores, en tanto Rosemberg sostiene que el cambio técnico es producto de un conjunto de hechos y experiencias que se van acumulando hasta que se presentan las condiciones sociales y económicas necesarias para la innovación.

Para Rosemberg, la vinculación es como un proceso continuo y no como un desarrollo a saltos, que sería la idea de Schumpeter de la vinculación, al considerar al emprendedor como un inductor espontáneo. La innovación representaría el inicio del proceso de difusión del producto y es en sí un proceso complicado en el cual están implicados un conjunto de factores, pero no constituye un efecto de salto como señala Schumpeter.

Rosemberg, sostiene que la innovación, desde el punto de vista económico está constituida por una serie de actos unidos a un proceso inventivo, que se consolida sólo a través de un intensivo rediseño, modificación y una serie corta o muy larga de pequeñas mejoras que la convierten para el mercado.

Mansfield es otro autor que se incluye en la corriente que ve la tecnología como una variable inducida, al considerar que la tasa de innovación tecnológica constituye una variable dependiente del capital invertido en investigación. Sostiene que a períodos bajos de innovación tecnológica le anteceden períodos bajos en investigación y desarrollo. Esta idea implica una dependencia de la innovación respecto de la inversión⁶.

⁶ Más adelante en el Cap. 2 de este trabajo se aborda este tema.

c. LA DIVERGENCIA EVOLUCIONISTA (Partiendo de lo empírico)

i. Las ideas comunes

Autores como Nelson, Winter, Rosemberg, Dosi, Cimoli, Malecki, Carlota Pérez, Soete, entre otros, presentaron una orientación distinta a la economía de la innovación tecnológica, llegando a definir un conjunto de categorías nuevas y a establecer relaciones entre éstas, dando forma a un paradigma diferente a los de los anteriores estudiosos de la economía de la tecnología.

Se ha considerado esta serie de investigaciones como "*Neo-schumpeteriana*". Éstas, parten de criticar el pensamiento neoclásico y, toman una forma concreta como una nueva versión de la teoría schumpeteriana con ideas que representan analogías de la biología. En el pensamiento evolucionista sobresalen Nelson y Winter. La teoría neoclásica se propone explicar la determinación de los precios, productos e insumos de equilibrio bajo ciertos supuestos, maneja siempre la idea de optimizar conservando determinadas restricciones; sin embargo, dicha optimización, según los evolucionistas, lleva implícita la idea de una regresión infinita.

Aunque el pensamiento de los evolucionistas aporta nuevos enfoques para abordar la economía del cambio técnico, no han desarrollado, todavía, un cuerpo científico que pueda sustituir al pensamiento neoclásico - en tanto una teoría - ya que sus estudios tienen una orientación fundamentalmente empírica. A nivel microeconómico presentan nuevas interpretaciones en torno a la empresa: su desarrollo y ambiente, pero no logran conformar una teoría de precios alternativa. A nivel macroeconómico sus preocupaciones principales giran en torno al comercio internacional y sus ventajas, pero sin llegar a presentar una explicación teórica de la economía nacional.

Según los evolucionistas, la firma persigue varios objetivos, y no sólo la optimización; por ejemplo el beneficio es una de las variables a maximizar, pero no conciben una idea pura de maximizar. En este esquema se rechaza la idea de función de producción en la cual existen variables que la empresa puede manejar. La competencia y el equilibrio en la firma están determinados por un conjunto de variables sobre las que se puede influir, pero además hay otras fuerzas que están fuera del alcance de la firma. Fuera de ella, se encuentran un conjunto de técnicas que la empresa desconoce y que no puede llegar a dominar. Dentro de ese conjunto de técnicas se encuentran unas que están cerca de la empresa y de las cuales se puede apropiar, otras que se consideran intermedias y otras que definitivamente no se pueden conseguir porque se encuentran demasiado lejos.

Dosi y Cimoli contribuyen al pensamiento evolucionista al incorporar categorías como la de "paradigma tecnológico", el cual está constituido por un conjunto de "trayectorias tecnológicas" que conforman el mapa de oportunidades técnicas y organizativas que tienen las empresas para desarrollarse tecnológicamente.

Pérez usa el concepto de paradigma tecno-económico, el cual alude a los sistemas tecnológicos, cuyo denominador común es la capacidad para transformar el aparato productivo. Un nuevo paradigma tecno-económico surge cuando influye en el rumbo del

aparato productivo, mediante tecnologías que revitalizan las industrias maduras y tradicionales y crean nuevas ramas (Corona, 1999).

Otra idea que sostienen los evolucionistas y que difiere del pensamiento neoclásico es lo que se refiere a la selección de empresas que hace el mercado, las mejor equipadas y mejor preparadas tecnológicamente tienen mayores posibilidades de lograr expandirse (asimilando al idea de selección natural). Por ello, la tecnología no es un bien gratuito que se halle al alcance de todas las empresas, sino todo lo contrario, involucra aspectos de aprendizaje, niveles de conocimiento alcanzados, o, como lo ha planteado Dosi (1999), que no es un bien de libre uso, sino que tienen que ver con grados de aprendizaje e investigación en cada región o empresa, lo cual hace que exista variación en el grado de oportunidad, apropiación y acumulación de cierta técnica.

Algunas ideas generales en los trabajos evolucionistas marcan que:

- A. El proceso innovador tiene algunas reglas propias que, por lo menos en el corto y mediano plazos, no pueden describirse como reacciones simples y flexibles a los cambios a las condiciones del mercado. La naturaleza de las tecnologías mismas es la que determina el rango dentro del cual los productos y procesos se pueden ajustar a las condiciones económicas cambiantes, y las posibles del progreso técnico.
- B. El conocimiento científico desempeña un papel cada vez más crucial en la apertura de nuevas posibilidades de grandes avances tecnológicos.
- C. La competitividad creciente de las actividades de investigación e innovación se desenvuelve en torno a instituciones especializadas (laboratorios de I + D, oficinas de diseño, laboratorios gubernamentales, universidades, etc.), que se conciben como el ambiente típico para la producción de innovaciones, en oposición a los innovadores individuales.
- D. Una gran cantidad de innovación y mejoramiento sucede a través del "aprendizaje por medio de la práctica" (*learning by using*) y generalmente está "dentro" de la gente y las organizaciones (sobre todo empresas). Lo mismo puede decirse para la I + D, la cual está generalmente incorporada y vinculada, a las actividades productivas de las empresas.
- E. A pesar de la creciente formalización industrial, las actividades de innovación e investigación mantienen una naturaleza incierta. Los resultados técnicos de las actividades de investigación son difíciles de predecir con anterioridad al proyecto (incertidumbre).
- F. El cambio técnico no ocurre necesariamente al azar (mutación) por dos razones principales: 1) a pesar de variaciones considerables con respecto a innovaciones específicas, las direcciones de los cambios técnicos están definidas frecuentemente por el grado de avance de las grandes tecnologías

que ya se usan, y 2) la probabilidad de avances tecnológicos por las empresas, organizaciones e incluso países, es, entre otras cosas, una función de los niveles que éstas ya lograron. En otras palabras, el cambio técnico, es en gran medida una actividad acumulativa.

ii. Los conceptos: paradigmas y trayectorias.

En el pensamiento evolucionista la teoría de la demanda no es buena para explicar a la tecnología, sostienen que ésta no depende de los factores tradicionales que determinan el comportamiento comercial de un bien, su explicación tiene que ver con otro tipo de factores, tales como el grado de aprendizaje e investigación que existe en determinado país o región, lo cual hace que exista variación en el grado de oportunidad, apropiación y acumulación de cierta tecnología o conocimiento.

No se puede medir el grado de avance tecnológico de una empresa o un país con los coeficientes técnicos que intervienen en una función de producción. La función de producción neoclásica se concentra sólo en procesos eficientes, y la realidad no se ajusta de manera tan simple.

Debido a las deficiencias explicativas, se forjan conceptos diferentes en el pensamiento evolucionista. En éste, una trayectoria tecnológica "define el proceso evolutivo en el que se constituyen las líneas que generan cada uno de los paradigmas tecnológicos".

Cuando las empresas observan que su producción se restringe por las trayectorias tecnológicas conocidas, y no pueden resolver caídas en la productividad y declinación de sus ganancias buscan o desarrollan nuevas trayectorias, en este proceso evolutivo surgen un conjunto de trayectorias nuevas, que deriven un paradigma alternativo.

El paradigma tecnológico se constituye por el cúmulo de trayectorias tecnológicas formado por las oportunidades técnicas y organizativas que tienen las empresas para desarrollarse tecnológicamente. El paradigma tecnológico como forma de ver las cosas abarca de manera gradual todas las actividades productivas; comprende nuevos criterios de eficiencia y nuevos modelos de gestión y organización, y, a medida que se difunde, define productos y procesos que llevan a situar a las industrias en una trayectoria renovada de innovación.

Para Carlota Pérez, el proceso de propagación de un paradigma tecnológico pasa por cuatro periodos distintos: difusión inicial, rápido crecimiento temprano, rápido crecimiento tardío y madurez.

El grado de apropiación y acumulación de las trayectorias que conforman un paradigma se da con base en el nivel de conocimientos con que cuenta la empresa o el país. De hecho un paradigma tecnológico presenta barreras a la entrada, las cuales están constituidas por la falta de conocimientos necesarios para apropiarse de dicho paradigma.

En esta idea de paradigma tecnológico, las empresas forman parte de un ambiente donde los medios institucionales y científicos y las políticas resultan fundamentales para la

innovación, porque afectan: a) los mecanismos de enlace entre ciencia pura y aplicación tecnológica; b) la capacidad de investigación de los agentes económicos; c) las restricciones, incentivos y elementos de incertidumbre que se pueden plantear ante las posibles innovaciones. En este entorno, el éxito de una innovación tecnológica depende de i) el contexto y la capacidad tecnológica de la región; ii) las características de las instituciones de enlace; iii) las condiciones económicas precisas (precios relativos, naturaleza y dimensión del mercado, disponibilidad de escasez de materias primas y fuerza de trabajo, etc.); iv) el carácter de las reglas y estrategias de comportamiento y formas de organización de los agentes económicos (Dosi, 1999).

La naturaleza de las trayectorias tecnológicas permite distinguir cuatro grupos principales de industrias: dominadas por los proveedores, industrias intensivas a escala, dominadas por proveedores especializados e industrias con base científica.⁷

d. SISTEMAS, REDES E INSTITUCIONES

i. Los Sistemas Nacionales de Innovación

El concepto fue introducido a mediados de los años ochenta por Freeman y fue desarrollado posteriormente por Nelson, Lundvall, Metcalfe, Cimoli, etc., en los años noventa.

Un sistema de innovación debiera describir los elementos y los instrumentos - locales, nacionales e internacionales - que se deben interceptar, interactuar y trabajar

⁷ Las ideas son presentadas por Pavitt, como categorías tecnológicas que se usan ampliamente en estudios de caso:

1. Las industrias dominadas por los proveedores.- concentradas en sectores de manufactura tradicional, agricultura, construcción producción informal familiar y servicios profesionales. Se basan en habilidades profesionales, diseño estético, acceso privilegiado a fuentes de recursos, marcas y publicidad. La mayoría de las innovaciones provienen de oferentes de equipo y materiales, los servicios de investigación y desarrollo, generalmente son financiados por el gobierno, una proporción importante de las innovaciones son producidas en otros sectores.
2. Las industrias intensivas a escala se caracterizan por una creciente división del trabajo y la simplificación de tareas en la producción le permiten la sustitución de máquinas para el trabajo y en consecuencia, una disminución en los costos de producción. En el mejoramiento de esta trayectoria ha influido el progreso en los medios de transporte, el incremento del comercio, mejoramiento en los niveles de vida, el perfeccionamiento de la maquinaria, en los sistemas de control y en las fuentes de energía.
3. Un grupo diferente de empresas son aquellas relativamente pequeñas especializadas en proporcionar equipo e instrumentación a las mencionadas en el apartado anterior, se complementan con ellas.
4. Por último se encuentra la categoría de las empresas basadas en las ciencias, donde sus principales fuentes de tecnología son las actividades de investigación y desarrollo, por lo cual dependen de una rápida evolución de las ciencias, sobre todo en las universidades y en los centros de investigación. Este tipo de empresas se localizan en la química, en particular en la química sintética, en la bioquímica y la electrónica. Estas empresas han crecido sobre la base de innovaciones en el producto.

sinérgicamente para lograr que los descubrimientos de la investigación y las innovaciones tecnológicas salgan de los laboratorios, hacia las firmas o en su caso al mercado internacional. El sistema conforma un ambiente complejo en el que muchos jugadores están conectados no linealmente, sino bajo la forma de redes con flujos de dos sentidos (Mytelka, 1999). La vinculación no puede ser tarea individual, pues como mínimo, para establecerse necesita dos actores, pero en la realidad intervienen un conjunto de instituciones, algunas porque poseen el conocimiento, otras porque lo van a aplicar, etc., pero además, todas las vinculaciones buscan establecer los lazos entre necesidades y oportunidades y serán exitosas cuando establezcan adecuadamente estas relaciones.

A diferencia del modelo lineal, que se basa en un sistema cerrado, el Sistema Nacional de Innovación (SNI) es un sistema abierto en el que los actores influyen en un momento u otro en el proceso de innovación.

El aspecto institucional resulta clave ya que, la tecnología se incorpora a las empresas a través de otras empresas en el afán de ser competitivas en sus respectivos mercados, pero también las empresas están rodeadas e incluidas en redes que se relacionan entre sí y con diferentes entidades institucionales, que van desde organismos privados, a gubernamentales y universidades. Este conjunto de redes y entidades institucionales con sus intereses específicos conforman el sistema nacional de innovación tecnológica. Por tanto, la vinculación constituye parte activa de este sistema.

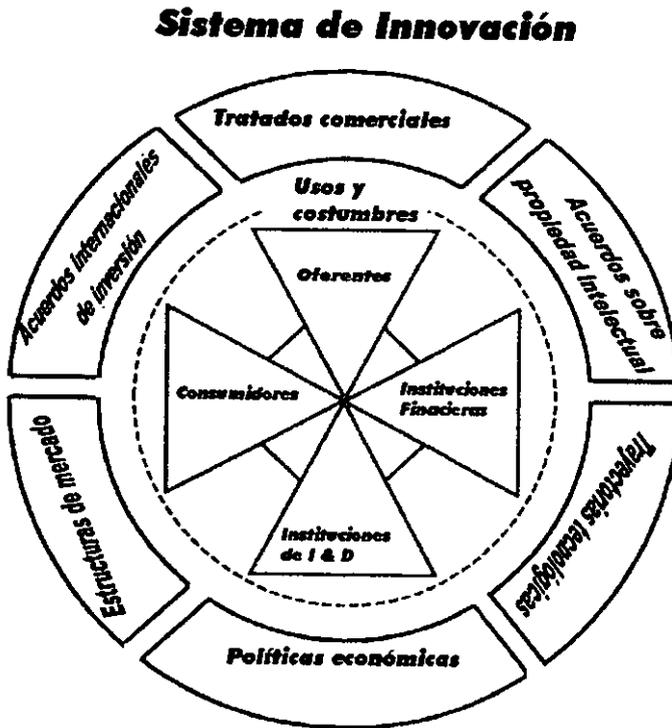
El comportamiento y características del sistema nacional de innovación tiene serios impactos sobre el paradigma tecnológico a nivel micro. En general ocurre que los paradigmas a nivel microeconómico pueden internacionalizarse con las mismas características y presentar efectos diferentes y comportamientos distintos en cada uno de los sistemas de innovación, porque se asocia a políticas, factores e instituciones específicos en cada país. De esto se concluye que las empresas, aún cuando importen sus tecnologías, tienen que desarrollar procesos de aprendizaje o contar con conocimiento acumulado para realizar las adaptaciones necesarias que el sistema nacional requiere.

Los conocimientos tecnológicos no viajan libremente a través de las fronteras nacionales y se instalan en un sistema de innovación tecnológica, este hecho depende del nivel de conocimiento acumulado por el sistema nacional, de la dinámica en los niveles educativos y de factores institucionales.

Tres ideas caracterizan la relación entre las empresas y el sistema nacional de innovación tecnológica: a) las empresas deben ser depositarias de conocimientos, en gran medida, los cuales cambian por la dinámica de sus rutinas operativas a través del tiempo y debido al cambio en las normas de comportamiento de la sociedad y por las estrategias de las mismas empresas; b) las empresas están insertas en redes de vínculos con otras empresas e instituciones no lucrativas (como las dependencias del sector público), universidades y organizaciones dedicadas al fomento de las actividades productivas, de donde son capaces de tomar los conocimientos cuando no cuentan con ellos; y c) los sistemas nacionales incorporan una noción general sobre el comportamiento microeconómico en forma de redes, donde se desarrolla el conjunto de relaciones sociales, reglas y obligaciones políticas. Cuestiones como las formas de gobierno, la cultura, el lenguaje, las políticas leyes y

regulaciones establecen oportunidades y restricciones en los procesos de innovación en las naciones (Cimoli, 2000).

Figura 4



Elaboración propia con base en Mytelka (1999).

ii. Vinculación y redes

El sistema de innovación tecnológica es a final de cuentas un gran red donde es posible explicar la vinculación utilizando un sistema de redes, donde las instituciones constituyen los diferentes nodos del sistema y los arcos están compuestos por los flujos de información y el intercambio de conocimientos. A este tipo de redes se les denomina *de conocimiento*, porque además existen las redes comerciales. En el sistema de redes de conocimiento no es posible concebir una red dirigida donde la información transite solo en una dirección o se

trabaje y considere la existencia solo de arcos. La concepción interactiva está referida a que el conocimiento puede viajar a través de varios arcos y considerando ambos sentidos.

De entre un conjunto de redes de conocimientos, se pueden mencionar:

- 1) Acuerdos conjuntos para desarrollar proyectos de investigación y desarrollo;
- 2) Acuerdos de intercambio de tecnología;
- 3) Licenciamiento de tecnologías;
- 4) Subcontratación para la realización de proyectos de investigación;
- 5) Bancos de información computarizados para el intercambio científico y tecnológico;
- 6) Intercambio de personal para la realización de actividades en las diferentes instituciones y;
- 7) Redes informales. (OCDE, 1992)

Estas pueden ser horizontales cuando se establecen a nivel de usuarios de una tecnología y verticales cuando la relación se establece entre productor y usuario de esa tecnología.

En estas redes se establecen vínculos entre las mismas empresas con el fin de lograr la innovación tecnológica. Estos vínculos vienen dados por:

- a) Relaciones de subcontratación con otras empresas, generalmente realizan subcontratación de capacidad.
- b) Empresas del mismo ramo que se asocian para establecer alianzas de tipo estratégico, que son competidoras en el mercado regional, pero por el mecanismo de cooperación logran insertarse en el mercado internacional.
- c) Las asociaciones para realizar actividades complementarias en una región.
- d) Las empresas que mantienen nichos o mercados reducidos y que están basadas en un conocimiento o actividad artesanal especial se pueden convertir en surtidoras de un proceso productivo para empresas grandes.
- e) Conjuntos de empresas que se mantienen aisladas en sectores tradicionales y cuya producción depende de las cualidades manuales de la región.

En un sistema nacional de innovación tecnológica existen dos tipos de aprendizajes: el institucional y el técnico, el primero genera el cambio institucional y el segundo, el cambio técnico. Cuando se habla de institucional se hace referencia a las relaciones entre personas y cuando se habla de cambio técnico se refiere a las relaciones entre personas y cosas. Para un sistema de innovación tecnológica no sólo es importante el cambio técnico, sino también el cambio institucional.

La adquisición y acumulación de conocimientos, ya sea sólo para operar la maquinaria o emprender procesos de innovación más complicados, dependen de variables más amplias que la estructura productiva y organizativa de la empresa, su relación con el marco institucional que la rodea es definitivo para el desarrollo exitoso de tecnologías al interior de las empresas.

iii. Redes: Concepto y formas.

En la literatura reciente sobre Economía Industrial, se ha discutido con frecuencia las características de configuraciones inter-organizacionales, necesarias para hacer frente a la inestabilidad y a la complejidad del ámbito económico. En los estudios de este tipo se muestra la existencia de múltiples formas de cooperación productiva y tecnológica entre empresas, que pueden ser vistas como opciones para enfrentar de mejor manera un ambiente económico turbulento.

Britto (2000) logra explicar de forma clara el conjunto específico de las redes industriales y su relación con el proceso de innovación y la diversidad tecnológica. Las redes industriales pueden conceptualizarse como acuerdos institucionales estructurados que permiten eficientizar la organización de las actividades económicas, a través de la coordinación de relaciones sistemáticas establecidas entre firmas como parte de una cadena productiva.

El análisis de redes trata de describir la estructura de las relaciones de cooperación entre empresas, así como su localización en un ambiente económico.

En el concepto de redes industriales se sostiene que los nodos que componen la estructura, se relacionan con empresas con características específicas, estos nodos se interconectan a través de actividades o recursos en una interdependencia funcional. Los flujos de las relaciones forman el esqueleto en la red y dan forma a su desarrollo tecnológico.

Se pueden ubicar cuatro tipos de redes(ver cuadro 1, p.21):

- (a) **Redes tradicionales de subcontratación:** Se relacionan con las industrias tradicionales, en la producción de productos no-complejos, que pueden ser producidos en escalas pequeñas, y que se basan relativamente poco en el conocimiento. En estas redes el número de componentes y de sub-sistemas que deben ser integrados es relativamente pequeño, asociándose a arquitecturas "no complejas". Los beneficios competitivos se asocian a la diseminación del proceso de flexibilización de especialidades entre los proveedores, lo que lleva a reducir los costos de producción y a aumentar la productividad del trabajo. Las interacciones entre oferentes y demandantes tienden a guiarse por una predefinición de reglas, acompañada de un limitado intercambio de información entre los miembros de la red. Los esfuerzos de innovación también son limitados en ese tipo de redes, que son mas de tipo incremental⁸ en el diseño del producto, que de un cambio radical en su "arquitectura". Ejemplos de industrias con este tipo de acuerdos de red son la textil, del calzado, muebles, metal mecánica y alimentos.
- (b) **Redes de ensamblado modular:** Vinculadas con la producción en masa de productos con "arquitectura modular", en sus componentes y subsistemas. La producción es gran escala implica una compleja jerarquización de los componentes que deben integrarse entre la red. Sin embargo, estas redes usualmente se relacionan con una relativamente estable base tecnológica, producto de una maduración en el ciclo de vida de los bienes. Actúan en un continuo proceso de

⁸ Es decir, como mejoras o adiciones.

diferenciación basado en principios de "modularidad". Los mas claros ejemplos son la industria automotriz y otras industrias de ensamblado (computadoras, electrónicos, equipos, etc.). Los beneficios que se logran en estas redes significan no solo la reducción de costos en componentes sino una mayor variedad en el rango de productos, basándose en la posibilidad de mejorar el producto con cambios en la integración de los componentes.

- (c) **Redes de productos complejos:** Se orientan a la producción de bienes de alto costo, intensivos en bienes de capital de sofisticada ingeniería, que pueden ser producidos en número reducido, usualmente bajo la forma de un proyecto, y que se producen para compradores individuales específicos. Estas redes giran alrededor de productos con alta complejidad técnica – que requiere la integración de diferentes tecnologías- y que implica la existencia de distintos campos del conocimiento. Ejemplos de este tipo de productos son: los sistemas de control de tráfico aéreo, motores para aviones, sistemas bancarios, simuladores de vuelo, edificios o construcciones inteligentes, sistemas automatizados de producción, supercomputadoras, plantas nucleares, plataformas petroleras, robots, y satélites. La dinámica de la innovación en este tipo de redes depende básicamente de interfaces complejas entre componentes y subsistemas y en una amplia intervención de los usuarios. Es común que los componentes o los subsistemas sean casi independientes a lo largo de la producción. La ventaja de trabajar en estas redes es la posibilidad de poder solucionar problemas, atendiendo a demandas específicas con proveedores sofisticados.

(d) Redes industriales basadas en tecnología.

Estas redes están específicamente relacionadas con productos que tienen su base en nuevas tecnologías en términos de su "ciclo de vida", implican la integración de conocimiento complejo y requieren fundamentalmente de inversión en I+D. Las relaciones al interior de estas redes están asociadas con la interrelación de diversas metas y objetivos, originados por conocimientos de esferas científicas diferentes. Por otro lado, la complejidad técnica de la producción es relativamente baja en tanto que no se puede identificar un conjunto demasiado complejo de componentes y sub-sistemas que deban ser integrados para generar un producto específico. En los acuerdos de este tipo de redes las actividades mas relevantes en la cadena productiva están relacionadas con empresas de alta tecnología, especializadas en campos específicos de conocimiento. Ejemplos de estas industrias de alta tecnología son la biotecnología, soluciones de optoelectrónicos, nuevos materiales, semiconductores y desarrollo de software, las cuales son recurrentemente asociadas con este tipo de acuerdos. Desde un punto de vista espacial, estas redes bien pueden ser vistas como una variación de "distritos industriales"⁹, específicamente orientados por industrias de alta tecnología, basándose en la idea de "polos tecnológicos" El cuadro 1 presenta un resumen del comportamiento general de estas redes.

Los productos generados con estas redes usualmente tienen alto valor agregado y no tienen un gran volumen de producción¹⁰, están basados en la intensidad de esfuerzos de I+D y

⁹ Por su concentración geográfica.

¹⁰ Se alejan mucho de la producción en masa.

demandan conocimiento complejo. El carácter emergente de sus mercados refuerza la relevancia que tiene el acceso a capacidades complementarias, con el fin de facilitar la entrada del producto al mercado. En algunos casos, la creación de un mercado para estos productos puede verse como el resultado de conexiones que surgen a la par de la consolidación de la red. El referirse al carácter emergente de los mercados implica dos hechos principales. Primero, la consolidación del mercado puede estar relacionada con un largo ciclo de desarrollo, en el cual se puede observar la intensificación de conexiones productivas y tecnológicas entre agentes diferentes en la red. Segundo, como consecuencia del carácter emergente de los mercados, las propiedades del producto tienden a ser definidas en base a las mutuas interacciones y mecanismos de aprendizaje entre productores, proveedores y usuarios.

Estas redes están basadas en las relaciones de cooperación entre firmas con cualidades complementarias, con el fin de acelerar la introducción de innovaciones tecnológicas al mercado. Esta situación implica dos aspectos: (i) la existencia de conexiones cercanas entre actividades de I+D y la producción industrial, comúnmente basadas en relaciones de subcontratación; (ii) la existencia de una división del trabajo en términos de los estadios de un ciclo de I+D, generalmente caracterizado por circuitos de retroalimentación. En este sentido, se pueden relacionar dos objetivos principales relacionados con la consolidación de este tipo de acuerdos. Primero, aumentando la integración de capacidades en diferentes momentos del ciclo I+D - producción, reduciendo el tiempo de ventaja de ser pionero en el desarrollo de nuevas tecnologías. Específicamente, estas redes facilitan el proceso de transferencia de tecnología entre la actividad científica y las empresas de alta tecnología. Segundo, estas redes juegan un papel importante en términos de la construcción de mercados, promoviendo la existencia de encadenamientos que pueden progresivamente inducir a la consolidación de cadenas productivas en industrias de alto contenido tecnológico.

Estas redes pueden relacionarse con diferentes beneficios técnico - productivos. Primero, como ya se ha mencionado, la reducción de tiempos muertos asociados con la transición de la I+D a la producción junto con el intercambio de información entre los miembros de la red que se da en diferentes momentos del proceso. Segundo, existen algunas economías externas que se logran por la posibilidad de obtener servicios tecnológicos al interior de la red, conforme esta se consolida. El aprovisionamiento de estos servicios requiere la existencia previa de una demanda -que generalmente se limita a algunas empresas aisladas-, que crece conforme se establecen encadenamientos más sistemáticos entre las empresas de una red. Tercero, beneficios de especialización asociados con la formación de un núcleo tecno-científico de capacidades que se logran al nivel de la red, reforzando la productividad de las actividades en las que la posesión de activos intangibles es un determinante de la competitividad industrial. Cuarto, la incorporación de innovaciones generadas en la red aumenta la sofisticación de los productos para usuarios finales reforzando la competitividad de estas empresas.

El tipo de instituciones presentes en este tipo de redes son "empresas de base tecnológica" (EBT), usuarios potenciales de la tecnología generada, proveedores de componentes, equipo y servicios, institutos de investigación y universidades. Ya se había mencionado que las relaciones entre las empresas implican una división de tareas en el ciclo I+D-

producción. Específicamente, puede observarse una convergencia de flujos internos a la red hacia las empresas de base tecnológica, que juegan un papel fundamental en el proceso de innovación. Aunque, estas empresas usualmente dependen de recursos complementarios y de activos en manos de otros actores de la red. Algunas veces, estas empresas establecen relaciones de subcontratación con otros agentes actuando como proveedores (cuando interactúan con los usuarios finales de la tecnología a desarrollar, como ocurre en las relaciones entre empresas de biotecnología y compañías farmacéuticas), algunas otras veces como compradores (cuando interactúan con actores en el área científico-tecnológica, como universidades e institutos de investigación).

La estructura organizativa de estas redes esta basada en la capacidad para definir fluidamente las tareas, de acuerdo a los requerimientos de cada una de las distintas etapas del proceso de I+D. A pesar de la heterogeneidad de las estructuras de organización, puede resaltarse la importancia de las empresas de base tecnológica en la coordinación de flujos en la red. Así, se pueden mencionar tres posibles estructuras organizativas. La primera implica situaciones en las que el usuario final de la tecnología induce la consolidación de la red, estableciendo lazos de cooperación con empresas de base tecnológica que buscan desarrollar tecnologías específicas. La segunda opción contempla situaciones en las que empresas de base tecnológica actúan como líderes de la red, coordinando la división de tareas con otras empresas de la red con las que puede alcanzar una complementariedad de capacidades. La tercera opción se basa en la consolidación de redes "compactas", que permiten la posibilidad de que los distintos participantes puedan innovar, basadas en una inestable división del trabajo y en reglas difusas. Estas redes tienden a ser relativamente volátiles en situaciones en que el proceso de innovación demanda cambios importantes en la estructura de la red - con la adquisición de empresas de base tecnológica, por parte de grandes compañías, por ejemplo- lo cual es muy común. Pueden observarse también adaptaciones en términos de la estructura organizativa de estas redes que evolucionan a lo largo del ciclo de vida de las tecnologías y productos generados. A lo largo de las diferentes etapas del ciclo, el nivel de centralización de la estructura tiende a incrementarse, con acuerdos que progresivamente van cambiando las estructuras también cambian, de aquellas estrictamente caracterizadas como redes de investigación (que implican mayor difusión) a estructuras mas cercanas a redes industriales (en las que la apropiación de beneficios es fundamental)

Las formas de coordinación tienen un carácter especial en este tipo de redes. En la fase de consolidación de la red, la realización de proyectos de I+D a cargo de Empresas Basadas en Tecnología (EBT's) es lo más relevante. También es posible la coordinación compartida a través de programas de cooperación de carácter público o semipúblico. La imposibilidad de definir los resultados (en especial los económicos) ex ante a la realización de los proyectos incentiva el uso de "contratos incompletos" como herramienta para definir las reglas de interacción entre las empresas. Entre las características de estos contratos, destaca la importancia generalmente atribuida al establecimiento previo de definiciones respecto a la apropiabilidad de las innovaciones generadas. Destaca también la progresiva "formalización" de los mecanismos de coordinación y de las bases contractuales que orientan las relaciones entre empresas. Es común que este proceso de formalización se combine con una progresiva centralización en la red. En este sentido, destaca la

coparticipación de los derechos de autor entre EBT's y grandes empresas que producen para usuarios finales usando las tecnologías generadas, lo cual fomenta la cooperación.

Los flujos de información son generalmente muy complejos, pues implican circuitos de retroalimentación en las diferentes partes de la I+D. Estos flujos por lo general están basados en relaciones interpersonales e intergrupales, por medio de las cuales es posible la transmisión de conocimiento tácito de importancia. De hecho, la red cumple un importante papel como estructura que induce la "codificación" de un conocimiento que combina diferentes campos tecno-científicos¹¹. Con relación a esto, la existencia de "instituciones puente" que acerquen a actores de diversas formaciones cognitivas (de EBT's, de empresas de productos finales, de universidades, institutos de investigación, etc.) es particularmente útil en la consolidación de estas redes.

Los mecanismos de aprendizaje interactivo que caracterizan a estas redes están fuertemente ligados a reducciones de costos y tiempo en el proceso de I+D. Entre los aspectos que se relacionan con una mayor eficiencia de los esfuerzos en la innovación, pueden mencionarse: (i) la existencia de una división del trabajo, en términos del desarrollo de la innovación, basados en una especialización tecnológica de los actores en la red; (ii) el establecimiento de conexiones cercanas entre EBT's y usuarios finales, lo cual puede acercarse a los mecanismos de "aprender usando" (*learning by using*); (iii) la integración de capacidades científicas y tecnológicas con carácter complementario. La magnitud de los mecanismos del "aprendizaje interactivo" (*learning by interacting*) también puede tener importantes consecuencias. Primero, porque facilita la definición de las "condiciones de apropiabilidad" de las innovaciones generadas, que pueden resultar de negociaciones entre las partes estableciendo canales de comunicación entre ellos. Segundo, porque facilita la definición de un lenguaje común entre los distintos campos del conocimiento, lo cual facilita el intercambio de información y la integración de capacidades.

Los esfuerzos innovativos en estas redes esta íntimamente ligados con las distintas etapas del proceso de I+D, y están basados en una división del trabajo en cada etapa de acuerdo a la especialización entre actores. A pesar de la dificultad para establecer por anticipado los resultados de los proyectos de I+D, usualmente éstos implican tecnologías relativamente bien definidas, que se supone, pueden tener utilidad en la esfera productiva. La división de trabajo asociada a estas redes incluye esfuerzos específicos en investigación básica, donde se pueden obtener nuevos conocimientos de relevancia. El proceso de I+D en estas redes asume un carácter interdisciplinario que no sólo se refiere a actividades en las empresas sino también a fuertes interconexiones con la infraestructura científica y tecnológica existente. Un resumen se encuentra en el cuadro 2 (p. 22).

¹¹ Esta síntesis de conocimientos, incluye también áreas de las ciencias sociales y administrativas, y no solamente científico técnicas, aunque estas son las que mas destacan.

Cuadro 1
Tipos de redes industriales

<p align="center">Redes de ensamblado modular</p> <ul style="list-style-type: none"> -Productos de producción masiva con arquitectura modular -Producción a gran escala con jerarquización de componentes y subsistemas -Ganancias competitivas: diferenciación de producto y modularidad 	<p align="center">Redes de productos complejos</p> <ul style="list-style-type: none"> -Productos muy complejos, basados en la integración de subsistemas -Producción basada en proyectos (muy específicos) -Ganancias competitivas: gran capacidad para solucionar problemáticas concretas
<p align="center">Redes tradicionales de subcontratación</p> <ul style="list-style-type: none"> -Productos poco complejos, vinculados a industrias tradicionales -Producción en pequeña escala y especialización entre empresas -Ganancias competitivas: bajos costos y flexibilidad productiva 	<p align="center">Redes basadas en tecnología</p> <ul style="list-style-type: none"> -Productos de alta tecnología asociados a mercados emergentes -Desarrollo de tecnologías específicas con potencial económico -Ganancias competitivas: rentas de innovación generadas por productos nuevos

Cuadro 2
Características de las redes basadas en tecnología

Dimensiones	Características
I. Características técnico productivas	
Características básicas	Relaciones productivas orientadas a la generación de productos de alto contenido tecnológico que requieren la integración de recursos y capacidades complementarios. Integración entre el campo científico y tecnológico. posibilidad de organización espacial en "polos tecnológicos".
Atributos de los productos	Alto valor; escala reducida; alto contenido de I+D.; asociados a mercados emergentes; conjugan conocimiento tácito y codificado; ciclos de desarrollo largos; propiedades fuertemente influidas por usuarios finales
Objetivo de la cooperación	Integración de capacidades en diferentes etapas del proceso de I+D- producción, reducción de tiempos de transferencia de nuevas tecnologías. Aceleración del proceso de transferencia tecnológica entre empresa de alta tecnología y usuarios finales. Construcción de mercados a través de la interacción entre miembros de la red.
Beneficios técnico productivos	reducción en el tiempo de transferencia de tecnología. Economías externas por la provisión de servicios tecnológicos. Ganancias de la especialización asociadas con un foco de capacidades tecno científicas. Sofisticación tecnológica por la interacción con usuarios finales.
II. Características inter-organizacionales	
Relaciones típicas	Especialmente relacionadas con una división de tareas en el ciclo I+D-producción. Basadas en relaciones con EBT's y otros agentes, actuando como oferentes (con usuarios finales) o demandantes (con agentes científicos o tecnológicos)
Estructuras organizativas	El papel central lo juegan las EBT's. Integración en las diversas etapas del proceso de innovación. Estructuras "volátiles", que pueden cambiar con las adquisiciones de las EBT's. Adaptación de la organización a lo largo del proceso innovativo, con una progresiva centralización de flujos.
Formas de coordinación	Proyectos de I+D coordinados en general por EBT's. Posibilidad de coordinación clara a través de programas de cooperación con carácter público o semipúblico. Uso de contratos incompletos, con definiciones previas respecto a la apropiabilidad de las innovaciones.
III. Características tecnológicas	
Características de los flujos de información	Circuitos de retroalimentación en las diversas etapas del proceso asociadas con relaciones intergrupales e interpersonales. Los flujos de información están relacionados con la transmisión de conocimiento tácito. Flujos de información entre diversos campos del conocimiento y teorías. Las instituciones puente son relevantes
Impacto de mecanismos de aprendizaje interactivo	Reducción de costo y tiempo en el proceso de innovación. Integración de capacidades científicas y tecnológicas. Definición de "condiciones de apropiabilidad". Codificación de conocimiento tácito. Definición de lenguajes comunes entre diversos actores en la red.
Proceso de innovación	Carácter interdisciplinario, que implica diferentes etapas del proceso de innovación, con circuitos de retroalimentación (<i>chain linked model</i>) La investigación básica es fundamental para obtener conocimientos nuevos. Dificultad para definir por anticipado los resultados de los proyectos de I+D. Fuerte interconexión con la estructura científica y tecnológica.

Elaborado con base en Brito (1999)

iv. Sistema Mexicano de Innovación (estructura)

A finales del siglo XX en México empezó a adoptarse con animo el concepto de sistema nacional de innovación¹². En este concepto, se considera la innovación como un proceso

¹² El introducido por Freeman en 1987; desarrollado por Nelson, Lundvall, Metcalfe, Edquist, de la Mothe y Paquet y Cimoli y Della Giusta.

interactivo, cuyo eje central se haya en la conducta tecnológica de la empresa¹³, en las relaciones entre empresas¹⁴ y las interacciones entre éstas y los centros de investigación, universidades y otras instituciones (Cimoli, 2000).

Este concepto se adopta en el Sistema Mexicano de Innovación para explicar el desempeño innovador de las empresas con base en las interacciones que se presentan en un conjunto de redes (al interior y al exterior)¹⁵.

El entorno nacional e internacional en que se propone este sistema de innovación se caracteriza por un proceso de liberalización y acelerada inserción en la globalización, por lo que se remarcan constantemente dos distinciones: a) la primera, entre empresas nacionales y empresas extranjeras y; b) la segunda, entre redes al interior y redes al exterior.

Este mismo entorno influye en el tipo de análisis, puesto que se intenta entender cuál es el impacto de las políticas de liberalización en los esfuerzos tecnológicos, en la apropiación de beneficios en el ámbito local y en el desarrollo de redes entre las empresas y las instituciones mexicanas.

Con base en estudios de Casalet y la OCDE se pueden distinguir cuatro tipos de instituciones diferenciadas dentro del sistema mexicano de innovación atendiendo a las actividades funcionales que realizan:

- 1) Instituciones *incentivadoras* de la modernización y la innovación, así como organizaciones y bancos orientados a apoyar exportaciones no petroleras y redes de empresas para pequeñas y medianas empresas (Pymes);
- 2) Instituciones puente, como las organizaciones dedicadas a proveer información y reducir incertidumbre, y que se vinculan a la estandarización, certificación, calidad y capacitación;
- 3) Instituciones altamente especializadas de investigación y desarrollo que ofrecen apoyo en áreas específicas de conocimiento;
- 4) Instituciones dedicadas a investigación y desarrollo en ciencias básicas, desarrollo tecnológico regional y capacitación a nivel de posgrado (Cimoli, 2000).

La mayoría de estas instituciones tienen ya una antigüedad de por lo menos cuarenta años, pero, dentro de éstas existen algunas que están determinadas por un nuevo escenario que exige a las empresas cumplir normas de calidad, con cierta estandarización y con la certificación de productos y procesos. Las instituciones puente son "nuevas" instituciones

¹³ Esfuerzo de investigación y desarrollo, mejoras de proceso, etc.

¹⁴ Relaciones productor-usuario, proyectos de investigación conjuntos, etc.

¹⁵ Se espera que en el libro próximo a publicar por Cimoli se pueda tener una visión más clara sobre el Sistema Mexicano de Innovación

que orientan sus actividades a tratar de integrar a las empresas, formando redes donde fluya conocimiento tecnológico.

Dentro del tipo 1) de instituciones, las *incentivadoras* de la modernización y la innovación, así como organizaciones y bancos orientados a apoyar exportaciones no petroleras y redes de empresas para pequeñas y medianas empresas (Pymes) se incluyen:

- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) con;
- Fondo de Investigación y Desarrollo para la Modernización Tecnológica (FIDETEC);
- Fondo para el Fortalecimiento de las Capacidades Científicas y Tecnológicas (FORCCyTEC);
- Nacional Financiera S.N.C (NAFIN);
- Banco Nacional de Comercio Exterior S.N.C. (BANCOMEXT);
- Secretaría de Economía (antes SECOFI)

Dentro del tipo 2): las instituciones puente están incluidas:

- Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación (NORMEX);
- Calidad Mexicana Certificada A.C (CALMECAC);
- Centro Nacional de Metrología (CENAM);
- Instituto Mexicano de Propiedad Industrial (IMPI);
- Fundación Mexicana para la Calidad Total (FUNDAMECA);
- Programa de Calidad Integral y Modernización (CIMO);
- Fondo de Información y Documentación para la Industria (INFOTEC);
- Centro para el Desarrollo de la Competitividad Empresarial (CRECE);

En las instituciones tipo 3): las altamente especializadas de investigación y desarrollo que ofrecen apoyo en áreas específicas de conocimiento:

- Instituto Mexicano del Petróleo (IMP);
- Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE);
- Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ);
- Instituto Mexicano de Tecnología del AGUA (IMTA).

2. UN ENFOQUE GENERAL DE LA VINCULACIÓN ENTRE LA ACADEMIA Y EL SECTOR PRODUCTIVO

2. UN ENFOQUE GENERAL DE LA VINCULACIÓN ENTRE LA ACADEMIA Y EL SECTOR PRODUCTIVO

Al revisar algunas de las teorías de la innovación y del cambio tecnológico puede plantearse algún comentario; que al final de cuentas las conclusiones propias son finalmente hipótesis de trabajo. La innovación implica una "inestabilidad" teórica y empírica que entraña una dificultad considerable para la investigación, porque nunca se tiene una problemática "cerrada".

Sin embargo, la teoría suele tener esa tendencia cerrada. La literatura predominante sobre el cambio tecnológico ha venido centrando su atención en las relaciones entre tecnología y producción, la relación causal más socorrida es la que va del campo de la innovación y la tecnología hacia el campo de lo económico. Menos abundantes son los análisis que han dado por objeto la comprensión de las relaciones entre el sector productivo y la investigación científica y técnica.

Lo anterior se convierte en un problema cuando la dinámica de los sectores basados en la ciencia y la relevancia de las nuevas tecnologías expone la importancia creciente de la investigación como fuente de la tecnología y han evidenciado la necesidad de avanzar en la concepción de proceso de innovación como proceso acumulativo de creación de tecnología, cuyo desarrollo tiene bases en la interacción entre una pluralidad de elementos, incluidos la investigación pública, la investigación industrial, la producción, la comercialización,...(Campos, 1994).

La articulación de todo el conjunto de relaciones de naturaleza distinta es un problema más de organización que de mercado¹⁶; pero es un problema organizativo más grande que cada una de las organizaciones o instituciones involucradas. Las nuevas necesidades suelen forzar a una redefinición de la organización interna por parte de las empresas e instituciones, pero sobre todo obligan a una reestructuración de las relaciones externas para la investigación y el aprendizaje (Sutz, 2000). El problema ésta en que para vincular ese conjunto de relaciones es necesario "domesticar" un buen número de dificultades y obstáculos que tienen su origen, no en los individuos sino en la naturaleza contradictoria de muchos de los agentes que interactúan; la deficiente comprensión de esta realidad ha sido una de las causas que se pueden atribuir a buena parte de los fracasos de las políticas tecnológicas puestas en marcha (Jonson y Lundvall, 1994; Corona, Dutrenit y Hernández, 1994).

No es difícil constatar la existencia de una lógica y unos objetivos diferentes entre el medio científico y el medio industrial, lo cual plantea el problema de su armonización o, en todo caso, de su compatibilización (Corona, Dutrenit y Hernández, 1994). Existen factores en la relación entre estos espacios que pueden ser contradictorios. Por un lado, la industria exige periodos de maduración cortos e impone la conservación de los resultados, en tanto que en la investigación se requieren periodos en general más largos y, la validación científica exige la publicación de los resultados. A pesar de ello pueden destacarse diversos factores que contribuyen a darle coherencia a esa relación: i) el propio financiamiento, que es

¹⁶ Ya se han apuntado las limitantes que presenta la teoría neoclásica para explicar la tecnología.

tendencialmente creciente; ii) la creciente dependencia de las industrias respecto de los avances de la ciencia; iii) la red de organismos consultivos mixtos; iv) los intercambios personales formales e informales; v) la introducción de cambios institucionales, etcetera.

En este capítulo se trata de mostrar que la comprensión de las relaciones de vinculación entre la academia y la industria necesita un enfoque que revele las características, las formas de la vinculación y las expectativas de los actores de este tipo particular de vinculación.

Es difícil pensar que los cambios tecnológicos no hubieran dado pauta a considerar la producción en conjunto; desde la investigación, el proceso de fabricación, el diseño e industrialización, hasta su comercialización. Los problemas técnicos y la lógica económica-productiva en cada una de esas fases son diferentes, razón que, de partida, muestra la importancia de comprender y estudiar las condiciones para su vinculación.

La vinculación varía enormemente según las ramas, la etapa histórica considerada y la fase de evolución de cada producto. Y también deben considerarse las condiciones o influencias que el entorno socioeconómico e institucional introducen tanto en su configuración como en su evolución.

En general, entre los economistas la ciencia ha sido una galaxia aparte en un contexto en el que incluso la técnica es considerada exógena. En los últimos años existe un intento de explicar la *creación de tecnología* en el enfoque secuencialista de la innovación pero, a pesar del avance que esto significa, no fue capaz de interiorizar el análisis de la vinculación real existente entre la investigación científica y tecnológica con la creación de oportunidades de inversión. Otro tipo de estudios como los de Rosemberg intenta integrar la investigación industrial y la difusión de la tecnología. Sin embargo, son muy escasos aun los estudios que abordan de forma central las relaciones entre "las ciencias" y la producción (Masahiro, 1998).

a. Ciencia y producción

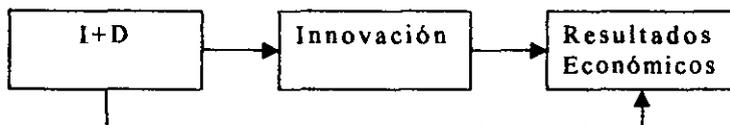
La ciencia no tuvo un papel importante y sistemático en la producción hasta una época más o menos reciente (siglo XIX) en la que se reúnen ciertas condiciones que hacen posible su aparición. La ciencia y la tecnología no son fuerzas autónomas sino que son un resultado social e histórico incluido en las transformaciones productivas. La ciencia en particular no es un círculo autónomo de la actividad humana, sino que la producción científica debe entenderse más bien como una actividad social que responde a fuerzas económicas (Sutz, 2000). Los cambios en las características y condiciones de la actividad productiva, por un lado, inducen el desarrollo de la ciencia y, por otro, sólo a partir de la introducción del maquinismo es posible su aplicación y desarrollo.

En cierto sentido, los orígenes de la ciencia han originado un cierto tipo de dependencia por parte de ésta a la industria. La relación de retroalimentación ha sido en general una orientación de la investigación científica a responder las exigencias cambiantes de la industria, hecho este que se ha fortalecido actualmente.

En el enfoque neoclásico, la ciencia se considera como un *dato* en cuyo análisis el economista no necesita ahondar, del mismo modo que incluso la técnica se considera también exógena al modelo. En los análisis de la innovación donde la idea predominante es la schumpeteriana¹⁷, se parte de la hipótesis de que la evolución científica y tecnológica determina un campo de opciones, en cuyo interior cada entorno socioeconómico y los actores sociales guardan un margen de autonomía para elegir entre las posibilidades a seguir¹⁸. En el primer caso la ciencia y la técnica son variables exógenas a las que la dinámica social se limita en una dependencia de tipo determinista, y en el segundo, la ciencia es exógena y los agentes sociales se limitan a seleccionar entre un abanico de posibilidades que la ciencia y la técnica ofrecen. Esta afirmación puede ser una simplificación muy general, pero posible. Vistas así, ambas variantes corresponden a un modelo tradicional en el que las relaciones de causación son de tipo lineal y ordenadas en el tiempo con la forma: ciencia → tecnología → producción → mercado.

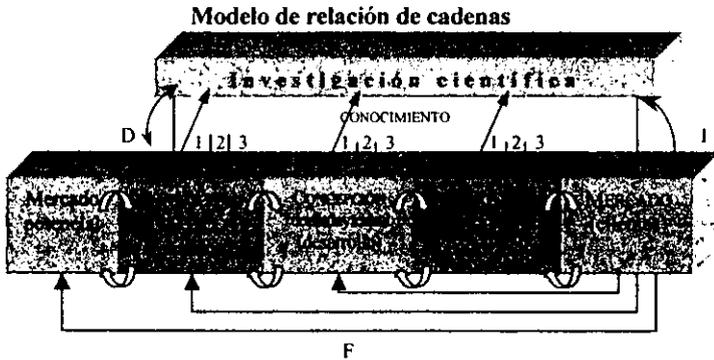
La problemática privilegiada en estos enfoques es la de los "efectos" del cambio tecnológico, dejando de lado las condiciones de producción de los conocimientos científicos y técnicos así como los factores y relaciones recíprocas que orientan la evolución de estos últimos. Un modelo que intenta incorporar ese conjunto de retroalimentaciones es el desarrollado por Kline y Rosemberg conocido como "modelo de relación de cadenas" (*Chain linked model*).

Figura 5
Relaciones del sistema ciencia tecnología (modelo lineal)



¹⁷ Que en buena medida recuperan los evolucionistas

¹⁸ De aquí se entiende la idea del "paradigma tecnológico".



- [C]: cadena central de la innovación
- [f]: feedbacks entre las fases sucesivas de la cadena C
- [F]: feedbacks entre el mercado y las fases de la cadena C
- [D]: relaciones directas entre innovación e investigación
- [I]: relaciones directas entre mercado e investigación
- [1,2]: relaciones indirectas entre investigación y las fases de la cadena C
- [3]: relación entre investigación y la cadena central

b. Tendencias en la relación entre ciencia, industria y mercado.

La integración reciente (desde finales del siglo XIX y principios del XX) entre la investigación científica y la actividad productiva ha dado origen a dos transformaciones destacadas.

La primera gran transformación es la materialización de los conocimientos científicos y técnicos mediante la conversión de los datos de la investigación en productos. Esa materialización de los resultados de la ciencia forma parte de un movimiento más general de mercantilización de "bienes" no materiales cuya característica común es la de contener un alto grado de información y conocimientos (Hagedoorn y Schakenraad, 1992). En el ámbito de la producción la importancia de la "concepción", de la "organización", de la "gestión", de la "comercialización", y de todo lo que se denominan intangibles, tuvo un crecimiento constante. Incluso la producción y gestión de información llegó a constituirse como una rama de producción aparte (asesorías y servicios a empresas, oficinas de estudios, ingenierías, etc.). En particular, la producción de conocimientos y de tecnologías constituye una actividad diferenciada no sólo en el interior de las empresas sino que existen empresas cuya actividad es la producción y comercialización de conocimientos y tecnología.

La segunda gran transformación consiste en la industrialización de la investigación científica. Los rasgos básicos de esta industrialización se hallan en la división del trabajo científico, la mercantilización de conocimientos, la mecanización y la automatización que contribuyen a materializar el conocimiento científico. La aceleración de la competencia introduce un ritmo de investigación y de obsolescencia rápida de los conocimientos científicos. A su vez, esto induce una dinámica de competencia entre los equipos de los

investigadores, cuya "eficacia y productividad" será medida con criterios de evaluación y gestión análogos a los aplicados en la esfera industrial.

Aunque lo anteriormente dicho es una tendencia conviene entender que tales transformaciones pueden agrupar, pero también diferenciar. La actividad investigadora no es homogénea; los objetivos inmediatos y las formas de organización y gestión son diferentes por ejemplo entre la investigación y el desarrollo tecnológico que hacen las empresas y, la investigación realizada en los organismos públicos, particularmente, en las universidades

Precisamente esta heterogeneidad es fundamental para comprender la vinculación entre la academia y la industria en su conjunto, y acercarse más a enfoques reales.

c. Modalidades y formas generales de las relaciones ciencia -producción

Es muy importante señalar que tanto el proceso de creación de la investigación como las modalidades de las relaciones entre ésta y la producción industrial no son homogéneas ni responden a un modelo único y universal. En su lugar, más allá de ciertas características y tendencias comunes existe una diversidad de configuraciones muy considerables. La misma infinidad y originalidad de los problemas a resolver explica la heterogeneidad de configuraciones, de modalidades de las relaciones y de forma de organización de las transferencias de resultados entre investigación y producción. Estas expresan tanto la diversidad de ramas científicas y de especialidades existentes como de ramas industriales, de entornos socio-institucionales y de tipos de empresas. Por lo anterior, el establecer algunos criterios de diferenciación en las actividades de investigación y desarrollo tecnológico tiene que ser de utilidad.

Pueden distinguirse al menos cuatro factores y razones que exigen una diferenciación en las modalidades de las relaciones entre ciencia y producción.

- i. La necesidad de matizar la concepción general de la relación ciencia-producción. En un plano ampliamente difundido se acostumbra establecer una distinción entre tres campos sustancialmente distintos: Ciencia-Tecnología-Industria o, en otros términos, Investigación-Desarrollo tecnológico-Producción. Pude decirse incluso que convencionalmente se establece una secuencia de determinaciones unidireccionales en cascada entre estos tres momentos, en unos casos de arriba abajo (teorías de empuje de la ciencia o *science-push*), e inversamente en el caso de teorías de demanda de innovaciones (*market-pull*).

science-push →
investigación ↔ desarrollo tecnológico ↔ producción
← *market-pull*

Este tipo de diferenciación es válida a nivel global, e incluso ese tipo de acontecimientos ordenados puede corresponder con lo que ocurre en cierto tipo de actividades, particularmente en las "industrias basadas en la ciencia", pero ello no debe impedir observar que esas relaciones son mucho mas complejas. En ellas entran en juego mas factores que los considerados por estos dos grupos de teorías citados; sobre todo, porque esas relaciones variarán mucho según los ejes científicos e industriales

considerados y porque los vectores del impulso casi nunca serán unidireccionales. De hecho, la observación empírica obliga a un cuestionamiento de la forma general $C \rightarrow T \rightarrow I$ por resultar excesivamente simplificadora tanto en lo que se refiere a la separación entre estos tres momentos como al orden secuencial entre ellos, la evidencia ha mostrado:

- a. La actividad productiva se ha ido traduciendo históricamente en un crecimiento de la demanda de ciencia, sobre todo a partir de la introducción de sistemas de maquinaria y de los comienzos de la producción en masa de productos estandarizados. La necesidad de nuevas materias primas y materiales, de nuevas fuentes energéticas, de nuevos sistemas de comunicación e información, etc., llevaron consigo una apelación creciente a las posibilidades de las diferentes ramas de la ciencia.

A este nivel las relaciones academia-industria presentan tres aspectos que conviene destacar y que matizan las visiones excesivamente genéricas: a) el recurrir a la investigación puede ser secundario en lo que se refiere a los ejes centrales de la evolución de las condiciones de la producción; b) en la mayoría de los casos se trata de utilizar industrialmente conocimientos ya existentes previamente, de tal forma que la utilización de la ciencia no exige necesariamente la creación de nuevos conocimientos o ideas sino, sobre todo, una capacidad para combinar y adaptar los conocimientos básicos existentes a las necesidades concretas y; c) la dinámica de las relaciones entre la academia y el sector productivo está marcada por un proceso complejo de interacciones (*feed-backs*) entre la oferta/demanda de mercado y la ciencia, así como por una articulación de las modificaciones que la ciencia provoca en las condiciones de producción y las modificaciones originadas dentro de la propia producción inmediata.

- b. Por otro lado, el contenido del trabajo científico no se reduce a la producción de conocimientos teóricos sino que las actividades que se desarrollan dentro de los laboratorios tienen también un contenido tecnológico más o menos importante; se *ponen a punto* nuevas técnicas, nuevos procesos y modos de manipulación de instrumentos y herramientas de trabajo y de sus efectos, nuevos instrumentos y nuevos modos de manejarlos, nuevas cualificaciones, etc., que posteriormente pueden ser transferidas y aplicadas en usos industriales. Por lo tanto, en los laboratorios de investigación no se producen exclusivamente conocimientos científicos sino que, como subproducto¹⁹, también se producen y experimentan resultados tecnológicos e incluso nuevas formas de organización y gestión.

En consecuencia, las relaciones entre ciencia-tecnología-industria no pueden ser vistas como actividades separadas ni tampoco vinculadas con relaciones de determinación lineal entre ellas ($C \rightarrow T \rightarrow I$) sino que deben aprehenderse como un sistema (no necesariamente un SNI) de relaciones de influencia recíproca cuyo vector dominante depende de las ramas científicas e industriales en cuestión, del periodo histórico y del momento en la historia particular de cada una de esas ciencias e industrias. En algunas ramas concretas se observa una inclusión cada vez mayor entre tecnologías de

¹⁹ En el caso del Zinalco, la transferencia rebasó estas generalidades.

investigación y tecnologías de producción, difuminando cada vez más las fronteras entre estos dos campos. Esta "cientificación de la producción" o "industrialización de la investigación" no es, sin embargo, un fenómeno absolutamente generalizado sino que afecta sobre todo a las actividades ligadas a las nuevas tecnologías (Fransman, 2000).

- ii. Un segundo criterio de diferenciación entre las modalidades de las relaciones ciencia-producción consiste en introducir las especialidades de las diferentes ramas de actividad, distinguiendo dentro de ellas líneas de producción con procesos de producción y sistemas técnicos específicos. Los criterios para establecer esa división y clasificación del sistema productivo son diversos pero, en la medida en que permitan considerar la evolución y transformación de los procesos de producción, permitirán delimitar la forma de la relación entre la investigación y la producción.

Tomando en consideración el lugar y la importancia que desempeña la investigación en el funcionamiento y evolución de cada proceso de producción se pueden distinguir, en primer lugar, las "industrias basadas en la ciencia" frente a todas las demás. La intensidad de las transferencias directas de la investigación básica a las fases aplicadas y de desarrollo es elevada entre la biología y el sector químico y el farmacéutico y entre la física aplicada y la industria electrónica; en cambio, es muy baja en las industrias mecánicas o en la del automóvil.

Desde una perspectiva bifurcada, la naturaleza de la relación academia-industria dentro de una misma rama o industria varía enormemente a lo largo de la "vida" de una innovación; la intensidad de la relación y sus características difieren entre la secuencia a través de la que se configura un nuevo sistema técnico o un nuevo paradigma tecnológico, frente a la secuencia de evolución madura de esos sistemas técnicos, que de algún modo delimitan el marco de las investigaciones e innovaciones incrementales que van a caracterizar su trayectoria futura. Dicho de otra forma, esa relación difiere en el caso de las nuevas tecnologías radicales y en el de las pequeñas mejoras (Fritsch y Lukas, 1999).

- iii. Un tercer criterio de diferenciación consiste en considerar las características del entorno socioeconómico atendiendo a factores institucionales e históricos. En esta posición hay una componente ligada a la estructura productiva del entorno considerado que se solapa en parte con lo señalado en el punto anterior. Pero existen factores de índole institucional que afectan a las modalidades e intensidad de las relaciones Universidad / empresa, que varía significativamente entre los países. También las políticas científicas y tecnológicas, los criterios de financiamiento público, los sistemas considerados exitosos, como el estadounidense, el japonés o el alemán, muestran diferencias sustanciales en las formas institucionales y en las políticas implementadas; incluso dentro de ellos existen diferentes entornos o "microespacios" con configuraciones especiales que no todos los países tienen (parques tecnológicos exitosos, tecnópolis, parques científicos, etc.) Sutz, 1999.

- iv. Un cuarto eje de diferenciación deriva de las propias especificidades de la empresa. aun para tamaños y especializaciones similares existen diferencias: a) por la importancia concedida a la investigación en la empresa; b) por la forma de organizarla (si esta será interna o externa a la empresa), de relaciones institucionalizadas y jerarquizadas o relaciones informales); c) por la misma historia de cada empresa y por las opciones tomadas en el pasado y; d) por la posición relativa en la competencia (si es líder o seguidora) y por el tipo de estrategia global de la empresa (Chesnais, 1986; Morton, 1989).

d. La I+D como parte de la innovación y la vinculación

Para analizar las relaciones academia-sector productivo desde un punto de vista económico se parte normalmente de la consideración de la información y los datos relativos a actividades de I+D. Dado que los conceptos y datos relativos a I+D constituyen el punto de referencia de casi todos los trabajos empíricos y que, por eso mismo, son utilizados de forma explícita o implícita en las reflexiones teóricas, conviene adentrarse en el significado de este tipo de categorías.

En esta perspectiva, la primera diferenciación es entre la innovación científica y tecnológica y la I+D. La innovación científica y tecnológica es "la transformación de una idea en un producto vendible nuevo o mejorado, o en un proceso operativo en la industria y en el comercio, o en un nuevo método de servicio social". Comprende, por lo tanto, actividades científicas, técnicas, comerciales y financieras necesarias para la producción y comercialización de un producto o un proceso, nuevos o mejorados. De tal forma que la I+D es tan sólo una etapa de un largo proceso de innovación que incluye otras actividades también importantes:

- La comercialización de nuevos productos (*marketing*, publicidad);
- Actividades de gestión de patentes;
- Cambios financieros y organizativos necesarios para el éxito de esa innovación;
- Perfeccionamiento de los equipos e instrumentos de producción y de ingeniería industrial;
- Formación del personal de fabricación, ensayos....

Por su parte, la Investigación y Desarrollo tecnológico (I+D), en sentido restringido, engloba los "trabajos creativos que se emprenden de modo sistemático a fin de aumentar el volumen de conocimientos para concebir nuevas aplicaciones".

1. Según el tipo de actividad se distinguen tres componentes de I+D principales:
 - a. La *investigación básica* o fundamental, que consiste en trabajos teóricos o empíricos con objeto de aumentar el grado de conocimiento sobre los fenómenos sin que se persiga una aplicación específica de los resultados;
 - b. La *investigación aplicada* se distingue de la anterior en que sí esta orientada hacia la consecución de un objetivo práctico y específico;

- c. El *desarrollo experimental o tecnológico* consiste en trabajos sistemáticos de profundización de los conocimientos existentes y derivados de la investigación y/o la experiencia práctica dirigida a la producción de nuevos materiales, productos o dispositivos, al establecimiento de nuevos procesos, sistemas o servicios, o a la mejora sustancial de los ya producidos o implantados.
2. Desde el punto de vista institucional pueden distinguirse dos grandes tipos de estructura de I+D:
- a. *I+D industrial*: es la realizada por empresas privadas o públicas y que normalmente se centra en la investigación de problemas ligados a las actividades productivas que desarrollan. Dentro de ésta se puede distinguir la realizada por las pequeñas y medianas empresas y la realizada por las grandes empresas industriales (que a su vez pueden realizar I+D en un gran laboratorio central o en diferentes divisiones operativas o en laboratorios en las diferentes plantas). Puede considerarse incluso la existencia de empresas cuya actividad central es la I+D y la comercialización de los resultados que obtienen;
 - b. *I+D pública y/o universitaria*: es la realizada en los laboratorios y centros de investigación dependientes de las Secretarías nacionales (o ministerios), de las Entidades federativas, o de las universidades. Los objetivos inmediatos, la organización y las formas de financiamiento son diferentes a los que predominan en las industrias. En las universidades existe una orientación más marcada hacia la investigación básica y hacia la publicación de resultados, que se plasma en los criterios de evaluación de los académicos. En este último caso los equipos suelen ser reducidos y el horizonte temporal de la investigación más extenso. Aunque existe investigación universitaria financiada por entidades privadas o cofinanciadas, sin embargo, predomina el financiamiento público; es cierto, sin embargo, que se observa en los años ochenta una tendencia general hacia una mayor participación privada en el financiamiento que coincide con una reducción de los ritmos de aumento del financiamiento público, aunque la proporción varía entre países (OCDE, 1992; 1994)²⁰.

Utilizando esta conceptualización y conjugando el criterio institucional con el tipo de actividad, se observa que generalmente la investigación básica y la gran mayoría de la investigación aplicada es realizada en los laboratorios y centros públicos y universitarios. Las razones más importantes que explican esa distribución derivan del hecho de que estos tipos de investigación requieren -sobre todo en ciertas ramas científicas- inversiones cuantiosas en infraestructura y son proyectos generalmente largos, de resultado incierto y

²⁰ Con referencia al *Manual Frascati* de 1980

de dudosa apropiabilidad y rentabilidad (Didriksson)²¹. Hasta la década de los ochenta eran relativamente escasas las empresas que realizaban investigación básica (los laboratorios centrales de multinacionales como Bell de AT&T, ICI,...); en cambio, siempre ha sido bastante mayor el número de las que realizan investigación aplicada (casi todas las empresas líderes en altas tecnologías llevan a cabo algún tipo de investigación aplicada. En extenso, la actividad predominante en las empresas es la de desarrollo tecnológico, estrechamente ligada a las necesidades inmediatas de creación, mejora y adaptación de productos y procesos, cuya realización requiere una integración de los criterios de mercado y de gestión.

Resulta obvio pero útil recalcar que no todos los productos de la actividad investigadora entran en el intercambio mercantil. Las formas que adoptan los resultados de la investigación son diversas desde el punto de vista de su utilización (publicaciones o conocimientos, experiencias, fórmulas, objetos, dispositivos, etc.) y solamente una parte de los mismos adoptan la forma de productos. La clásica distinción entre investigación básica/ investigación aplicada/ desarrollo tecnológico resulta relevante en lo que a este tema se refiere (a pesar de las señaladas limitaciones de tal división) porque es muy desigual el grado de mercantilización de los resultados que se obtienen en cada uno de esos tres tipos.

Entre los resultados de la investigación básica esta la información científica y también ciertos subproductos de gran importancia como la aplicación de instrumentos y técnicas de investigación a otros campos o la propia formación del personal científico que participa en ella. En su mayor parte, estos resultados tienen una circulación que no es mercantil (publicaciones, congresos, etc.); esto no quiere decir que el acceso a los mismos sea libre y gratuito: las publicaciones tienen un costo, asistir a los congresos también y, sobre todo, la asimilación de esa información exige normalmente inversiones importantes en capacitación e investigación por parte del potencial usuario. Es más, tanto antes como durante y después del proceso de producción de la investigación se establece un gran número de relaciones no mercantiles que son esenciales para el desarrollo de la actividad investigadora (intercambios personales, reuniones científicas, "consultas y confidencias", e incluso en caso extremo el espionaje científico...).

Las empresa puede llevar a cabo la investigación tanto en laboratorios o centros propios como por medio de contratos de investigación con centros públicos (institutos de investigación y universidades), con laboratorios propiedad de otras empresas o con laboratorios pertenecientes a una cámara empresarial.

En principio, cualquiera de esas alternativas tiene ventajas respecto a las otras. La investigación dentro de la firma permite un mayor grado de apropiación de los resultados y una asimilación tanto de los resultados iniciales como de los secundarios, de la experiencia y del *know-how*. La contratación con otros laboratorios o centros externos reduce la incertidumbre económica del proyecto porque se reducen los costos de infraestructura se aprovechan economías de escala y de especialización, puede disponerse de equipo apropiado en función del proyecto sin incurrir en los costos de formación y reciclaje de los equipos, etc.

²¹ Citado en Corona y Campos, 1994

e. Asimetrías y contradicciones a superar en la vinculación Universidad-Sector productivo

Una forma en que las empresas obtienen investigación es como ya se mencionó, la contratación con laboratorios de las universidades. Dada la naturaleza heterogénea de esas dos instituciones se plantea de forma muy aguda el problema de la compatibilización de las lógicas que dominan en cada una de ellas y su articulación completa como partes de un conjunto más amplio tendiente a la producción de innovaciones.

El análisis de esta modalidad de investigación debiera tener un interés teórico creciente debido a que es un campo privilegiado para analizar la articulación entre la investigación básica y la aplicada y entre éstas y el desarrollo tecnológico; al mismo tiempo tiene también un interés práctico debido al aumento de este tipo de vinculaciones en las últimas dos décadas. Además en buena parte de las economías en desarrollo como México, que presentan una escasa dotación de infraestructura de investigación²² en las empresas, la principal posibilidad de introducir a mediano plazo una dinámica innovadora proviene del aprovechamiento de la infraestructura material y humana de las universidades; existe la posibilidad también de que en estos países, la falta de tradición en cuanto a este tipo de vinculación, por lo que es necesaria una atención particular a este aspecto para lograr condiciones de viabilidad.

Aun sin pretender abordar aquí un análisis específico de la institución universitaria, parece necesario destacar alguno de sus rasgos caracterizadores más esenciales para comprender las formas y modalidades que implica su actividad investigadora así como las condiciones para sus relaciones externas²³.

Dentro de la variedad de configuraciones institucionales del sistema universitario en términos generales. Pueden establecerse tres características que son comunes:

- Toda universidad, sea pública o privada, es una institución que combina en proporciones variables una actividad docente y una actividad investigadora en cada una de las diversas ramas de la ciencia (Casas, 2000);
- Los criterios de evaluación de la actividad científica emanan fundamentalmente de la evolución del propio medio científico, tomando como referencia la frontera internacional ;
- Existe un régimen jurídico y unas relaciones sociales específicas y en la mayoría de los países están sometidas a un sistema funcional que regula la carrera docente e investigadora (algún ministerio o secretaría de Estado) que busca la libertad de cátedra e investigación -incluso si es relativa- (Didriksson en Sánchez, G., 1998).

²² Puede darse el caso también de que la infraestructura exista, pero no el capital para darle mantenimiento y actualización.

²³ Estas generalizaciones pueden acercarse más a universidades públicas. El caso de las universidades privadas, especialmente en México, puede llegar a tener diferencias importantes.

Las diferencias constitutivas del campo universitario y del sector productivo pueden entenderse a través de asimetrías que se manifiestan en los contenidos, en los objetivos, en los criterios, en los comportamientos, en la regulación institucional y aun en los valores y las pautas culturales:

- a) Asimetría entre los contenidos de la actividad universitaria y las necesidades de las empresas. La Universidad tiene como misión primordial la formación científica de los individuos que asisten a ella, a cuyo objetivo se consagraba originalmente la actividad investigadora (Etzkowitz y Leydesdorff, 2000).

Esa interacción tuvo mayor o menor intensidad dependiendo de la propia capacidad material y humana de cada Universidad así como la regulación normativa y administrativa que les da forma. La tendencia general en las últimas décadas apunta hacia una inversión en la jerarquía de los objetivos: la introducción de formas de validación externa centrada en la actividad investigadora unida a la masificación estudiantil viene conduciendo a una progresiva conversión que ahora privilegia el objetivo de investigación sobre el objetivo docente. A pesar de esta tendencia, la existencia del doble objetivo -docente e investigador- introduce una diferencia de partida radical con respecto a la investigación en las empresas.

En segundo lugar, otra diferencia notable respecto de la industria es que la Universidad tiene capacidad de reproducirse a sí misma en la medida en que es "productora de hombres" de ciencia, en tanto que la investigación industrial es "consumidora de hombres". Así pues, la Universidad, independientemente de la realización de investigación de utilidad directa para la industria, cumple una función esencial como proveedora de mano de obra investigadora tanto para ella misma como para las demás instancias de la sociedad, lo cual es indispensable para la reproducción a largo plazo del potencial científico-técnico. En la mayor parte de los campos científicos, puros y aplicados, es mayor el número de tecnologías industriales para las que son importantes la preparación práctica y la capacitación adquiridas en las universidades, que el de aquellas en las que tiene relevancia directa la investigación académica (Archibugi y Michie, 1999).

En tercer lugar, la propia pluralidad de ramas de la ciencia que potencialmente configuran una Universidad hace que la capacidad concreta de proveer a la industria de personal técnico e investigador varíe enormemente según las ramas científicas implantadas y de su correspondencia con las especializaciones industriales de su entorno. La misma consideración es válida en lo que respecta a la actividad investigadora en sí misma. Existen universidades en las que predominan las especializaciones en ciencias humanas o en áreas profesionales (Derecho, Medicina, Psicología, Contaduría, etc.) que tienen poco en común con las necesidades de la innovación industrial.

- b) Asimetría de objetivos y criterios. En lo relativo a los criterios de evaluación de la actividad investigadora, que delimitan los objetivos y pautas de comportamiento de los agentes investigadores (individuos, grupos, departamentos) es fundamental retener su especificidad y autonomía con respecto a la industria.

En primer lugar, la definición de la "carrera académica" y la "lógica del *curriculum*" se establecen con criterios y valoraciones que parecen venir del propio medio científico e intentan medir el grado de novedad de los resultados publicados con respecto a la frontera científica mundial. Esto es una fuerza que distancia los objetivos inmediatos del investigador y los intereses a corto plazo de los empresarios. El primero deberá realizar sobre todo investigación básica pero las empresas, salvo unas pocas a nivel mundial, raramente están en condiciones de vender resultados de la investigación de punta; sus necesidades suelen ser mucho más específicas y no requieren tanta novedad científica. Esto resulta casi inevitablemente en una distancia temática y metodológica que se puede ver en casi todo el mundo, aun en los países con mayor tradición vinculadora.

Esta situación puede ser más preocupante en el caso de países como México. En la discusión general sobre la vinculación se destaca un problema nodal: las empresas no buscan tecnología sino solución a sus problemas, y esperan encontrarlas en las universidades. Hay diversas razones que acentúan las distancias. Una, porque los objetivos del campo científico tienden a situarse en niveles insuficientes para acometer la resolución de problemas industriales completos; dos, se ve muy influenciada por la evolución de la frontera científica marcada por los países más desarrollados -a cuyos medios de difusión intenta llegar- así la ciencia se distancia de una industria que en términos generales no tiene ninguna posibilidad de beneficiarse de forma directa de ese tipo de progreso científico y; tres, tampoco desde las industrias existentes se demanda la investigación en las ramas más desarrolladas. El efecto global es análogo a la "fuga de cerebros", la investigación realizada por éstos, en caso de comercializarse por alguien, lo será por parte de empresas de países desarrollados, esto genera por absurdo que parezca una "transferencia científica inversa".

Un elemento que pesa con mucha fuerza es la tendencia establecida por países desarrollados a generar una "pasión por la excelencia". En países como México ésta pasión es malentendida (en el tan criticado SNI) y va conformando un círculo vicioso donde la desconexión entre academia e industria conduce a que la investigación científica este desprovista de interés para la sociedad, para la industria o que incluso este desprovista de un fin para si misma.. Una parte de las actividades de investigación realizadas puede consistir en una simple repetición de ensayos banales que en realidad seria necesario considerar como "investigación inútil" o "no investigación". En su favor podría decirse que este tipo de actividades son típicas en unidades con medios tan escasos que les impiden superar el umbral mínimo de eficacia, o que los obliga a desperdiciar esos medios en repetir "curiosidades" ya conocidas (De la Peña, 1999 y 2000).

En segundo lugar, otro factor que provoca una contradicción profunda entre la lógica industrial y la universitaria es lo relativo a la publicación de los resultados. La "lógica curricular" exige la publicación y difusión lo mas amplia posible de los hallazgos de la investigación, lo que choca frontalmente con el necesario secreto industrial, una condición sin la cual no es posible la apropiación privada de los resultados. El carácter frecuentemente irreconciliable de las dos lógicas obliga al investigador universitario a optar por una de las alternativas: seguir la carrera como investigador "académico" o

continuar como investigador "industrial". Los elementos en juego afectan tanto a la remuneración (en general puede ser mayor la que recibe en la industria) como a la envergadura de los proyectos. La alternativa académica puede tener como contrapartida una carrera académica, un reconocimiento científico y una menor dependencia.

- c) Asimetría de los comportamientos y dificultad para la independencia del investigador universitario. Un tercer elemento que influye en la relación universidad-empresa es precisamente el costo de oportunidad entre la libertad investigadora y la servidumbre de los compromisos y de los plazos. Frente a la relativa libertad en la elección de proyectos de investigación de la que disfrutaban los investigadores universitarios se opone la concreta delimitación de objetivos perseguidos por la empresa que financia un proyecto o un contrato de investigación. A lo largo del periodo de investigación pueden verse en la obligación de aceptar "sugerencias" y cambios que la empresa considera oportunos. De igual forma, las restricciones de tiempo establecidas en el contrato deben ser respetadas independientemente de los imprevistos que pudieran ocurrir a lo largo del proyecto; en cambio en la investigación universitaria suele existir una mayor flexibilidad.
- d) Por último, es destacable la importancia de un factor global que afecta a todos los anteriores: la regulación institucional de la actividad investigadora y de las relaciones universidad-sociedad. La universidad y el sector productivo tienen regimenes diferentes y, por lo tanto, mecanismos de toma de decisión y de gestión muy diferentes. Debido al carácter público de la institución universitaria se impone una regulación estatal de su función, de su funcionamiento y gestión dentro de los márgenes de la autonomía que cada Estado le otorga. Para la problemática que se considera aquí, resulta particularmente importante la reglamentación de:

1. Las posibilidades de establecer contratos con entidades privadas;
2. Las modalidades de esa contratación;
3. Las condiciones para la misma.

Hasta hace relativamente poco tiempo la presión de la sociedad y de la industria sobre la investigación universitaria era poca, razón por la que en muchos casos no se contemplaba la posibilidad de realizar contratos con empresas privadas. En los años setenta y ochenta se produjo un cambio importante en la mayoría de los países. Por un lado, con la crisis económica y la crisis del "Estado de bienestar", se redujo el ritmo de aumento de fondos públicos para la Universidad, lo que obligó a modificar los criterios desde el interior de la Universidad y desde la legislación general. Por otro lado, la velocidad del cambio tecnológico y la creciente importancia de la investigación en el desarrollo de la producción industrial modificó las necesidades de las empresas. Y a su vez, los dos cambios anteriores provocaron un cambio en la política pública de financiamiento de inversión en I+D, que se fue convirtiendo en uno de los elementos relevantes de la política industrial. Todo ello tuvo como resultado un aumento del interés mutuo por incrementar los vínculos universidad-empresa (Didriksson en Sánchez, G., 1998).

Ese cambio exigió una serie de modificaciones del marco jurídico y el establecimiento de nuevos mecanismos institucionales que permitieran la existencia

efectiva de tales relaciones. Sin embargo, las formas concretas de reglamentación de las relaciones universidad-empresa varían enormemente entre los países e incluso entre las Universidades de un mismo país, lo que hace pensar que las variables específicamente institucionales y el entorno tienen un importante grado de autonomía.

- e) Un elemento de orden socio cultural e ideológico tiene mucha relación con el punto anterior. La dimensión que tiene el sistema universitario y la democratización de su funcionamiento, la relativa ruptura de las jerarquías, la modificación de los valores que consideraban un "santuario de la ciencia", la "nobleza de la ciencia" o el desprecio de ésta por las "actividades consumistas de las empresas", son cambios fundamentales en la cultura universitaria sin los cuales no se podría concebir una relación intensa con el sector productivo. Estos cambios no significan que haya desaparecido por completo la desconfianza a contratar con la industria, ni que esas sean las únicas razones para que ello no ocurra. Por el contrario, como se indicaba anteriormente, existen lógicas vigentes que conducen a ese rechazo, así como investigadores que resisten a esa relación con la industria por el miedo a convertirse en "dependientes" de las empresas y por las implicaciones que a largo plazo se pudieran presentar en la institución universitaria, particularmente por el progresivo abandono de la investigación básica, que es la que va abriendo nuevos horizontes científicos.

Este breve resumen de contradicciones y asimetrías entre la academia y la industria se han presentado con el objetivo de recalcar los obstáculos generales que se superan cuando se logra la vinculación y no para exacerbar las dificultades. En los casos en que logra concretarse la vinculación debe considerarse este conjunto de factores y valores, que no necesariamente deben verse como un paquete o una receta. En ocasiones se logran limar todas estas asimetrías, pero en otras, al superar sólo algunas de ellas es posible lograr algún grado de vinculación.

3. LOS NUEVOS MATERIALES, LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS Y EL SECTOR PRODUCTIVO

3. LOS NUEVOS MATERIALES Y LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS

Las "nuevas tecnologías" son actualmente un componente muy importante en el ámbito económico por su existencia casi omnipresente. Constituyen la parte fundamental de toda una revolución científico-tecnológica que impacta el ámbito productivo.

Una innovación tecnológica radical como la microelectrónica puede (y pudo) dar pauta a la formación de un sistema tecnológico como la automatización de la producción y al ampliarse, participó en el origen de la revolución científico-técnica de la informática que conocemos.

La revolución científico-técnica es un cambio radical en las relaciones de la ciencia con la técnica que impacta económica, política, social y culturalmente al conjunto de actividades humanas.

Las nuevas tecnologías son la frontera de aplicación del nuevo conocimiento en la revolución científico-técnica. Dentro de las consideradas como nuevas tecnologías se encuentran: la electrónica (que incide en otras ramas como en la informática); la biotecnología; las nuevas fuentes energéticas; las tecnologías espaciales y; los nuevos materiales.

En las últimas dos décadas el crecimiento económico de los países se ha estudiado atribuyendo mayor importancia a las tecnologías, pues éstas han dado una lógica de desarrollo diferente y aceleradora respecto a las prácticas anteriores.

En este paradigma de estudio se conforma un espacio abierto a la creatividad y para la toma de decisiones alrededor de lo que se llaman "nuevas tecnologías", las cuales se interrelacionan con ramas específicas y con la economía en su conjunto transformando su operación modificando los costos y la organización.

Alrededor de las nuevas tecnologías el rasgo predominante es la tendencia a aumentar el contenido de "información" en los productos, junto con el aspecto energético y de materiales. Esto se origina directamente del cambio radical y duradero en la estructura de costos relativos hacia el abaratamiento constante del manejo y transmisión de información.

El surgimiento de las nuevas tecnologías no es un fenómeno espontáneo, por el contrario, éstas requieren guiarse por objetivos diversos como: minimizar el tamaño, las partes móviles, los insumos de energía y materiales, replantear la relación con las formas de vida, así como el contenido energético en el uso.

Las nuevas tecnologías dan a los productos y servicios características especiales por su alto contenido de información, la maximización de este contenido se ha venido dando en toda una gama de bienes, desde relojes, calculadoras, cajas registradoras, dispositivos gráficos, hasta máquinas herramienta, automóviles y diversos medios de transporte. Las posibilidades de aplicación se extienden prácticamente en todos los aspectos de la vida cotidiana en una ciudad media y aun parecen estar lejos de estar plenamente explotadas.

Las mismas tecnologías nuevas dan origen a nuevos objetivos con rasgos también novedosos que guían el rumbo de la innovación a nivel de productos. Así, las necesidades se replantean y: lo pequeño se vuelve más hermoso y rentable que lo grande; lo versátil, lo compatible, lo adaptable es mejor que lo rígido. Un producto programable se considera mejor que uno específico; un producto capaz de crecer en forma modular agregando componentes es superior a uno de escala y potencial definidos y estáticos. La velocidad de operación de un producto es una variable fundamental. Todo producto capaz de formar parte de una red o constituir el núcleo o una parte de un sistema es mejor que un producto aislado. Y en particular cada nueva tecnología tiene su conjunto de características y rasgos específicos.

Esta nueva escala de valores se transmite a los usuarios (consumidores o productores) a través de la publicidad, con lo cual la demanda se convierte en un instrumento más de refuerzo del nuevo rumbo innovador.

Puede aceptarse la noción de una transición global hacia un modelo tecnológico ahorrador de materiales y energía mediante el procesamiento intensivo de la información, cuyo antecedente es un modelo que utilizaba extensivamente materiales y energía.

A continuación se presentan algunas características de las principales tecnologías consideradas como nuevas, y que han dado cuenta de su relevancia en el sistema económico.

a. Tecnologías de la información y comunicaciones (Originadas en la microelectrónica)

Dentro de las nuevas tecnologías una de las más difundidas o más notorias es la de la micro electrónica. La industria de componentes microelectrónicos y todas sus diversas aplicaciones han dado origen a diversas cadenas de tecnologías que han transformado el aparato productivo y aun más, a la sociedad en ciertos estratos. El conjunto puede ser visto como una gran sistema de tecnologías conformado por varios subsistemas (Cimoli, 1998).

El sistema tecnológico central se encuentra en lo referente a la industria de componentes microelectrónicos. Sus requerimientos de insumos, materiales especiales y equipos generan importantes demandas que implican nuevos desarrollos científicos y tecnológicos, pero también son parte de un fenómeno inverso.

La interacción con la creación de componentes cada vez más pequeños, más potentes y más baratos conforma una red de subsistemas. Uno de ellos, el de las computadoras²⁴, sigue varias trayectorias: una hacia equipos cada vez más poderosos, otra hacia equipos especializados, una tercera hacia productos básicos de uso individual, cada vez más versátiles y baratos y, finalmente, la interconexión entre diversos equipos en redes crecientemente poderosas, flexibles y complejas. Esto se conjuga con otro subsistema

²⁴ Esto se refiere a una generalización simplificadora, en realidad las computadoras sólo son parte de este conjunto de aparatos procesadores y almacenadores de información, que a finales de la década de los noventa tuvo una diversificación sin precedentes

tecnológico construido alrededor de las telecomunicaciones digitales para la transmisión - y ahora interacción - de información en cualquier forma, ya sea voz, datos, imagen o las posibles combinaciones. La mutualidad en las actividades de estas trayectorias impulsa a otras ramas más tradicionales, desde la industria de la televisión que se dirige a la transmisión por cable interactivo, pasando por la revolución en los servicios bancarios y financieros, hasta la idea de internet móvil.

En el interior de la dinámica de estas tecnologías se encuentra también la industria del software y las concepciones de inteligencia artificial que se retroalimentan constantemente.

El impacto más significativo de estas tecnologías se encuentra en los costos de transacción que se han visto reducidos a niveles tales que dan la oportunidad de generar un mercado virtual con costos de búsqueda casi nulos. Por otra parte, abren un campo de acción que nuevamente otorga un rol importante a empresas pequeñas al replantearse el tamaño mínimo eficiente gracias a la posibilidad generada por los sistemas de mercadeo en línea.

b. La biotecnología

Aparte de la microelectrónica, la biotecnología es la única, entre las nuevas tecnologías claramente reconocibles hoy, cuyo potencial revolucionario es indiscutible. La fuente de ese potencial comienza con la ingeniería genética, la cual implica un salto cuántico frente al desarrollo anterior de biotecnología²⁵ y la modifica cualitativamente tanto en sus técnicas como en la amplitud del espectro de sus aplicaciones. En efecto, el poder manipular la información genética para crear organismos "nuevos" y colocar las fuerzas que guían el metabolismo de la vida al servicio de la producciones dio un salto tecnológico de proporciones difíciles de prever.

Sin embargo, a pesar de los grandes logros científicos, en cuanto a su mercantilización esta nueva tecnología esta aun en su temprana infancia. Si se hace una analogía con la evolución de la microelectrónica, podría decirse que la biotecnología se encuentra en la fase de las válvulas. Es decir, se ha comprobado la aplicabilidad de los principios teóricos básicos, sobre los cuales se desarrollaron las primeras innovaciones²⁶, se han establecido trayectorias de desarrollo y se han identificado una amplia gama de aplicaciones. A partir de este punto surgen sistemas tecnológicos de crucial importancia económica, pero aun dominados por la microelectrónica.

Esto significa que, a pesar de su impacto sobre ciertas ramas y actividades, se puede pensar que pasará todavía algún tiempo antes de que el potencial revolucionario que implica la ingeniería genética se consolide, teniendo costos muy reducidos e impactando masivamente sobre el conjunto de la economía.

²⁵ Centrada anteriormente en la industria vinícola y panificadora

²⁶ Incluso la clonación de la oveja Dolly no es el límite concebido en las aplicaciones posibles, que se extienden al reino vegetal y aún al mineral.

Hay al menos tres factores que limitan el desarrollo expansivo de la biotecnología. En términos de codificación de conocimiento, comparada con la física y la química, la biología es una ciencia mucho menos desarrollada, su objeto es más difícil de estudiar y sus descubrimientos menos generalizables. Esto conlleva inevitablemente la necesidad de plazos relativamente largos de adquisición, sistematización y puesta a prueba de los conocimientos²⁷. En los bioprocesos se está todavía en la fase de solución de problemas técnicos básicos, por lo cual los costos son todavía muy altos y, en la mayoría de los casos donde hay suplementarios, no representan competencia real.

c. Las nuevas fuentes energéticas

Dentro de este grupo se incluyen las energías solar, eólica, nuclear, el gas natural y la biomasa.

A raíz de la crisis energética de los ochentas inicia una búsqueda de soluciones a la escasez. Inicialmente, estas soluciones se hallaron en el desarrollo de fuentes alternas, dejando en segundo plano la conservación, como una idea de mediano plazo. Las posibilidades de ahorro de energía habían existido desde mucho tiempo atrás pero, en términos generales, la energía era demasiado barata para preocuparse por su consumo y no era rentable invertir para hacer más eficiente su uso.

Las investigaciones al respecto se desaceleraron al reducirse los precios del petróleo y al asegurarse el suministro de hidrocarburos por varias décadas. Una vez estabilizado el carácter de urgencia que motivó los esfuerzos originales para desarrollar las nuevas fuentes, las posibilidades de difusión de cualquiera de ellas será determinado por su capacidad para mostrarse claramente competitiva con las fuentes tradicionales y para integrarse al sistema energético dominante.

En el sector energético, al igual que en el resto de la industria, la informática y las telecomunicaciones están transformando los métodos de exploración, extracción, transporte y procesamiento, reduciendo el nivel de riesgo, elevando la precisión y aumentando la eficiencia en cada fase de actividad. Esto se traduce en una constante estabilidad de los costos de producción de las fuentes tradicionales, dificultando la competitividad de las fuentes alternas.

Sin embargo, hay otra tendencia en curso en el área de distribución eléctrica, la cual actúa a favor de la diversidad de fuentes y en cierta forma concentra el mayor impulso al cambio en el patrón de generación energética.

d. La ciencia de los materiales

La ciencia de los materiales surgió después de la Segunda Guerra Mundial, como respuesta a la necesidad de producir materiales con propiedades especializadas.

²⁷ Al menos hasta el momento, no hay la posibilidad de acelerar el tiempo normal de gestación de animales.

Desde el punto de vista teórico, la ciencia de los materiales es un conjunto coherente de disciplinas científicas e ingenieriles, que relaciona los arreglos de los átomos de la materia con las propiedades macroscópicas de ésta. El conocimiento resultante se utiliza para satisfacer las necesidades de la sociedad en el campo de los materiales.

Los primeros intentos de modificar científicamente las propiedades de la materia se remontan a principios de este siglo, cuando los conocimientos de cristalografía, estado sólido y física atómica convirtieron el arte de la metalurgia en ciencia.

Los éxitos obtenidos en la producción de nuevos aceros empezaron a extenderse a los materiales como los polímeros y las cerámicas, obligando a crear un conjunto de estudios que permitieran la capacitación de personal especializado en controlar las propiedades de la materia. Se abrieron así licenciaturas y estudios de posgrado en la ciencia de los materiales en diferentes universidades de los países industrializados, destacando Japón en primer lugar y los Estados Unidos de Norteamérica.

i. Los nuevos materiales y la actividad económica

La creación y utilización de los nuevos materiales comenzó a tener una tasa creciente después de los años setentas, cuando se empezó a pensar en el eventual agotamiento de las materias primas que dieron sustento a las principales potencias económicas.

A partir de los años ochenta se aceleraron investigaciones para aumentar la productividad y la eficiencia de los recursos naturales no renovables, los materiales que tuvieron algunas de las más evidentes repercusiones fueron los metales tradicionales como el cobre, el zinc o el estaño.

Se encuentra así en estos años el inicio de una tendencia a sustituir los materiales tradicionales por nuevos materiales. Esta tendencia ha resultado ser tan grande incluso como para crear nuevos sectores tecnológicos a partir del diseño y la aplicación de nuevos materiales. A pesar de que las áreas para las que se han desarrollado en su mayoría son muy específicas e involucran usos nuevos, los materiales creados cuentan con capacidades que rebasan o al menos satisfacen con eficiencia condiciones de operación en aplicaciones que pertenecían con explícito reconocimiento a materiales tradicionales.

La investigación de materiales aumentó de manera importante a partir de la Segunda Guerra Mundial. Entre los principales estímulos que la creación de nuevos materiales recibió estuvieron la producción de armamentos, la industria aeronáutica, la carrera espacial y el desarrollo de la ingeniería nuclear, así como los nuevos retos que se presentan debido al aumento en los costos de la energía.

En las investigaciones destaca la búsqueda de propiedades específicas orientadas a lograr la eficiencia global de los procesos, se incide así en aspectos como la resistencia a las altas temperaturas, la resistencia mecánica, la resistencia a la corrosión, así como una mayor eficiencia energética, a la par de reducciones en la densidad y en peso, o bien, capacidades conductoras ampliadas, texturas, transparencia, etc..

Estas características se han logrado obtener por combinaciones y procesos que no pueden ser agrupados muy fácilmente en categorías, ya que sus orígenes y propiedades son muy diversas y las fronteras entre ellas son poco claras y tienden a confundirse cada día más. A pesar de lo anterior, si se atiende a aspectos muy generales pueden proponerse algunas categorías, distinguiendo entre **materiales cerámicos, polímeros, o compuestos y las aleaciones metálicas** como el Zinalco. Cabe la posibilidad de que hacer esta clasificación no sea siempre práctico o deseable porque algunos materiales “caen” en más de una categoría o no pueden ubicarse claramente dentro de alguna.

Los materiales también pueden ser clasificados de acuerdo al proceso o función, además de por su composición. Algunos ejemplos de categorías funcionales específicas son los semiconductores, superconductores y los materiales con memoria de forma²⁸. Los superconductores pueden ser metales o cerámicos. Los materiales con memoria de forma son usualmente aleaciones metálicas, pero otros tipos que se han desarrollado a últimas fechas son mas bien plásticos.

CERÁMICOS

Esta clase de materiales incluyen a aquellos sólidos no metálicos que son inorgánicos y se usan o procesan a muy altas temperaturas. Cuando se habla de este tipo de materiales, frecuentemente se piensa en vajillas, muebles sanitarios, azulejos, o figuras de porcelana, etc., la mayoría no conoce las otras aplicaciones de alta tecnología de las variantes con óxidos, carburos, y nitruros que tienen un gran potencial industrial, entre los materiales cerámicos se encuentran algunos cristales, el grafito y el cemento (concreto).

Estos materiales son muy resistentes a las altas temperaturas; dentro de los materiales son los que en conjunto tienen un mayor punto de fusión. Los materiales cerámicos son muy resistentes a la comprensión de los cuerpos y al ataque de las sustancias químicas no básicas, son malos conductores térmicos y eléctricos, esto último los ha convertido en aislantes fundamentales.

Los cerámicos tradicionales están formadas por silicatos naturales, pero los cerámicos avanzados como el nitrato de silicio y el carbonato de silicio se obtienen a través de la fundición y la compactación de silicio, oxígeno y otros compuestos químicos después de procesos sofisticados que implican temperaturas extremadamente elevadas.

El uso de los materiales cerámicos es cada vez más específico, sin embargo, si se considera a la fibra óptica como un material dentro de esta categoría, entonces ocurre lo contrario, pues la tendencia marcada por las telecomunicaciones parece hacer de este material uno de los mas requeridos.

²⁸ O memoria de estructura, como las aleaciones de Aluminio-Cobre-Berilio

POLÍMEROS

Los polímeros tienen sus orígenes en el desarrollo de sintéticos derivados del petróleo. Si como antes se mencionó, los cerámicos son los materiales menos generalizados, entonces los polímeros son su antítesis. Han tenido un crecimiento sin igual en las pasadas dos décadas debido a que su fabricación y los procesos que implican son muy sencillos en general, además, presentan un bajo peso y pueden tener distintas capacidades físicas y químicas, a veces extremas.

Entre los polímeros se hallan los plásticos y las gomas sintéticas, estos como es bien sabido tienen sus aplicaciones más importantes en empaques, envases, en la construcción, la fabricación de automóviles, y prácticamente en toda la industria electrónica. Sus características le han permitido sustituir aplicaciones propias del acero, el cobre, el zinc, el estaño o el aluminio.

Los materiales de este grupo en especial tienen como característica común el tener enlaces covalentes. En un extremo de la balanza se encuentran los polímeros lineales, en los que moléculas simples -generalmente del grupo carbono-hidrógeno- se unen en cadenas muy largas por fuertes enlaces covalentes. Los polímeros nunca son totalmente cristalinos, y son la base de maderas y plásticos térmicos.

Del otro lado de la balanza están los polímeros de sistema cerrado en los que moléculas covalentes tridimensionales son formadas por polimerización de monómeros. Junto con los plásticos, los polímeros son la base de las pinturas, de los elásticos (ligas), y de las fibras sintéticas industriales.

COMPUESTOS

Este tipo de materiales surgen más como un efecto que como algo planeado. Tienen su origen como parte de los nuevos procesos; los materiales compuestos a diferencia de las aleaciones metálicas, mantienen las propiedades de los materiales combinados.

En el caso de estos materiales un material es tomado como base, y por medio de soldadura, electroformado o compactación se infiltran otros materiales orgánicos o inorgánicos. Los ejemplos más claros de estos están en las matrices de plástico reforzadas con fibra de vidrio, cuyo resultado es un material liviano y resistente, que permitió reducir a más de la mitad el peso de estructuras. Otro buen ejemplo es el de los compuestos de fibra de carbono mezclada con metales como el titanio o el aluminio, ampliamente usado en los deportes.

ALEACIONES METÁLICAS

Estos materiales son resultado tanto de avances en combinaciones de minerales como de nuevos procesos.

En primer lugar está, el control de la velocidad de enfriamiento y solidificación, con lo que se consiguió modificar la microestructura de los materiales y las propiedades asociadas a

éstas, como en el Zinalco, las superaleaciones y los aceros de alta resistencia. Con estos controles se obtienen materiales de mayor resistencia al esfuerzo mecánico y de distinta respuesta a la temperatura, lo que implica mayor eficiencia y vida útil.

Por otro lado, se encuentra la reducción en el peso; en esto los aceros de alta resistencia han sido un éxito, pues han impactado en la construcción y en la industria automotriz. Aunque estos materiales suelen ser más costosos, permiten hacer máquinas más eficientes, permitiendo un menor consumo de combustible. A esta reducción de combustible se suma también una disminución de las pérdidas energéticas en la fundición, especialmente en los metales " vidriosos " pudiendo sustituir aleaciones de hierro y silicio en la manufactura de transformadores.

Algunas de las aleaciones consideradas como nuevos materiales tienen como origen un grupo de metales que no son precisamente nuevos, pero cuya aplicación práctica es más reciente. Entre estos metales se encuentran el zirconio, el hafnio o el berilio; utilizados en la ingeniería nuclear, solos o como aleaciones. Otro grupo se dedica a la fabricación de aceros como el molibdeno, el vanadio y el tungsteno.

Aparte de los metales empleados en ingeniería nuclear y en la fabricación de aceros, hay un tercer grupo, conformado por los metales livianos.

Entre los metales livianos el más difundido es el aluminio. Al desarrollarse procesos electrolíticos capaces de producir aluminio puro a costos relativamente bajos a principios del siglo, fue posible que este metal, liviano y de buena conductividad eléctrica por unidad de peso, se introdujera exitosamente en diversos sectores productivos como la industria de envases, la automotriz, la industria aeroespacial y la fabricación de insumos eléctricos, por mencionar los más importantes. Este éxito puede atribuirse también al alto grado de concentración de la oferta y su integración hacia las etapas de producción de bienes de consumo final, ya que facilitó la implementación de programas de promoción y creación de nuevos usos y la prevalencia de precios estables y competitivos, impactando a metales como el hierro, el cobre y el estaño.

Esta concentración ha ido disminuyendo relativamente y se ha dado a la par del alza en los costos de la energía, que es uno de los insumos principales para la obtención del aluminio impactando negativamente sus ventajas. Por ejemplo, el ratio entre los precios del cobre y del aluminio pasó de 2.69 en 1974, a sólo 1.11 en 1984.

Otro metal liviano es el magnesio, que se emplea fundamentalmente en aleaciones de aluminio, y como material estructural en la industria automotriz.

SEMICONDUCTORES

Esta es una categoría especial de material inorgánico no metálico. Son aislantes en los que la brecha de energía entre la valencia que posee el electrón y el estado que requiere el electrón para conducir electricidad es mucho menor que en los aislantes convencionales y pueden ser conectados por inducción térmica o incorporando bajos niveles de impurezas con el estado del electrón en la brecha.

Los materiales de este tipo con mayor demanda son el germanio, el selenio, el galio y principalmente el silicio. Con el silicio se fabrican los microprocesadores y otros dispositivos electrónicos; en este material se han centrado múltiples estudios para controlar su estructura y proceso de fabricación, esto ha permitido su difusión como materia prima fundamental también en la elaboración de paneles solares.

ii. El camino de la sustitución: la importancia de los nuevos materiales

En muy diversas formas, la creación y difusión de nuevos materiales ha llevado a estos a ocupar mercados que por muchos años fueron exclusivos, principalmente de metales tradicionales.

Uno de los ejemplos más claros se ha dado en la industria del cobre, donde los principales sectores tradicionalmente basados en este metal han sufrido gradualmente la inserción de los plásticos, el aluminio y la fibra óptica, por mencionar sólo algunos materiales.

El mayor desplazamiento del cobre se ha producido en ciertas áreas del sector eléctrico. Una de ellas, es la de las comunicaciones a distancia, con alta densidad de mensajes/información. Allí se ha preferido la fibra óptica por sus capacidad para transmitir grandes volúmenes de información. A partir de la década de los noventa ésta se ha constituido como parte importante del sistema de comunicaciones a distancia entre países y al interior de algunos de ellos. Sin embargo, dado que este tipo de uso representa menos del 10 por ciento del cobre consumido en telecomunicaciones, el impacto puede ser graduado. Aunque podría ser distinto si la fibra óptica penetrara el sistema domiciliario, que consume el resto del cobre. Aunque esto es poco probable, pues el alto costo de la fibra óptica sólo justifica su uso en aquellos casos en que se requiere manejar un gran volumen de información.

La otra área es la transmisión de energía eléctrica desde las fuentes de generación a los sistemas de distribución que generalmente implica el tendido aéreo de cables. En este caso, aunque el cobre es el mejor conductor por unidad de diámetro, el aluminio es preferido por ser más liviano, representando una menor inversión en torres de soporte.

La construcción es el segundo sector que más insume cobre -después del eléctrico-, en éste, la sustitución se ha producido en las tuberías de agua potable y calefacción²⁹ y en la red de energía domiciliaria. Las tuberías plásticas y los cables de aluminio han ganado terreno al cobre, aunque la menor resistencia a la presión y al calor de las primeras y el mayor riesgo de incendio de los segundos, han desacelerado la sustitución. En ambos casos, el cobre tiene además la ventaja de requerir una instalación mas sencilla y menos intensiva en mano de obra.

Otro sector donde el cobre ha sido sustituido por el aluminio debido a su menor peso es en la fabricación de radiadores para automóviles, también, habida cuenta de su menor eficiencia en términos de su conductividad térmica.

²⁹ Como en las válvulas de gas hechas con Zinalco que se mencionarán mas adelante

Si a la sustitución sufrida por el cobre en la áreas mencionadas agregamos además la reducción del consumo por unidad producida -a través de los procesos de miniaturización en la electrónica, la reducción de espesores en la fabricación y otros-, se explica que la intensidad en el uso (un indicador de la relación entre el crecimiento económico y el consumo de metales) del metal haya caído entre 1970 y 1982 un 20.8 por ciento. A la par, la tasa de crecimiento ha ido cayendo progresivamente. Entre 1954 y 1964 fue de 6 por ciento anual, en la década siguiente 1964-1974 descendió a 3.3 por ciento; mientras que entre 1974 y 1984, ésta apenas alcanzó el 1.6 por ciento.

Un caso más extremo es el del estaño, cuya intensidad de uso cayó entre 1970 y 1982 en 35.7 por ciento, en tanto la tasa de crecimiento de su consumo en el periodo 1954-1964 fue de 3.6 por ciento, en el siguiente, 1964-1974, de 0.9 por ciento y en la década de 1974-1984 de 0.9 por ciento. En este caso, el consumo ha caído en términos absolutos, tanto por efecto de la sustitución como por la reducción del estaño consumido por unidad producida (Ceceña y Barreda, 1995 y Gobierno de Australia³⁰).

La sustitución se ha producido fundamentalmente en el mercado de la hojalata para envases de alimentos y bebidas. Los materiales sustitutos son el aluminio y los plásticos. El menor consumo en este rubro en países miembros de la OCDE da cuenta de más del 50 por ciento de la caída registrada en el consumo total de estaño (Drexel, 1999³¹).

El otro sector de importancia, la industria electrónica, que utiliza estaño en forma de soldadura, ha disminuido su consumo a consecuencia de la miniaturización.

Así la tendencia aunque sea menos intensa que en el estaño muestra que la sustitución es un elemento que se encuentra presente en el comportamiento de, prácticamente, todos los metales tradicionales.

Los motivos son variados: el mayor costo relativo y la inestabilidad de los precios del cobre fueron fuertes estímulos en la sustitución por aluminio y plásticos. sin embargo, los costos relativos de los materiales no siempre son el factor fundamental en la sustitución. En general, la mayor eficiencia producida u obtenida en el proceso total es el criterio básico que hay tras el desarrollo de nuevos materiales y la selección de materias primas. El estaño fue sustituido por el aluminio en la fabricación de envases en parte debido a que el reciclaje de este último es más sencillo y consume menos energía. El peso y su efecto sobre el consumo de combustible ha sido también un factor importante en la selección de materias primas en la industria automotriz.

El impacto neto que ha tenido la aparición de nuevos materiales en el consumo de los metales tradicionales no es del todo claro. Si bien se observan procesos de sustitución significativos, también es cierto que aparecen nuevos usos y que la reducción de costes general incentiva un mayor consumo de los distintos productos. Además, el desarrollo de nuevos materiales a partir de nuevos procesos, como es el caso de los aceros de alta

³⁰ <http://www.anl.gov/LabDB/Current/Ext/M115.html>

³¹ http://arvind.coe.drexel.edu/other_links.html

resistencia o los metales superplásticos, crean una nueva demanda para los materiales tradicionales mejorando su competitividad.³²

Sin embargo, a final de cuentas nadie puede decir con certeza que parte de la caída en el consumo de los metales corresponde específicamente a la sustitución.

Cuadro 3

Crecimiento mundial del consumo de los principales metales				
Metal	1951-1959	1964-1974	1974-1979	1979-1983
Hierro	6.2	4.5	0.1	-1.4
Aluminio	9.2	8.4	3.0	-1.1
Cobre	4.7	2.9	3.5	-1.9
Plomo	4.1	2.8	4.4	-1.9
Zinc	4.9	3.8	1.1	-0.8
Estaño	1.0	1.2	-0.8	-2.0
Niquel	6.2	5.7	1.9	-2.3

Fuente: Ominami

La crisis en los años ochenta tuvo un efecto depresivo sobre el consumo de minerales en términos absolutos, ya que hay una relación directa entre el consumo de metales y la actividad económica, y en específico la industrial. Atendiendo a esto, podría esperarse que, en la medida en que la actividad económica recupere una senda de crecimiento, la demanda acompañará el proceso, lo cual en cierta forma ocurre.

Pero hay un segundo conjunto de factores, cuyos efectos trascienden la duración de la crisis y que se encuentran presentes en la tendencia declinante expuesta. Estos factores afectan la intensidad de uso de los metales -que conecta la relación entre el crecimiento económico y el consumo de metales- y son de carácter estructural e irreversible.

Cuadro 4

Evolución de la intensidad de uso de metales 1970-1982				
Metal	Países Des.	EE.UU	Europa Occ.	Japón
Estaño	64.3	56.2	64.6	69.1
Niquel	76.9	61.5	88.3	73.7
Zinc	78.5	61.0	84.9	75.9
Cobre	86.4	74.8	88.4	97.7
Plomo	97.0	88.5	95.6	117.7
Aluminio	110.5	98.8	116.8	122.2

Fuente: Ominami

Se percibe en general, en efecto, una caída en las intensidades de uso de los metales tradicionales, como consecuencia de las tendencias tecnológicas. Estas se expresan no sólo en la sustitución de materiales más eficientes, sino, además, en la reducción general del

³² Este resultado paradójico se ejemplifica claramente en el Zinalco, que a pesar de sustituir algunas aplicaciones de metales tradicionales, mantiene una proporción importante de cobre y zinc.

consumo de metales por unidad producida, ocasionada por la disminución de tamaños y espesores, llegando al extremo de la eliminación del material como en la comunicación inalámbrica o celular.

Pero los efectos del avance tecnológico se extienden aun más. Además de lo mencionado existe un fenómeno tras las cifras de consumo y que afecta los niveles de producción de minerales: el reciclaje. El consumo abastecido a partir de material secundario depende del material y de las condiciones de su uso; en el caso del cobre se llega hasta el 50 por ciento.

En una conclusión aventurada no se puede emitir un juicio definitivo en torno al impacto neto de los nuevos materiales sobre los metales tradicionales, pero la tendencia de la innovación es clara: disminuir la intensidad de su uso.

ii. La ciencia de materiales en México

En México, los primeros esfuerzos por implantar estos estudios se realizaron a partir de 1965, cuando en la escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFyM) del IPN se inició la Maestría en Ciencia de los materiales, con planes de estudio similares a los de las universidades de E.U.A..

Muchos estudiantes de la institución en esta especialidad contaron con la oportunidad para desarrollar y realizar investigaciones en campos de la física diferentes a los que "estaban de moda" en México por aquella época. Como resultado, buena parte de los estudiantes realizaron estudios de posgrado en el extranjero y a principios de la década de los años setentas se incorporaron a instituciones como el Instituto de Física, la ESF y M y el Centro de Investigaciones en Materiales de la UNAM³³, concebido específicamente para el desarrollo de esta disciplina.

El Zinalco significó un cambio muy importante para la ciencia de materiales, pues se convirtió en un promocionado éxito de la ciencia aplicada en la industria, que se difundió profusamente tanto en la UNAM como en el ámbito académico. Este hecho dio un impulso al IIM y a la ciencia de materiales mexicana.

³³ Hoy Instituto de Investigación en Materiales (IIM)

4. LA INNOVACIÓN Y LA VINCULACIÓN EN EL ZINALCO

a. ASPECTOS TÉCNICOS GENERALES

El Zinalco debe ubicarse dentro de la categoría de lo que se llaman *nuevos materiales*. Sus capacidades y características de desarrollo son las propias de un *material de diseño*.

En la innovación Zinalco a raíz de estudiar las propiedades de dos materias primas nacionales- el cobre primero entre 1972 y 1976 y el zinc después a partir de 1977-, se logró elaborar un nuevo material que brindó la oportunidad de encontrar nuevos campos de desarrollo.

Los estudios se iniciaron alrededor de 1973, en el Instituto de Investigaciones en Materiales, con el objetivo de contribuir al conocimiento de estas materias primas nacionales, en virtud de que empezaban a presentarse señales de debilitamiento en cuanto a su uso, por efecto de la sustitución que se estaba realizando en todo el mundo con aluminio y plásticos.

La aleación Zinalco representa un logro de vinculación tecnológica después de años de investigación y cooperación entre empresas e instituciones, encabezadas por el Instituto de Investigación en Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México y el Grupo Falmex-Galvotec³⁴.

Cuadro 5

Temperatura de fusión	421 a 481° C.
Densidad	5.4 gc.c.
Módulo elástico	110 a 130 G.Pa.
Conductividad eléctrica	37% del Cu
Conductividad térmica	37% del Cu
Coefficiente de expansión térmica	25 micrómetros/ mm k
Color	Blanco grisáceo

Fuente: Torres G. (1987)

En el Zinalco tres metales - Zinc, Aluminio y Cobre - se unen para crear uno nuevo con mejores y nuevas características a las de sus componentes originarios.

³⁴ Que se relacionaron con otras instituciones a lo largo de la producción y mercantilización del Zinalco

Cuadro 6
Participación de México en la producción minera mundial 1997-1998

Lugar	1997	%
1°	Plata	17
	Celestita	42
	Bismuto	40
2°	Fluorita	13
3°	Grafito	7
4°	Arsénico	7
5°	Antimonio	2
	Cadmio	6
	Barita	5
	Plomo	6
6°	Zinc	5
	Molibdénio	4
7°	Sal	4
	Manganeso	3
8°	Yeso	4
9°	Azufre	2
	Cobre	3

Fuente: Dirección General de Minas. SE

El Zinalco es una aleación basada en zinc, del cual México es uno de los primeros productores del mundo (ver cuadro 6). Su resistencia mecánica³⁵ es semejante a la del acero estructural³⁶, aunque posee una densidad 35% menor que la suya, y su resistencia a la corrosión atmosférica es parecida a la del aluminio. Una de las propiedades más sorprendentes de esa aleación es su superplasticidad, gracias a la cual es posible moldearla con técnicas empleadas en plásticos a 250° C., y se comporta con resistencia como la del acero debajo de los 100° C. (TORRES G., 2000).

Alta resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y superplasticidad son las principales características de este nuevo material, mismas que lo convierten en una aleación que puede usarse para fabricar una gran variedad de productos a través de procesos convencionales de transformación, sustituyendo a otros materiales tales como latón, bronce, zamak, aluminio, fierro gris, e inclusive acero en aplicaciones particulares.

i. Propiedades físicas

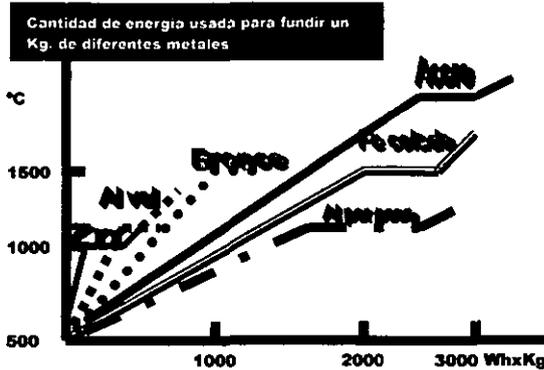
Las principales propiedades físicas del Zinalco se muestran en el cuadro 5. Como podemos notar de este cuadro, la aleación tiene un intervalo de solidificación bastante amplio que va desde 421 a 481 ° C, esto permite inyectar el material en los moldes, en un estado

³⁵ En general los metales tienen las siguientes propiedades: dureza o resistencia a ser rayados; resistencia longitudinal o resistencia a la rotura; elasticidad o capacidad de volver a su forma original después de sufrir deformación; maleabilidad o posibilidad de cambiar de forma por la acción del martillo; resistencia a la fatiga o capacidad de soportar una fuerza o presión continuadas y ductilidad o posibilidad de deformarse sin sufrir roturas.

³⁶ Conocido como SAE 1040

cuasilíquido lo cual reduce notablemente las contracciones producidas durante la solidificación.

Figura 7



La curva Zn es el Zinalco; la curva Al en vol. muestra la energía requerida para fundir un volumen de aluminio equivalente a un Kg de Zinalco

El bajo punto de fusión de esta aleación en comparación con el del aluminio, latón, bronce o hierro de fundición permite ahorros considerables de energía. La fig. 7 da una idea del consumo de energía requerido para fundir el Zinalco, el hierro, el bronce y el aluminio. Puede notarse que el Zinalco requiere de 150 Wh/Kg mientras que el mismo volumen de aluminio requiere cerca de 400 Wh/Kg.

El Zinalco casi funde con el doble de rapidez que el aluminio y tres veces más rápido que el bronce.

La densidad de la aleación, la coloca en una posición intermedia entre el acero y el aluminio, comparativamente es 18% más ligera que el Zamak, la cual es la aleación más conocida del zinc, 30% mas ligera que el latón. Su coeficiente de expansión térmica es muy similar al del aluminio. Este coeficiente tiene importancia, en el caso de perfiles para ventanas o fundición de precisión.

ii. Propiedades mecánicas

Como en todos los materiales las propiedades del Zinalco dependen de su microestructura la cual consiste en una mezcla de dos fases, una fase alfa rica en aluminio y otra beta, rica en zinc. Esta estructura bifásica aparece siempre en el metal a temperatura ambiente, no importando el tratamiento térmico previo, los cambios son más bien en la geometría de las fases. Un tratamiento térmico de enfriamiento lento desde arriba de los 275 ° C, da por resultado una estructura perlítica similar a la del acero. El temple desde la misma temperatura produce una estructura de granos finos equiaxiales. Esta microestructura de dos

fases tiene una energía de cohesión relativamente baja, lo cual provoca que el mecanismo de deformación sea por deslizamiento de una fase sobre otra sin sufrir deformación plástica alguna de las fases.

Este mecanismo que en los metales comunes se observa sólo cerca del punto de fusión, es el mecanismo principal con el cual el Zinalco se deforma a temperatura ambiente. Esto da como resultado una serie de fenómenos muy singulares, como el de no sufrir endurecimiento por deformación, efecto común en todos los metales. La temperatura tiene un gran efecto sobre las propiedades mecánicas, ya que la fuerza de cohesión que une los granos del material decae muy rápidamente con la temperatura, esto se traduce en una fuerte disminución del esfuerzo de tensión y al mismo tiempo en un impresionante aumento de la ductilidad. Este comportamiento limita sus aplicaciones a aquellas en las que la temperatura de trabajo no sobrepase los 100 ° C.

Las dos principales microestructuras que puede presentar el Zinalco: perlita y granos finos, proporcionan una gran gama de propiedades mecánicas, las cuales se han resumido en los cuadros 7 y 7 bis.

Cuadro 7

Zinalco I				
	Fundición en arena	Fundición inyección	Extruido 270-300° C.	Laminado
Resistencia a la tensión (Mpa)	290-300	310-320	380-410	270-290
Esfuerzo de cedencia (MPa)	280-300	290-310	280-320	300-310
Deformación Máxima (%)	3 a 5	8 a 10	30-35	80-100
Dureza Rb	50-55	60-65	40-55	25-30

Los dos tipos de Zinalco que aparecen en los cuadros 7 y 7 bis corresponden a aleaciones con diferentes contenidos de Mg. El Mg tiene la propiedad de aumentar la resistencia mecánica del Zinalco y mantener sus propiedades a más altas temperaturas, a costa de perder ductilidad a temperatura ambiente. La razón es que el Mg, retrasa la transformación eutectoide posiblemente por la aparición de una fase "B" rica en Mg, detectada en las fronteras de grano. El Zinalco II es el más apropiado para ser usado en fundición, especialmente fundición a presión.

Cuadro 7 bis

Zinalco II		
	Fundición en arena	Fundición inyección
Resistencia a la tensión (Mpa)	350-390	400-420
Límite elástico	260-270	340-370
Deformación Máxima (%)	5 a 8	6 a 10
Dureza Rb	65-80	55-70

Las primeras aleaciones de zinc y aluminio se encontraron a mediados de los años setenta en la International Lead Zinc Research, que combinaban en distintas proporciones los dos metales.³⁷

Lo que se buscaba originalmente en la investigación era estudiar las propiedades del cobre originalmente y del zinc para exponerlas con la esperanza de que alguien pudiera aprovecharlas, sin embargo, la investigación llevo a la creación de una nueva aleación con características superplásticas.

iii. La opción de la sustitución del aluminio: origen y antecedentes

Los primeros avances para lograr la aleación Zinalco se basaron en un grupo de aleaciones previamente explotadas, las cuales se conocen genéricamente como "aleaciones Zn-Al".

El aluminio en México, como en la mayoría de los países latinoamericanos es un producto de importación. Su uso es tan extenso, que ha logrado ocupar junto con el acero un lugar vital en el desarrollo industrial.

En México existe un problema en la producción de aluminio, pues el país no dispone de bauxita y además la energía eléctrica tiene un alto costo. La carencia de bauxita en México, ha obligado al país a importar aluminio o alúmina para ser transformada en aluminio. Sin embargo, el aluminio transformado a partir de alúmina resulta ser en promedio 22 por ciento más costoso que el importado, debido principalmente al alto costo de la electricidad (Torres 2000).

A partir de estos hechos se pensó en la posibilidad de sustituir las aleaciones ricas en aluminio por aleaciones ricas en zinc, en aquellos casos en que la ligereza no es un factor importante, como es el caso de las aplicaciones en la construcción, las cuales consumen aproximadamente el 60 por ciento.

Este hecho expresa una alta dependencia para la industria. El problema en si no es la escasez de aluminio, sino el poder contar con éste bajo condiciones aceptables en función de los costos y de la demanda creciente del producto.

El zinc es un material muy abundante en México³⁸, del que se tienen excedentes importantes anualmente. De una producción aproximada de 280,000 toneladas³⁹ sólo se utilizan 70,000 toneladas, las restantes 210,000 toneladas se venden a la mitad del precio del aluminio, sin contar los concentrados de zinc, que también son exportados.

³⁷ Posteriormente, en 1980, cuando ya se contaba con el Zinalco surgió una nueva aleación con 27% de aluminio, mientras que el Zinalco tenía 22%. Al realizar comparaciones se pudo observar que el Zinalco tenía mayores ventajas. Las aleaciones presentadas eran sólo para fundición, no se podían extruir, no eran para laminar porque la presencia de más cobre y más aluminio provocaba la aparición de unas fases cristalinas muy frágiles, que además cambiaban mucho el volumen, cosa que no ocurre con el Zinalco.

³⁸ En 1997 México se situó en el 6º lugar en la producción mundial de zinc, con una participación de 5 %; y en el 9º lugar en producción de cobre, con 3% del total mundial.

³⁹ Como un promedio entre 1981 y 1997, según datos de *La consulta Nacional* realizada por el INEGI.

Se pensaba que la sustitución de las aleaciones de aluminio, silicio y magnesio, usadas en la industria de la construcción por aleaciones Zn-Al, reduciría el consumo de aluminio, ya que estas aleaciones de zinc usarían sólo el 22 por ciento de aluminio, lo que produciría un ahorro de aproximadamente 30,000 toneladas de aluminio. Este aluminio ahorrado podría usarse en aplicaciones donde la ligereza es un factor más importante que la resistencia a la corrosión, evitando de esta forma incrementos en las importaciones y posibilitando el uso de los excedentes de zinc que tiene México.

La mayoría de las aleaciones Zn-Al estaban diseñadas para utilizarse sólo en fundición y fundición a presión, pero fueron la base para obtener el Zinalco, que puede ser extruido, laminado, o termoformado.

iv. La superplasticidad

El Zinalco presenta características "superplásticas" por la singularidad en el manejo de sus componentes.

El término "superplasticidad" ha sido usado para describir la capacidad de un metal para estirarse sin fracturas en varios cientos de por ciento. Como un ejemplo, el aluminio sin aleantes tan sólo se estira un máximo de 80 por ciento.

El término superplasticidad fue acuñado en los años noventa en publicaciones de origen ruso y se aplica al fenómeno que se presenta en algunos materiales metálicos o cerámicos a cierta temperatura a la cual pierden casi la totalidad de su resistencia mecánica. El resultado es que al estirarlos a esa temperatura, alcanzan deformaciones que superan el 1000 por ciento, como si fueran plásticos. Se sostiene que el mecanismo que origina la superplasticidad es el deslizamiento de un grano del metal sobre otro, al estirarlo.

Las aleaciones superplásticas que más futuro tienen son las basadas en los metales más abundantes en la corteza, como el hierro y el aluminio, sin embargo, las más sencillas de fabricar y con propiedades semejantes al acero estructural son las basadas en el eutectoide zinc-aluminio como el Zinalco.

Como ya se mencionó, el zinc es un metal abundante en México, igual que el cadmio, el bismuto y el plomo. Todos estos últimos metales tienden a desaparecer del contexto industrial, pues sus aplicaciones rentables son cada vez menos. Si sus propiedades superplásticas se aprovechan, pueden volver a ser competitivos en el terreno industrial, ya que pueden sustituir plásticos en diversas aplicaciones, con la ventaja de ser 100 por ciento reciclables.

Las aleaciones Al7075 y Supral⁴⁰ permiten deformaciones de hasta 1000 por ciento a los 510° C., la aleación Zn-22al logra deformaciones de hasta 3000 por ciento a los 200° C. El Zinalco puede deformarse hasta en un 500 por ciento encima de los 350° C..

⁴⁰ Ambas aleaciones basadas en el aluminio, usadas para estructuras.

Estas características de alta plasticidad y baja resistencia mecánica son ideales para el conformado de piezas complejas gastando un mínimo de energía y evitando usar maquinaria costosa. Para la industria metalmeccánica este fenómeno podría ser una revolución.

b. LA VINCULACIÓN Y EL DESARROLLO DE LA INNOVACIÓN.

Origen e historia del Zinalco

La información presentada en esta sección esta fundamentada en reportes internos de trabajo que se completan con entrevistas al Dr. Gabriel Torres Villaseñor, responsable del desarrollo de la aleación Zinalco. Utilizando esta información se pretende describir una breve historia de los esfuerzos realizados - tanto por industriales como por la UNAM y sus científicos - para traspasar los resultados del laboratorio a la industria.

Los anales del Zinalco se remontan a 1972-1973, cuando el Dr. Torres regresó a la UNAM después de concluir su doctorado en los E.U.A.. En su enfoque como metalurgista se dió cuenta de que el zinc, el plomo, el cobre y el bismuto que se producian en cantidades importantes en México habían perdido terreno en la escena industrial. Esta apreciación motivó un interés por buscar nuevas aplicaciones para estos metales y así contrarrestar las tendencias decrecientes de la demanda.

Las primeras investigaciones que darían origen al Zinalco comenzaron en 1972 año en que se realizaron investigaciones alrededor del cobre con el Dr. Torres al frente de ellas. Estas investigaciones se extendieron por cuatro años pero sus conclusiones no arrojaron más que resultados muy básicos y difícilmente aplicables a nivel industrial.

Después de realizar estos estudios con el cobre, se inició una nueva línea de investigación enfocada a perfeccionar el conocimiento sobre el zinc; el zinc se consideró como más importante respecto al cobre por su alto volumen de producción en México. El zinc es un metal pesado cuya única propiedad es su resistencia a la corrosión. Se usaba para cubrir el acero y así lograr la famosa lámina galvanizada resistente a la corrosión. Sin embargo, la influencia de los plásticos disminuyó la importancia del zinc.

La preocupación por el desplazamiento mundial de los metales tradicionales era fundamental para el Dr. Torres en un artículo mencionaba que " en México se veía mal regalar una materia prima por que no se sabía que hacer con ella". Este tipo de pensamiento fue el que motivó los estudios de las propiedades del zinc y la literatura en que había avances logrados por otras personas (Torres G., 1991).

Hasta este punto queda claro que lo que se buscaba no era encontrar un nuevo material, sino buscar las propiedades en los estudiados y después ver si alguien las podía utilizar. Así en esta etapa todavía no se concebía la idea de una aleación como el Zinalco y mucho menos su utilización a nivel industrial.

Esta percepción cambió cuando a mediados de los años setentas la *International Lead Zinc Research* logró obtener las primeras aleaciones zinc - aluminio utilizando en diferentes proporciones cada uno de los metales.

Cuando empieza a mirarse el origen del Zinalco como resultado de investigaciones sobre aleaciones Zn -Al comienzan también a enlazarse dos motivaciones, la de un individuo y la de la institución, en términos generales esta mezcla originaria puede adoptar el nombre de *investigación básica*.

Un hecho impulsó a las dos inquietudes: la producción y el consumo del aluminio en México y el mundo. Ya se explicó anteriormente la problemática de las materias primas tradicionales y la relación con el aluminio al considerarse la posibilidad de la sustitución de este metal. Este hecho se unió al interés manifestado por parte del Instituto de investigaciones en Materiales de la UNAM (expresado en la figura del Dr. Gabriel Torres Villaseñor) en aprovechar los materiales producidos en México. Paralelamente la Organización de Estados Americanos (OEA) desarrollaba un programa que impulsaba la reconcepción de los materiales producidos en Latinoamérica.

Atendiendo a la problemática originada por los altos costos del aluminio y por la creciente demanda de este metal en México el Instituto de investigaciones en Materiales de la UNAM propuso a la OEA en enero de 1977⁴¹, una proyecto de investigación que contemplaba la solución de este problema a través de dos caminos sugeridos:

1. Producción de aluminio a partir de minerales existentes en suelo mexicano y;
2. Sustitución del aluminio por una aleación basada en metales producidos en México.

Para el desarrollo del proyecto, el Instituto de investigaciones en Materiales solicitó la cooperación del departamento de Ciencia de Materiales del Instituto Politécnico Nacional y del departamento de Metalurgia de la Universidad Autónoma Metropolitana.

De acuerdo al plan de operaciones, el IPN durante los dos primeros años del proyecto realizaría un estudio de los métodos existentes en el mundo para extraer alúmina o aluminio a partir de materiales diferentes a la bauxita. Los dos siguientes años se intentaría aplicar en forma experimental alguno de los métodos escogidos durante el primer periodo. Esta parte del proyecto estuvo a cargo del maestro Mario López Buisán.

El Instituto de investigaciones en Materiales de la UNAM, junto con la UAM, desarrollarían estudios tendientes a buscar aleaciones capaces de substituir en algunas aplicaciones al aluminio importado.

La primera línea de investigación no tuvo resultados económicos, pero en el Instituto de investigaciones en Materiales se lograron resultados importantes al estudiar las aleaciones basadas en el eutéctico Zn - Al. Las propiedades conocidas de este eutéctico permitían proveer su aplicación en la industria de la construcción ya que en tales aplicaciones el peso

⁴¹ En una reunión de coordinación realizada en Brasil, de acuerdo con notas de Torres (1991).

no es un factor primordial, en cambio, sí lo son la presentación y la resistencia a la corrosión.

·Siguiendo esta línea de investigación la OEA a partir de 1979⁴² otorgó recursos al IIM para el desarrollo de aleaciones basadas en el zinc que pudieran usarse en sustitución del aluminio, atacando así "dos pájaros de un tiro". Es decir, por un lado permitiría aprovechar un material como lo pensaba el Dr. Torres, y por el otro, contribuía a satisfacer la demanda creciente del aluminio, que representaba una problemática de comercio internacional.

i. Primeros resultados

Los fondos permitieron avanzar rápidamente y en 1980 se expusieron los primeros resultados en un congreso sobre materiales y energía, realizado en Reston, Virginia, Estados Unidos, en el que se pudo apreciar que la idea era novedosa y que no había sido explotada por nadie más.

Los estudios prosiguieron y en 1983 ya se contaba con un diseño de material con las propiedades adecuadas para competir con el aluminio. El diseño se basó en lograr un material que tuviese una relación de peso a resistencia mecánica igual a la de las aleaciones de aluminio de la serie 6000, las cuales son las más usadas en México. La densidad fue disminuida con aluminio y las propiedades mecánicas se ajustaron con la adición de cobre.

Las pruebas a nivel de laboratorio indicaban que el material podía utilizarse en todos los campos en los que se utilizaba aluminio, como son la extrusión, forja y laminado, lo cual abría nuevos campos de aplicación del zinc no explotados a nivel mundial.

Una vez logrados los primeros estudios sobre las características de la nueva aleación el paso que proseguía era la realización de pruebas a nivel industrial, una especie de *investigación aplicada* daría origen a la primera aplicación.

En marzo de 1983, durante la ceremonia de apertura del Primer Congreso Latinoamericano de Aluminio, realizado en Oaxtepec, Morelos, bajo los auspicios de la OEA, el Coordinador de la Investigación Científica de la UNAM anunció la creación de una Dirección General de Desarrollo Tecnológico, cuyo objetivo era servir de vínculo entre la UNAM y la industria. Esta dirección era precisamente lo que se requería para formalizar una relación industrial, pues a pesar del vínculo existente con el Instituto del Aluminio, no se lograba establecer un arreglo que permitiera desembocar en un verdadero desarrollo tecnológico, por lo cual la ayuda de esta dirección era vital.

Con la colaboración de la Dirección General de Desarrollo Tecnológico se inició un proceso de gestión tecnológica encaminado a buscar una empresa nacional interesada en iniciar un proyecto conjunto con la UNAM, para explorar la posibilidad de industrializar al Zinalco. El Dr. Mario Wissblurth y el Ing. Gustavo Cadena se encargaron de esta

⁴² Los recursos se mantuvieron hasta 1988 junto con CONACYT, alcanzando el monto de 80 mil dólares anuales al inicio.

transferencia, y la búsqueda terminó con la firma de un contrato con la compañía Falmex, el 9 de febrero de 1984.

ii. Zinalco y FALMEX

La idea original de la transferencia consistía en iniciar la extrusión de perfiles arquitectónicos de Zinalco para fabricar ventanas. En esa época el kilo de aluminio costaba el doble que el kilo de zinc por lo que, en esas condiciones, perfiles idénticos de Zinalco y aluminio tenían el mismo costo, con la salvedad de que el Zinalco pesaría el doble por tener doble densidad, pero también con el doble de resistencia mecánica. Si se quisiera obtener idénticas propiedades, había que disminuir el espesor de la pared a la mitad en el perfil de Zinalco. El resultado sería un perfil con idéntico peso y resistencia mecánica pero a mitad de precio.

La compañía Falmex no tuvo problemas imposibles para producir la aleación a nivel industrial; de hecho en todas las pruebas se buscaba la colaboración con la academia, sin embargo, como no contaba con equipo para extrusión, inició tratos con la compañía Cuprum de Monterrey y el 9 de abril de 1984 se concertó la realización de la primera prueba industrial de extrusión de Zinalco⁴³. Los lingotes fueron preparados en forma muy artesanal en Falmex y aunque no tenían la calidad requerida, se demostró en la primera prueba que era posible extruir Zinalco.

El primer perfil estaba rayado por las impurezas contenidas en el lingote y se deformó la figura, en virtud de que el dado no estaba preparado para el Zinalco. Después de esta primera prueba, se realizaron cuatro pruebas más, entre abril y septiembre del mismo año, las cuales brindaron mejores resultados y animaron a la compañía Cuprum a intentar realizar un contrato por separado con la UNAM, para lo cual se entrevistaron con sus autoridades.

La UNAM dejó establecido claramente que no estaba dispuesta a romper un compromiso contraído con una empresa, la cual se había arriesgado en un momento en el que Zinalco era sólo un producto de laboratorio y no un producto susceptible de ser industrializado, como ya estaba probado. Sin embargo, el ofrecimiento de Cuprum tenía ventajas pues contaba con la máquina clave y la experiencia para industrializar el Zinalco en corto tiempo.

En esa época, el precio del aluminio sufrió una disminución increíble, quedando casi a la par con el del zinc, con lo cual la ventaja del Zinalco frente al aluminio quedaba en entredicho. Este precio se conservó hasta 1987, año en el que las condiciones volvieron a ser favorables hacia el Zinalco.

En junio de 1985, Falmex firmó un nuevo convenio de desarrollo para la extrusión de Zinalco con Cuprum, para hacer pruebas intensivas que permitieran comercializar el material en seis meses. En septiembre de 1985, al no haberse iniciado las pruebas en

⁴³ Tanto en esta primera prueba como en las subsecuentes participó José de Jesús Negrete Sánchez del Instituto de metalurgia de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Cuprum, Falmex decidió iniciar tratos con la compañía Alcomex. Todo el retraso sufrido a causa de Cuprum y el poco interés mostrado, se reforzaba con una actitud incierta en la Universidad⁴⁴.

En noviembre de 1985, Falmex aplicó el Zinalco al moldeo por inyección con gran éxito, con lo cual se descubrió una nueva aplicación que permitía iniciar la comercialización rápidamente. Esta aplicación no se había recomendado, porque desplazaba a otra aleación de zinc, llamada Zamak, la cual lleva un bajo contenido de aluminio (menor al 5%). Sin embargo, si se utilizara Zinalco se incrementaría el consumo de aluminio, ya que contiene más del 20% del mismo; no obstante, el panorama parecía ser promisorio, ya que aunque el precio resultaba ser el mismo que el de Zamak, las propiedades eran tres veces superiores. A pesar de ello, el proyecto no prosperó pues en las perspectivas del mercado se observó que los productores preferían comercializar productos con una vida útil reducida, en lugar de productos con alta calidad. Durante este periodo de "comercialización frustrante" se continuaron realizando estudios sobre otras tecnologías aplicadas al Zinalco, así que para fines de 1985 ya se había desarrollado una tecnología para laminarlo.

En enero de 1986, la compañía Nacobre se interesó en utilizar esta lámina en la producción de monedas, lo cual parecía una excelente oportunidad. Se platicó con Nacobre sobre las propiedades de la lámina y el método que se debería seguir para conseguir el licenciamiento para su fabricación. El método era simple, ya que sólo tenían que presentar su proposición a la Dirección de Desarrollo Tecnológico de la UNAM, en donde se tomaría la decisión. La respuesta fue que Nacobre debería establecer contacto con Falmex, para obtener un sublicenciamiento para realizar en conjunto el desarrollo industrial de este producto. Aunque esta decisión no fue del agrado para Nacobre, finalmente aceptaron y se firmó con Falmex un convenio de desarrollo de lámina de Zinalco a mediados de febrero.

En la misma época el Banco de México, en forma independiente, se interesó en el producto y empezó a explorar la posibilidad de usar Zinalco en las monedas, con lo cual se cerraba el círculo de productor y consumidor. En la primera semana de marzo se inició la fabricación de lingotes para su extrusión y laminación en Nacobre.

Las pruebas de laminación siguieron en Nacobre hasta julio, mes en el cual ya se tenía definido el método adecuado para obtener lámina de Zinalco en forma industrial. Por desgracia, el método requería la instalación de un horno de precalentamiento para los últimos pasos de laminación y esto suponía una nueva inversión para Nacobre. Esto ocurrió en un momento en el que su situación económica no lo permitía, y menos aún tomando en cuenta que en las pruebas de acuñación de monedas, realizadas en la Compañía Productora de Cospeles, de San Luis Potosí, se obtenía una moneda muy brillante recién acuñada, pero que se tornaba gris al cabo de cierto tiempo. Esto implicó el abandono del proyecto por

⁴⁴ Mientras que la UNAM por un lado promocionaba al Zinalco como un éxito de vinculación, preparaba el terreno para eliminar a la DGGT que había gestionado la transferencia, dejando a la academia sin la estructura, que permitía aprovechar los apoyos.

parte de Nacobre, ya que se consideró que no habría demanda para un producto que perdía su atractivo en poco tiempo⁴⁵.

Desde el punto de vista del desarrollo industrial del Zinalco, los resultados eran positivos, pues ya había sido demostrado que el material podía laminarse industrialmente al hacer una prueba con ocho toneladas. Sin embargo, a pesar de esto, Nacobre no hizo ningún esfuerzo para buscar o crear clientes para un producto con buenas propiedades y cuyo único inconveniente consistía en no ser un material difundido en otras partes del mundo y poseer un color gris poco brillante. En contraste, Falmex demostró una confianza creciente en el producto y siguió adelante con las pruebas para "poner a punto" las otras tecnologías aplicables al Zinalco, como la forja.

Para el desarrollo de la forja se estableció contacto con la compañía Helvex, quien aceptó hacer pruebas en otra compañía asociada, Funditec, situada en Querétaro. Con ellas las cosas salieron bien desde el principio, pues el material tuvo un muy buen comportamiento en el forjado industrial, con mejores cualidades que otros materiales como el latón, muy usado en sus productos. Las ventajas se reflejaban en el ahorro de energía, ya que el proceso se realizaba a un tercio de la temperatura necesaria para forjar el latón; además, había ventajas económicas, ya que el kilo de Zinalco era más barato y, por su baja densidad, un tercio por abajo del latón, el rendimiento era mayor. A pesar de estas consideraciones, la compañía Helvex no aceptó hacer uso del Zinalco, ya que sus estudios de mercado reflejaron que "su bajo peso podría hacer pensar a los clientes que era un producto débil y corriente".

Así, aunque desde el punto de vista del desarrollo industrial las pruebas fueron positivas y demostraron la posibilidad de usar Zinalco en procesos de forja, desde la óptica económica no había aún clientes para iniciar el uso del Zinalco.

En octubre de 1986, Falmex realizó un convenio con la Compañía Nacional de Extrusiones (CONESA), situada en Guadalajara, Jalisco, con la cual se iniciaron nuevamente los procesos de extrusión. Este intento tuvo mejores resultados en menos tiempo, gracias a la experiencia adquirida en Cuprum.

A partir de estas pruebas, se iniciaron las ventas de perfiles sólidos de Zinalco y se idearon muchas aplicaciones. Aunque surgieron nuevos problemas, estos fueron resueltos en el laboratorio y las soluciones se vieron retroalimentadas con la industria gracias a comités. Algunos de los problemas fueron graves, ya que causaron daños al equipo, pero al encontrar la falla, se demostró que era causada por un tipo de contaminación debida al mal manejo del material y no por el material en si mismo.

En febrero de 1987, Falmex inició una nueva estrategia de comercialización del Zinalco consiste en no vender directamente el material como materia prima, sino intentar, con la adquisición de maquinaria propia, penetrar al mercado con productos terminados y enfrentar así a la competencia de los productos ya instituidos. Los avances fueron positivos,

⁴⁵ Este hecho fue superado tiempo después al descubrirse nuevos tratamientos en el laboratorio, que permitían extender el periodo de brillantez del Zinalco.

al grado de que se estableció una compañía con el nombre de "Zinalco, S.A.", la cual como filial de Falmex se encargaría de crear clientes y aplicaciones.

Durante los años siguientes a este periodo, no fue posible establecer una secuencia cronológica detallada debido a la falta de información, sin embargo los sucesos que se describen a continuación pudieron tener una cierta ordenación gracias al Dr. Torres Villaseñor.

En este punto ya se tenían claras las posibilidades del Zinalco en extrusión, laminación e inyección y se consideraba la aplicación en arquitectura, construcción, cerrajería y en el control de fluidos. Esta última aplicación fue la que tuvo un mejor desempeño comercial y la que le dio mayor relevancia.

Falmex en su división Zinalco desarrolló unas nuevas válvulas para control de fluidos (en especial de gas), con la fabricación de tales válvulas se incursionó en una aplicación existente en la que se utiliza el bronce. Esta sería la primera forma en que se vería al Zinalco como un producto final en el mercado, adoptando así una forma definitiva, dando por terminado el "desarrollo experimental". Aunque hasta este punto las válvulas para tanques de gas eran fabricadas con bronce con ciertas características, estas podían ser superadas en calidad y precio con la utilización del Zinalco.

La introducción al mercado de las válvulas de Zinalco tuvo un fuerte impacto en esa rama industrial, la cual como muchas otras se integraba como una estructura de mercado oligopólica y cooperativa. Tanto los precios, como la materia prima y la calidad de las válvulas daban muestras de un alto grado de homogeneidad; y en la posición mas poderosa de este oligopolio se encontraba la empresa IUSA. Así, si el mercado se veía afectado, la firma que lo resentiría mas sería IUSA.

Las válvulas fabricadas con Zinalco tuvieron buena aceptación y poco a poco fueron ganando mercado por su menor precio y por su resistencia, la cual le daba una mayor duración y calidad. Las válvulas que fabricaba Falmex para 1993 ya representaban una competencia para las de IUSA. La relación calidad-precio explica la mayor parte de la penetración de mercado de las válvulas, un factor que no debe perderse de vista en esta fase de la historia del Zinalco.

La inserción al mercado de las válvulas de Zinalco provocó una serie de medidas defensivas en el oligopolio de la rama industrial. Estas medidas (que no se abordan a profundidad) generadas en la empresa líder del oligopolio se expresaron a través de una cámara industrial, la cual organizó una ataque legal en contra de FALMEX a fin de sacar a la empresa del mercado. Las vías no fueron precisamente económicas, ya que económicamente las válvulas de Zinalco demostraron su rentabilidad.

Finalmente, después de una batalla en la cámara industrial se lograron acuerdos para que el Zinalco permaneciera en el mercado. Tales acuerdos deben entenderse como arreglos personales, en los que el peso de las instituciones funcionó como una expresión económica.

IUSA y FALMEX entraron en sociedad en 1994. Entre 1993 y 1994 IUSA compró el 60% de la compañía Falmex - obteniendo el control de la misma - justo cuando parecía empezar a consolidarse su producción de válvulas de tanques de gas hechas con Zinalco. En la nueva sociedad se invirtió inicialmente más de un millón de dólares, bajo la idea de que el Zinalco podía representar todo un mercado y no solamente un nicho. En esta etapa, se formaron comités de investigación con la Universidad para ahondar en las aplicaciones del Zinalco.

La fabricación de válvulas terminó y se iniciaron planes en los que la primera etapa sería la fundición básica. Se pensaba que la laminación podría representar muchas posibilidades y, en los planes de IUSA se calculó que el mercado potencial para el Zinalco en productos extruidos, inyectados a presión y fundidos ascendería a 93,000 Tm. al año, y que tendrían un crecimiento de 4.5 % en los años subsecuentes.

Sin embargo, la sociedad con IUSA fue uno de los factores que terminó con la innovación Zinalco. Debe tomarse en cuenta que Falmex tenía la exclusividad en el uso del Zinalco desde 1984, así que cuando IUSA tuvo el control de esta compañía en 1994 adquirió también el control sobre esa exclusividad.

FALMEX cerró en 1994 cuando su director Ramón Galván murió de leucemia. Como compañía IUSA decidió guardar la patente y continuar con la tradicional fabricación de válvulas de bronce. El resultado agregado de este hecho y la muerte del dueño de Falmex fue el fin del desenvolvimiento favorable de la aleación en la industria.

Un hecho fundamental que debe ser destacado es que el Dr. Torres Villaseñor estuvo presente a lo largo de toda la historia de la innovación, desde las primeras investigaciones teóricas, hasta las últimas pruebas que se realizaron con las válvulas de fluidos. Incluso, las relaciones informales con los empresarios de Falmex se extendieron hasta la muerte de su director Ramón Galvan.

De esta forma se infiere que si existió algún lazo conductor a lo largo de la innovación Zinalco este fue el trabajo realizado e impulsado por Gabriel Torres Villaseñor, quien figuró como científico innovador, y en algunos casos como empresario innovador al lado de Ramón Galvan.

Las actividades impulsoras llevadas a cabo por el Dr. Torres representan tal vez una figura diferente en la innovación tecnológica originada en las universidades. Así como en la visión de Schumpeter, el empresario innovador era una forma especial de empresario, en este caso se podría pensar en una forma especial de investigador que logra que su investigación (o bien su mezcla de conocimientos) sea diferente de otras miles de investigaciones nuevas porque logra salir del laboratorio sobre estas otras.

c. ZINALCO: IMPACTOS ECONÓMICOS DE LA INNOVACIÓN

Lo primero que pude decirse respecto a los aspectos económicos del Zinalco como innovación es que nunca se tuvieron claros ni el potencial económico ni los alcances productivos.

Básicamente, puede pensarse que inicialmente se buscaba dar solución a un problema identificado a un nivel macroeconómico⁴⁶, que era la cada vez menor utilización de los metales nacionales y su eventual sustitución (por los plásticos principalmente). Sin embargo, más que un impulso económico es posible que fueran razones de justificación social las que se tuvieron en mente al inicio del desarrollo de la innovación (de la forma planteada en el pensamiento de Etzkowitz⁴⁷.

Después de esta etapa inicial de solución a un problema, se fue desarrollando otra de mayor conocimiento de las implicaciones económicas de la innovación y sus aplicaciones, que se centra en las posibles ventajas en la reducción de costos.

Efectivamente, parece ser que la identificación de las ventajas en la reducción de costos fue un proceso bien diferenciado, que no se tenía contemplado más que a grandes rasgos cuando se pensaba en resolver el problema de las crecientes importaciones de alumina y el uso reducido de las materias primas nacionales.⁴⁸

Esta identificación se aprecia como el resultado de una serie de investigaciones específicas que no se podían realizar únicamente a nivel del laboratorio y que tenían que esperar los resultados del comportamiento del material (Zinalco) en pruebas industriales.

En las pruebas industriales se fueron identificando al menos algunas reducciones en costos de producción y procesos con Zinalco:

- Menor consumo de materia prima;
- Menor gasto de energía;
- Utilización de moldes menos costosos;
- Menores costos por procesos adicionales (anticorrosivos, soldaduras, pintura)

i. El Zinalco y otras aleaciones comerciales

La "facilidad de transformación" del Zinalco es alta, muy parecida a la del latón para maquinado rápido (Cu-33Zn-3.2Pb); esta propiedad le permite encontrar una gran variedad de aplicaciones, como puede ser su aplicación al diseño de portamuestras de microscopio electrónico⁴⁹. Los tornillos fabricados con esta aleación tendrían la propiedad de tener alta resistencia a la corrosión y no formar par eléctrico ni con aluminio ni con el acero, pudiéndose usar tanto en torres eléctricas como en el ensamblaje de ventanas.

⁴⁶ La importación creciente de alúmina para obtener aluminio afectaba negativamente a la balanza comercial con divisas que se gastaban pero no se recuperaban y, por otro lado se acentuaba la dependencia externa ya de por sí profunda

⁴⁷ Etzkowitz plantea específicamente una "segunda revolución académica", en la que la academia debe justificar su existencia produciendo conocimiento útil para la sociedad/sector productivo

⁴⁸ Mas allá de estas suposiciones se hallan las motivaciones personales que impulsaron al Dr. Gabriel Torres como físico de materiales

⁴⁹ En la cual juega un papel importante su baja resistencia eléctrica.

La posibilidad de producir perfiles arquitectónicos con Zinalco abre una nueva perspectiva a la arquitectura e ingeniería, ya que estos perfiles tienen alta resistencia mecánica y pueden ser soldados para la fabricación de naves para bodegas o nuevas formas de ventanas.

La lámina en su estado normal podría aplicarse a la fabricación de muebles de cocina, con la ventaja de resistir la corrosión, y la lámina en estado superplástico podría abrir nuevas técnicas en la fabricación de automóviles, a través de la producción de carrocerías sin soldaduras, semejantes a las de fibra de vidrio.

ii. Posibles aplicaciones del Zinalco como bien final

La fuerza impulsora de la innovación en el área de los materiales comerciales, como ya se ha mencionado, tenía ciertas bases económicas.

El Zinalco, siendo un material con un punto de fusión relativamente bajo y de muy alta resistencia a temperatura ambiente, daba muestras claras de poder cambiar en forma positiva los procesos clásicos, utilizados en la producción de varios productos entre los que pueden mencionarse: **las llaves para cerraduras, fichas para accionar dispositivos de entrada o maquinarias y contactos eléctricos de baja fricción para el Metro.** Los anteriores ejemplos se mencionan por haber tenido posibilidades viables de mercado, a diferencia de las válvulas de fluidos mencionadas anteriormente, las cuales tuvieron una explotación comercial real.

El cambio tecnológico básico introducido por el Zinalco en la fabricación de estos productos es por la utilización del método de la fundición a presión también llamado moldeo por inyección. Este proceso consiste en inyectar el metal líquido o cuasi líquido en un molde metálico refrigerado por agua. El proceso requiere del uso de aleaciones con bajo punto de fusión para mayor durabilidad de los moldes y herramientas.

La aleación preferida para el proceso de moldeo por inyección ha sido el Zamak, el cual es básicamente Zn en un 95% y el resto es Al, Cu y Mg. Las diversas cantidades de estos aleantes originan una familia de 5 aleaciones, para diferentes aplicaciones. Sin embargo, respecto al Zinalco las propiedades mecánicas de estas aleaciones son muy pobres y su alta densidad hace que su bajo precio se pierda, además la aleación es muy propensa a la corrosión, lo cual le resta durabilidad.

A fines de la década de los 70's, la compañía Canadiense productora de Zinc, "Noranda" dió a conocer una aleación de zinc con alto contenido de aluminio (27%) denominada ZA - 27 la cual se presentó también como de alta resistencia mecánica. La diferencia esencial entre el Zinalco y la Za - 27 es que la segunda aleación fue creada para la fundición, mientras el Zinalco puede ser tratado térmicamente teniendo otras aplicaciones diferentes a la fundición, es decir puede ser forjado, laminado y extruido además de moldearse por inyección.

Otra aleación utilizada en el proceso de fundición a presión, es el aluminio 380 el cual tiene la desventaja de requerir temperaturas relativamente altas, cercanas a los 650 °C lo cual

representa 250 °C más que para el Zamak, dando por resultado un deterioro mayor de los moldes por la temperatura y daño del aluminio.

Otros metales y aleaciones con un punto de fusión mayor como el latón, hierro o bronce, que el Zinalco puede llegar a sustituir resultan inadecuados para el moldeo por inyección lo cual hacía del Zinalco una aleación más completa.

- El Zinalco puede ser inyectado en estado cuasi líquido, entre los 440 y 480 °C o totalmente líquido arriba de los 480 °C, lo cual es entre 40 y 100 °C más que el Zamak.
- Sus propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión son superiores a las del aluminio 380, latón o hierro de fundición.
- De acuerdo a sus propiedades mecánicas y de resistencia piezas de latón, hierro o bronce que generalmente se funden individualmente en moldes pueden ser sustituidas por Zinalco moldeado por inyección.
- También es posible sustituir piezas obtenidas por troqueles como son las llaves o las fichas.

iii. Posibles aplicaciones industriales del Zinalco

Para los ejemplos de utilización de Zinalco que se mencionarán a continuación se utilizó información contenida en reportes de pruebas realizadas por el grupo de investigación del IIM de la UNAM, los cuales no llegaron a concretarse, pero que dan ideas claras de la importancia económica del Zinalco específicamente en la producción industrial en casos específicos.

a) Llaves de Zinalco

El proceso clásico para la fabricación de llaves para cerraduras consiste en laminar el latón, cortar con troquel la figura de la llave y darle un terminado por maquinado individual. Utilizando Zinalco es posible obtener llaves con idénticas propiedades, partiendo de lingote, evitando así el proceso de laminación. En lugar de troqueles fabricados con aceros de importación caros podrían usarse moldes con 10 o más cavidades, la prensa hidráulica que inyectaría el metal en estos moldes, sería mas sencilla y menos costosa que la maquinaria utilizada para troquelar.

En resumen el cambio de tecnología en la fabricación de llaves para cerraduras eliminaría costos de laminación y reduciría costos de maquinaria. El molde además de tener una vida útil mayor a la del troquel, tendría una mayor versatilidad, ya que se le podrían hacer cambios fácilmente a base de insertos como por ejemplo el nombre de una institución.

Según los reportes, el costo del Zinalco es aproximadamente 40% menor al latón de primera fusión, lo cual aunado a un menor peso de cada llave posibilitaría una disminución

de precio cercana al 50%. Las pruebas tanto en llaves de latón como de Zinalco permitieron comprobar que la resistencia en ambas llaves era prácticamente la misma. La diferencia a favor del latón esta en el ángulo necesario para romper una llave, en el latón resultó ser 50 grados y en el Zinalco tan sólo de 10. Esto se debe a que el Zinalco tiene una estructura de fundición poco dúctil.

b) Fichas de Zinalco

Un cambio similar en la tecnología se observó en la fabricación de fichas reusables en lugar de boletos de cartón utilizado para accionar los mecanismos de entrada a las estaciones del metro en Guadalajara.

El método clásico para la fabricación de estas fichas, es similar al de las monedas, es decir, se parte de lámina, normalmente de cuproníquel de la cual se cortan los llamados "cospeles" los cuales después de una limpieza química y de un proceso que elimina rebabas, se les imprimen las leyendas requeridas por medio de troqueles de alta velocidad.

El número de fichas producidas en este último paso es del orden de 100 piezas por minuto, sin embargo la fabricación del cospel tomando en cuenta tiempos muertos, implica cerca de un mes.

Utilizando Zinalco las fichas podrían obtenerse con menos pasos, a través del método de inyección. En este caso el molde puede tener hasta 20 cavidades y una sola máquina puede producir hasta 5000 fichas por turno de 8 horas. Para cantidades pequeñas del orden de 200 mil fichas los tiempos de producción casi son idénticos a pesar de la lentitud aparente del proceso de inyección.

En los reportes, el costo de una ficha de Zinalco ya terminada resultaba ser aproximadamente, 70% menor al de una ficha de cuproníquel, sin embargo la duración de las fichas de Zinalco es menor a las de cuproníquel de acuerdo a resultados de pruebas de envejecimiento y desgaste acelerado. Para incrementar su vida se pueden recubrir las fichas, con una delgada capa de níquel depositada por procesos electrolíticos. Esta capa además de mantener su aspecto brillante por más tiempo le daba la misma durabilidad que las de cuproníquel, ya que la capa de Ni se adhería perfectamente al Zinalco, dándole alta resistencia aún en medios salinos.

Utilizando este método el desperdicio de material es casi cero. Con todas estas ventajas en la producción de fichas por inyección la productividad podría aumentar, incrementando el número de máquinas de inyección.

c) Punteras para el Metro

El caso de la puntera que lleva el metro para tomar corriente de las vías es una aplicación probada del Zinalco, pero no concretado en el mercado.

La puntera original está hecha de bronce al plomo, de baja fricción, lo cual le da una mayor duración. Una de las propiedades del Zinalco es tener muy baja fricción contra metales, por

lo cual resultó ser un excelente sustituto. además de tener menor resistencia eléctrica con semejante resistencia mecánica.

La puntera clásica de bronce es moldeada individualmente y recibe un acabado por maquinado. La puntera fabricada con Zinalco, podría ser inyectada en serie obteniendo en este proceso el acabado final.

Nuevamente, en este caso, además del ahorro en energía y una mayor rapidez de producción, se tenía un ahorro en el costo del material cercano al 50% más el ahorro por la menor densidad.

Existieron muchas más aplicaciones para el Zinalco que aún están en estudio, no sólo en el campo de la fundición, sino también en el campo de la extrusión, forja, laminación y procesos superplásticos, estos últimos están cambiando los procesos de la industria metal - mecánica a nivel mundial.

d. EL MODELO DEL ZINALCO: INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN

Como se ha mencionado antes en esta investigación, la heterogeneidad es fundamental para comprender la vinculación entre la academia y la industria en su conjunto, y acercarse más a enfoques reales. En ramas concretas como la de los nuevos materiales⁵⁰ se observa cada vez más una codependencia entre tecnologías de investigación y tecnologías de producción, difuminando cada vez más las fronteras entre estos dos campos. (Fransman, 2000). Este hecho se relaciona claramente con la explicación que se intenta dar respecto al modelo de innovación del Zinalco.

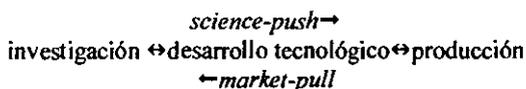
Se han considerado dos modelos base para explicar al Zinalco como innovación: inicialmente se puede explicar al Zinalco usando el modelo lineal, específicamente como un caso de empuje tecnológico (aunque es más claro entenderlo como "empuje científico"); sin embargo, este modelo no explica todo el proceso de innovación, por lo que se recurrirá al uso del modelo de redes para obtener una visión más completa del proceso de innovación que presentó esta aleación.

Las relaciones establecidas en el modelo de innovación del Zinalco no pueden ser vistas únicamente como actividades separadas ni tampoco vinculadas con relaciones de determinación lineal entre ellas ($C \rightarrow T \rightarrow I$) sino que deben aprehenderse como un sistema de relaciones de influencia recíproca. A pesar de ello, este tipo de diferenciación es válida inicialmente, e incluso -como ya se mencionó- ese tipo de acontecimientos ordenados puede corresponder con lo que ocurre en cierto tipo de actividades características de las "industrias basadas en la ciencia"

⁵⁰ Y en general en actividades ligadas a las nuevas tecnologías.

i. Modelo lineal en la innovación

Recordando lo ya expuesto, en el modelo lineal (o estandar) se acostumbra establecer una distinción entre tres campos distintos: Ciencia-Tecnología-Industria o, dicho en otras palabras, Investigación-Desarrollo tecnológico-Producción. En los estudios que han considerado este modelo convencionalmente se establece una secuencia de determinaciones unidireccionales en cascada entre estos tres momentos, dando por resultado las teorías de empuje tecnológico o científico (*science-push*), y a la inversa en las teorías de demanda de innovaciones (*market-pull*).



Esta secuencia puede ser demasiado simplista, pero es relevante en el Zinalco en tanto se conciba como una motivación inicial. Lo que se quiere destacar con este modelo es que así es como fue concebida inicialmente la innovación por los primeros involucrados con su desarrollo.

Aunque cuando iniciaron las investigaciones se pretendía resolver un problema de la demanda (de aluminio en específico), queda claro que no fueron los demandantes de aluminio quienes se presentaron a los laboratorios del IIM de la UNAM a solicitar un nuevo material, sino que fue la ciencia/academia la que empujó el desarrollo de la innovación y quien indujo a su comercialización.

Después de haber esbozado la historia del Zinalco en el apartado anterior, se hace evidente que las primeras investigaciones dirigidas a estudiar las propiedades del cobre y el zinc son las que darían origen a esta aleación aun cuando no se tuviera clara la utilidad de estas investigaciones.

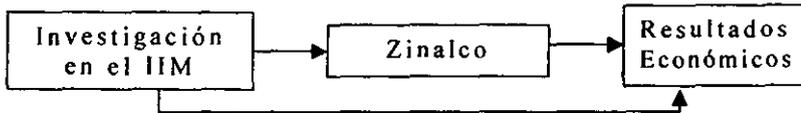
Al pensar en los altos costos del aluminio y la creciente demanda de este metal en México en los años setenta puede preguntarse si esta demanda fue un actor que motivó a desarrollar la innovación. La respuesta es no, pues en el caso del Zinalco fue el IIM quien propuso un proyecto de investigación, si la industria nacional hubiera solicitado (o demandado) una investigación para resolver el problema, podría ser mas lógico pensar en una demanda de innovación⁵¹, sin embargo, esto no ocurrió con el Zinalco .

Las primeras investigaciones no buscaban como meta el desarrollo de una aleación que sustituyera al aluminio, así como al obtenerse el Zinalco tampoco se buscaba encontrar una aleación superplástica con capacidades conductoras. Incluso, la innovación entró al mercado aun sin saber de sus posibilidades como un material laminable y tampoco pensando en que el Zinalco se usara como sustituto de bronce en válvulas de tanques de gas. Estos hechos que podrían considerarse como errores no lo son desde la perspectiva del empuje tecnológico, y son más bien característicos de este tipo de empuje científico.

⁵¹ A pesar de esto, no es irrelevante pensar en relaciones de tipo productor-usuario para algunos casos similares.

Al surgir el Zinalco y aun al realizar la transferencia tecnológica tanto el investigador como la Universidad y la empresa tenían en mente un modelo lineal, en el que una vez realizada la investigación básica así como la investigación aplicada, y una vez contando con la innovación, el siguiente "paso" era llevarlo al mercado.

Figura 6
Relaciones del sistema ciencia tecnología (modelo lineal)



Esta concepción parece ser la más cercana a la realidad del Zinalco hasta el momento de la transferencia tecnológica, pero se vuelve mucho más compleja a partir de este punto.

Más allá de la síntesis que pueda lograrse con los modelos lineales, debe aceptarse que en esta explicación con el modelo lineal se pierden algunas vinculaciones establecidas con la OEA, CONACYT y con otras Universidades, así como el papel jugado por la UNAM a través de la Dirección General de Desarrollo Tecnológico, pero esto no afecta en lo fundamental, ya que la concepción de la innovación como un caso de empuje científico/tecnológico no se ve alterada si se incluye a estos actores. En el siguiente apartado se desarrolla más ampliamente esta idea.

ii. Modelo de redes en la innovación

En la dinámica de las relaciones entre la academia y el sector productivo que existieron alrededor del Zinalco se observó un complejo proceso de interacciones (*feed-backs*) entre la oferta/demanda de mercado y el IIM (el Dr. Torres en específico), derivando en una articulación que dió salida a las modificaciones que la ciencia provocó en las condiciones de producción así como a las originadas dentro de la propia producción inmediata. Dichas interacciones no caben dentro de un modelo lineal, pero se asemejan al modelo de redes y aun al de "relación de cadenas" de Kline y Rosemberg.

Las redes se hallan en un nivel intermedio entre la organización del mercado puro y la organización jerárquica (Corona et al, 1994) y en este tipo de organización es más fácil luchar contra ciertas contradicciones que se presentan en la vinculación universidad - empresa que ya han sido mencionadas anteriormente. Por lo anterior, no es extraño que la flexibilidad que requería la innovación para llegar al mercado y aun para desarrollarse se encontrará bajo la forma de redes de cooperación⁵².

A lo largo del desarrollo de la innovación Zinalco existieron un buen número de vinculaciones "cortas" (de menos de un año de duración) con empresas e instituciones

⁵² Aun y cuando esto ocurrió como algo inercial y no como algo planeado previamente.

públicas, que coexistieron con la vinculación más duradera entre Falmex y el IIM de la UNAM, como parte de un modelo lineal de la innovación. Estos lazos se pueden observar después de revisar la historia del Zinalco y se resumen en el cuadro siguiente:

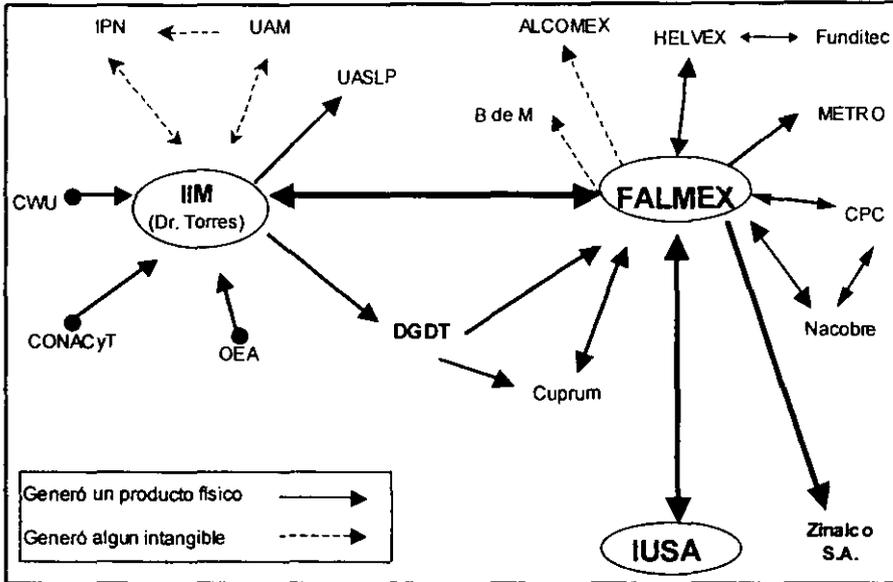
Cuadro8
Instituciones relacionadas con el Zinalco

Fondos	Institución (es)	Relación	Producto	Directriz
Fondos del Instituto	1973	IIM-Case Western University	Form. De Rec. Hum.	Doctorado G. Torres
	1974	IIM		Investigación prop. del cobre
	1975	IIM		Investigación prop. del cobre y zinc
	1976	IIM		Investigación prop. del cobre
	1977	IIM-OEA	Investigación p. sustituir aluminio	ninguno
	1978	IIM-IPN-UAM	Investigación p. sustituir aluminio	ninguno
	1979	IIM-OEA- CONACyT	Inv. Básica	Conocimiento del eutectoide Zn-Al
	1980	IIM-OEA- CONACyT	Inv. Básica	Primera aleación Zn-Al del IIM
Fondos OEA	1981	IIM-OEA- CONACyT	Inv. Básica	Diseño del material competitivo con el aluminio (extrusión, forja y laminado)
	1982	IIM-OEA- CONACyT	Inv. Básica	
	1983	IIM- Dirección general de Desarrollo Tecnológico en la UNAM- OEA	Inv. Aleaciones Zn-Al-Cu	Primera aleación Zn-Al-Cu
Patente de la UNAM (Proceso)	1984	IIM- Dirección general de Desarrollo Tecnológico en la UNAM	Gestión Tecnológica con FALMEX	Pruebas industriales, se obtienen lingotes de Zinalco para uso industrial
		FALMEX-CUPRUM- UASLP	Primera prueba industrial de extrusión	Perfiles de Zinalco obtenidos por extrusión
	1985	FALMEX-CUPRUM	Convenio de desarrollo para extrusión	Ninguno (inconcluso)
		FALMEX- ALCOMEX	Informal	Ninguno
		FALMEX	Inv. Aplicada en laminación y moldeo por inyección	Inv. Aplicada pero sin comercialización
	1986	FALMEX-NACOBRE- CPC	Convenio p. Desarrollar lámina	Lámina de Zinalco (Inv. Aplicación)
		FALMEX- B. De México.	Informal	Ninguno
		FALMEX	Ninguna	Inv. Aplicada: Técnica de forja
		FALMEX-HELVEX-Funditec	Contrato p. Pruebas de forja	Nueva aplic. Industrial: Forja
	1987	FALMEX-Zinalco S.A.	Filial	Venta de perfiles de Zinalco
	1988	FALMEX-Zinalco S.A.	Filial	Valvulas de Zinalco (venta)
	1989	FALMEX-Zinalco S.A.	Filial	Valvulas de Zinalco (venta)
	1990	FALMEX-Zinalco S.A.	Filial	Valvulas de Zinalco (venta)
	1991	FALMEX-STCMetro	Contrato p. Elab.: Juntas Magnéticas	Juntas magnéticas p. El Metro
1992	FALMEX-Zinalco S.A.	Filial	Valvulas de Zinalco (venta)	
1993	IUSA-FALMEX	IUSA Compra FALMEX	Cierre de FALMEX	
1994	Fin			

En la caracterización de las relaciones que se produjeron a lo largo de la vida del Zinalco se consideraron las instituciones vinculadas, el tipo de relación establecida y el producto obtenido de dicha relación. En este último punto, debe mencionarse que en algunos casos el resultado de la relación fue un producto físico, mientras en otras la relación originó solamente ideas o nuevas posibilidades.

Una vez revisado el cuadro resumen de relaciones, es conveniente y útil esbozar un esquema que muestre las relaciones gráficamente.

Figura 6
Redes en la innovación
Zinalco



Elaboración propia

En el esquema se puede observar con facilidad a los actores, los vínculos y los flujos existentes al desarrollar el Zinalco. Se puede sostener la idea del “empuje tecnológico” del IIM a Falmex y profundizar la explicación con las redes entre instituciones, sin embargo, el modelo de redes que resulta muy útil para caracterizar el proceso de vinculación, es insuficiente pues no logra considerar al menos dos aspectos de suma importancia para explicar el proceso de innovación del Zinalco. El primero de ellos es que no considera el aspecto temporal de las relaciones institucionales, las cuales no se presentaron todas al mismo tiempo, sino que fueron parte de una evolución; y el segundo y más importante es que este tipo de modelos únicamente considera relaciones entre instituciones dejando de lado las relaciones entre personas, que en casos como el del Zinalco llegan a ser fundamentales en el proceso de innovación y de vinculación.

a) Redes, temporalidad y directrices

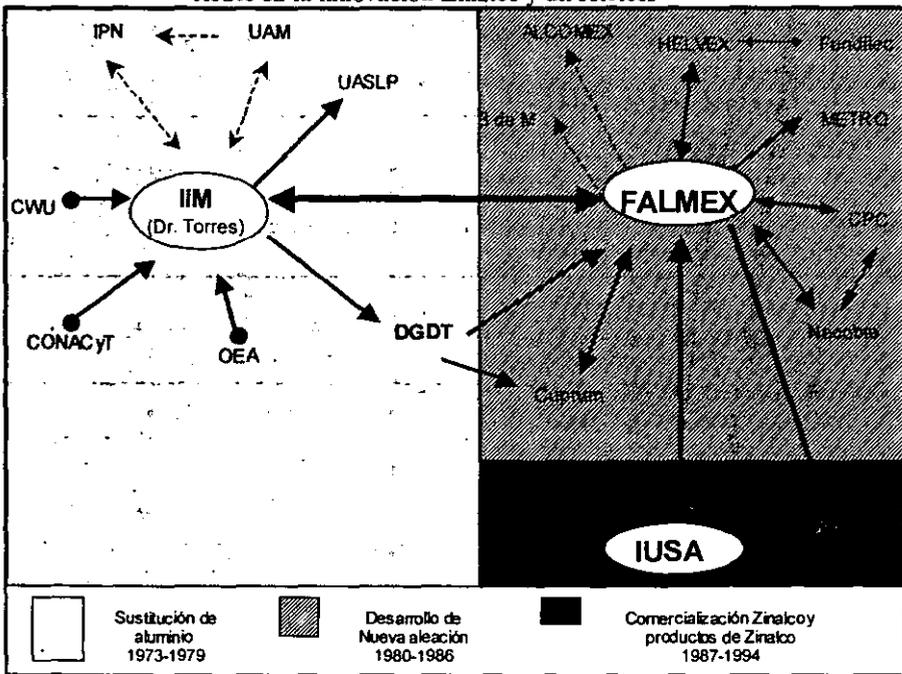
Para este caso, no es fácil resolver el problema que presenta la temporalidad de las relaciones institucionales, aunque la esquematización realizada puede ser dividida sin complicaciones en tres distintas directrices. A cada una de estas directrices corresponde un número de relaciones que engloba tres distintas metas, en tres distinto periodos (ver fig. 7):

1. Sustitución de aluminio (1973-1979)
2. Desarrollo de una nueva aleación (1980-1986)
3. Comercialización, venta de perfiles y válvulas de Zinalco (1987-1994)

La directriz llamada "sustitución de aluminio" fue la primera en desarrollarse cuando las investigaciones básicas se orientaban a solucionar la problemática que la industria mexicana enfrentaba con el aluminio. Como se recordará, inicialmente no se buscaba obtener una nueva aleación, sino simplemente estudiar procesos y materiales que sustituyeran a los que se tenían. Al finalizar esta etapa se obtiene la nueva aleación

Las relaciones establecidas en esta etapa giran en torno al Instituto de Investigaciones en Materiales quien tuvo relación con otras instituciones académicas, científicas y de desarrollo, así como con la Dirección General de Desarrollo Tecnológico por medio de la cual se interconecta esta directriz con la del "desarrollo de una nueva aleación" al gestionar la transferencia de tecnología con la empresa Falmex.

Figura 7
Redes en la innovación Zinalco y directrices



La segunda directriz llamada "desarrollo de una nueva aleación" es difícil de separar de la directriz anterior. En esta la meta observada es investigar la nueva aleación a nivel laboratorio -inicialmente- y a nivel industrial -en el momento en que se realiza la transferencia tecnológica a través de la DGDT-. Esta etapa engloba el estudio del material y sus aplicaciones industriales para consolidarlo como un producto en el mercado (desarrollo experimental).

Las relaciones en esta etapa se presentan alrededor de la empresa Falmex quien intentaría explotar comercialmente la innovación. Falmex tuvo relación con otras instituciones industriales y comerciales (principalmente), así como con la Dirección General de Desarrollo Tecnológico por medio de la cual se interconecta esta directriz con la anterior de "sustitución de aluminio" al gestionarse la transferencia tecnológica.

Por último, en la directriz denominada "comercialización" la meta es obvia. Una vez "puestas a punto" las aplicaciones del Zinalco es posible incursionar con éxito en la comercialización, vendiendo el material en perfiles -aun como insumo- y como un producto para uso final bajo la forma de válvulas de gas y de juntas magnéticas.

Esta etapa se caracteriza por tener solo dos relaciones, de las cuales una es mas bien de tipo jerárquico, pues Zinalco S.A. surge como una filial. Y la relación con IUSA como ya se señaló, da por resultado el retiro de la innovación del mercado.

Es conveniente destacar que las redes establecidas en el desarrollo del Zinalco fueron básicamente "redes incompletas", es decir, redes sin continuidad, ya que no se mantuvieron hasta el final de la innovación.

El hecho de que la relación establecida con IUSA coincida con el fin de una historia favorable de la innovación Zinalco guarda estrecha relación con el segundo señalamiento que se hacía respecto del modelo de redes: esto es, que el modelo de redes no considera las relaciones entre personas. Quienes son depositarias de conocimientos que podrían continuar la historia del Zinalco.

Las personas tienen un papel fundamental para explicar el proceso de innovación. Se considera a estas personas bajo la idea del "empresario innovador" y del "académico emprendedor". Para el caso del Zinalco las personas resultaron indispensables para resolver las contradicciones que comúnmente surgen entre la academia y el sector productivo.

b) Problemática en la transferencia tecnológica

A pesar de que a lo largo del presente trabajo se han tratado de destacar los aspectos positivos en el proceso de innovación que dió vida al Zinalco es necesario para completar su estudio exponer también la problemática en el proceso de vinculación entre la academia y la industria.

La transferencia tecnológica del laboratorio a la industria no fue el único problema enfrentado al desarrollar la innovación, pero si fue el primero en gravedad y el mas destacado para la Universidad.

La idea general en esta problemática es que el IIM no contaba con la capacidad técnica (maquinaria) para probar industrialmente el Zinalco obtenido en 1983, y la industria no podía contar con maquinaria para producir a nivel industrial un producto que aún no estaba en el mercado.

Por medio de computadoras se habían aplicado modelos para simular el comportamiento del Zinalco. Estas simulaciones tuvieron como base una teoría de "potenciales de masividad" desarrollada por Ramón Galván. Utilizando este modelo, fueron diseñados dos algoritmos para hacer simulaciones del Zinalco que dieron una idea de cómo podría ser el Zinalco en la escala industrial. Sin embargo, en el laboratorio sólo era posible obtener algunos cuantos gramos de la nueva aleación.

Así, a pesar del potencial que representaba el Zinalco, en ese momento no había forma de demostrar estas ventajas para la industria. La interacción entre Ramón Galván y Gabriel Torres pudo dar salida al problema cuando se gestionó la transferencia tecnológica a través de la DGDТ. Pero aun así, en las primeras pruebas industriales resultó evidente que era muy diferente producir sólo unos gramos del material en un laboratorio perfectamente monitoreado, y producir las primeras toneladas en hornos de fundición diseñados para otros materiales y a nivel industrial.

Las pruebas industriales evidentemente resultaron muy lentas y los tiempos de respuesta para resolver los problemas observados en la industria fueron también largos. A lo anterior se suma también la dificultad para establecer un lenguaje común entre los investigadores básicamente relacionados con el laboratorio académico y los encargados de la fundición en la industria.

iii. Una propuesta: Modelo explicativo y modelo normativo

De acuerdo con la explicación propuesta en este trabajo se ha intentado obtener una visión global de las instituciones involucradas en torno a la innovación del Zinalco y las relaciones establecidas entre éstas.

El esfuerzo realizado para obtener una visión en retrospectiva dió por resultado un "modelo explicativo" que combina la idea del "empuje científico/tecnológico" con un "modelo de redes". En el que el "empuje tecnológico" da origen a la primera de tres etapas propuestas. Y se mantiene a lo largo del proceso de manera simultanea a la existencia de redes (ver cuadro 8 y 9).

Como ya se ha observado anteriormente a lo largo de este trabajo, la aleación Zinalco terminó su ciclo como producto de manera poco satisfactoria, con un éxito muy limitado tomando en cuenta su potencial.

Tomando en cuenta lo anterior, es posible que otro tipo de relaciones alternativas hubieran proporcionado mayor probabilidad de éxito al Zinalco, estas relaciones se han considerado como deseables y se engloban en la idea de un "modelo normativo" (cuadro 9).

Así, si se acepta la división en tres etapas del desarrollo de la innovación Zinalco se pueden hacer propuestas globales para cada una de estas, pensando que hubieran podido llevar a un

desenvolvimiento exitoso. En general, se sostiene la idea de la conveniencia de la existencia de una institución de interfase entre la academia y la industria, pero se incluye dentro de un modelo por fases.

Con esto en mente, en la primera etapa, "sustitución de aluminio" se propone que hubiera sido deseable mirar hacia el lado de la demanda incluyendo la participación de alguna(s) empresa(s). El considerar la creación de señales de mercado desde esta etapa, brindaba altas probabilidades de éxito en la etapa de comercialización, sin embargo, las restricciones institucionales jugaron un papel fundamental en que no se presentara esta situación.

La presencia de al menos una empresa en la etapa de investigación básica pudo haber generado las sinergias necesarias para promover al Zinalco en el mercado, con la consecuente retroalimentación entre las necesidades de la demanda y las oportunidades para la academia.

En cuanto a la siguiente etapa, la de el "desarrollo de nueva aleación", la transferencia de tecnología es fundamental en esta etapa, por lo que la existencia de la institución de interfase justificaría mucho más su existencia. En ésta etapa, lo sugerido era lograr la interacción de instituciones financieras que se relacionaran con la Academia y con las empresas que giraron alrededor de Falmex S.A.. La "institución de interfase", que se encargaría de realizar las pruebas a escala industrial, podría haber cubierto más rápidamente el vacío en la transferencia de la producción científica y la producción industrial y más adelante podría contar con capacidad para relacionar al Zinalco con otros proyectos industriales menos concentrados⁵³.

Cuadro 9
Modelos Explicativos y Normativos en la Innovación Zinalco

1	Sustitución de Aluminio	Lineal (empuje científico) Académico Emprendedor	Red basada en investigación básica (sin empresa(s) en la red)	Redes basadas en investigación básica (con empresa(s) al interior de la red)
2	Desarrollo de Nueva Aleación	Lineal (transferencia tecnológica) Empresario Innovador	Red centrada en una empresa	Redes de interacción entre Academia-Empresa-Banca (con una "Institución de Interfase")
3	Comercialización del Zinalco	Lineal (el empuje tecnológico crea demanda)	Red entre empresas con una inestable división del trabajo	Consolidación de Institución de Interfase (aprovechamiento de las capacidades)
Resultan en:	MUERTE DE LA INNOVACIÓN (FRACASO)			MAYOR PROBABILIDAD DE ÉXITO

⁵³ Esto se menciona porque la explotación comercial se concentró en una sola línea, que originalmente solo contemplaba la fundición de la aleación Zinalco.

Siguiendo el hilo conductor de la “institución de interfase” lo ideal en la tercera etapa hubiera sido consolidar la institución de interfase al interior de la red. Sin embargo, lo observado fue totalmente diferente, pues la concentración de las capacidades acumuladas en la innovación llegó al extremo cuando IUSA adquirió los derechos de la innovación Zinalco cuando compró Falmex S.A.. Este hecho impidió que el Zinalco se siguiera explotando comercialmente, y terminó con las expectativas de su aprovechamiento, pues la red desarrollada no pudo seguir operando.

La “institución de interfase” pudo haber actuado como depositaria de las capacidades acumuladas, mismas que en el modelo explicativo concluyen con la muerte de la innovación, sin permitir posibilidades de continuar.

5. CONCLUSIONES

En esta investigación se ha pretendido estudiar las instituciones participantes en el proceso de desarrollo de la innovación Zinalco y las relaciones establecidas entre ellas.

El caso del Zinalco es un ejemplo del desarrollo de innovaciones tecnológicas logradas a través de la vinculación entre la ciencia y el sector productivo. La aleación fue el resultado de años de investigación y cooperación entre empresas e instituciones académicas, que giraron alrededor del Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM y de la empresa FALMEX.

El Zinalco es una aleación basada en zinc, que es uno de los minerales en los cuales México tiene una importante participación en la producción mundial⁵⁴. Esta aleación combina características que no se habían logrado antes en la industria, por un lado, es tan fuerte como el acero para estructuras, pero su densidad (y peso) es casi una tercera parte menor y es casi tan resistente a la corrosión como el aluminio. Además posee la capacidad de comportarse como un plástico cuando se le calienta por encima de los 250° C, y tener la resistencia del acero por debajo de los 100° C.

Para explicar la innovación Zinalco se utilizó un marco teórico que intentó ser lo más conveniente para representar la heterogeneidad del proceso de innovación. En la revisión teórica se encontró que autores como Joseph A. Schumpeter, Karl Marx, y los autores evolucionistas han sido quienes han dado más importancia al cambio tecnológico y a la innovación como variables explicativas del sistema económico. Sin embargo, también la escuela neoclásica –aunque de manera exógena– ha considerado a la tecnología en sus funciones de producción y en el modelo “lineal” de cambio tecnológico. Este último es relevante al exponer las motivaciones económicas que puede tener la innovación tecnológica, las cuales pueden situarse en dos extremos del mercado: la oferta o la demanda.

Por otro lado, hay otro grupo de autores que han puesto énfasis en el estudio de las redes, las alianzas estratégicas y los Sistemas Nacionales de Innovación; las ideas de estos autores resultan apropiadas cuando lo que se busca es analizar el papel de la vinculación entre distintos agentes económicos.

A pesar de la utilidad de la teoría económica presentada por estos autores se encontró que es insuficiente al menos por una característica común muy importante: la literatura predominante sobre el cambio tecnológico ha relegado el análisis de las relaciones entre la ciencia y la producción, y ha centrado su atención en las relaciones entre la tecnología y la producción.

Lo anterior se convirtió en un hecho muy importante, pues en la investigación “de campo” realizada, se observaba que el Zinalco era un ejemplo de estas relaciones entre la

⁵² México ocupó el 5° lugar en la producción mundial de zinc en 1998 con una participación de 5%, según datos del *World Bureau of Metal Statistics*

investigación científica y la producción que había sido poco estudiada por la teoría económica.

Por lo anterior, en esta investigación se intentó construir un marco general para acercarse al tema de la vinculación entre academia e industria. Esta aproximación desde el principio mostró la importancia de la heterogeneidad en este tipo de relaciones, así como de las contradicciones entre dos ámbitos distintos que cada vez tienen lazos más estrechos.

La investigación respecto a la vinculación entre la academia y la industria destacó en primer lugar que es difícil hablar de ésta como un tema general, pues existen grandes diferencias entre las ramas, las etapas históricas, el entorno socioeconómico e institucional y la evolución de cada producto.

Sin embargo, puede decirse que la vinculación se posibilita cuando se superan ciertas asimetrías y contradicciones entre los ámbitos académico e industrial.

Existe una gama de posibles procesos de creación en la investigación y de relaciones entre esta y la producción industrial, sin embargo, se puede decir que la concepción del "modelo lineal", y en específico el caso del "empuje tecnológico" (o "científico") es válida a nivel global, e incluso puede ser importante para dar una primera explicación de lo que ocurre en cierto tipo de actividades, particularmente en las realizadas por las "industrias basadas en la ciencia", aunque con un nivel de complejidad mayor.

En la investigación ha resultado claro que las relaciones de vinculación entre la academia y la industria (o bien ciencia-tecnología-industria) deben ser vistas en conjunto, más que como una secuencia de pasos como un sistema con relaciones de influencia recíproca. Y también ha quedado marcado que al considerar el lugar y la importancia que la investigación juega en el funcionamiento y evolución de los procesos de producción, destacan en primer lugar las "industrias basadas en ciencia" frente a todas las demás.

Desde el principio de esta investigación se tenía conocimiento de que la aleación del Zinalco formaba parte de un grupo más grande de productos conocidos como "nuevos materiales", y que éstos a su vez están insertos en las que se conocen como "nuevas tecnologías", o "industrias basadas en la ciencia" (junto con las tecnologías de la información y comunicaciones, la biotecnología, las nuevas fuentes energéticas, etc.). Por lo anterior, se hizo necesario abordar -aunque fuera de forma muy general- a las nuevas tecnologías, para enmarcar la importancia de ésta aleación dentro de un proceso más extenso.

Se encontró: que las nuevas tecnologías se basan en un principio general cuya tendencia es aumentar el conocimiento científico y tecnológico incorporado en los productos, el cual se agrega al principio de reducción de costos, con un menor uso de energía y de materiales. Todo esto se ha facilitado con la reducción en los costos en el manejo y transmisión de información.

Las nuevas tecnologías originan nuevos objetivos que guían las innovaciones al menos al nivel de productos. En este sentido, los nuevos materiales forman parte de un enfoque que

busca aumentar la productividad y la eficiencia de los recursos naturales no renovables. Los nuevos materiales se pueden ubicar en alguno de los siguientes grupos funcionales: cerámicos, polímeros compuestos, semiconductores y aleaciones metálicas como el Zinalco.

El mayor uso de los nuevos materiales inició un proceso de sustitución de otros materiales tradicionales, principalmente de metales como el cobre, el estaño, el plomo, el níquel, y en menor medida el hierro; sin embargo, también se desarrollaron nuevas aplicaciones, que podrían alterar el efecto neto de esta tendencia a la sustitución. México ha ocupado un papel muy importante como productor de cobre y zinc, sin embargo, en la década de los setentas, estos metales comenzaron a resentir los efectos de la sustitución de materiales, cayendo en el desuso y sufriendo una reducción en sus precios de venta.

Al construir la historia del Zinalco (1972-1994) pudo observarse que la investigación que llevaría al desarrollo de la innovación inició con la búsqueda de sustitutos para la alumina y con investigaciones para aprovechar minerales nacionales que habían caído en desuso por la ya mencionada tendencia sustitutiva mundial, en la que los plásticos fueron apropiándose de aplicaciones que tradicionalmente eran de metales.

El Zinalco inicialmente se concibió como una solución. México tiene problemas para producir aluminio, por lo que prácticamente la totalidad de la demanda interna se satisface con importaciones. Ante esta situación se pensó en la posibilidad de sustituir las aleaciones ricas en aluminio por aleaciones ricas en zinc y así reducir la dependencia del exterior y dar uso a los materiales nacionales. Las implicaciones económicas del Zinalco aparecieron más claramente a lo largo del desarrollo de la innovación, fundamentalmente como resultado de la vinculación de instituciones académicas e industriales.

Puede decirse después de haber realizado la investigación que en el Zinalco como innovación con implicaciones económicas nunca se tuvieron claros ni el potencial económico ni los alcances productivos. En 1994 —cuando el Zinalco desapareció del mercado— en el mejor de los casos se tenían claras algunas ventajas. Esta falta de visión es parte de la forma en que se construyó el proceso de innovación, que inició con un empuje científico tecnológico. Este empuje aunque apuntaba hacia la creación de un mercado, no contempló mecanismos institucionales que involucraran signos de éste. Una vez visto el proceso en retrospectiva, se puede apuntar que iniciar también por el sentido contrario hubiera sido más deseable, es decir, si se hubiera pensado efectivamente en la demanda, el circuito demanda-oferta hubiera tenido más probabilidades de completarse con una mayor factibilidad. Las implicaciones en la vinculación de instituciones con este esquema deseable tal vez también hubieran sido más estrechas.

A estas conclusiones se llegó después de que buscando encontrar el modelo de desarrollo de la innovación seguido para desarrollar el Zinalco se observó que la combinación del "modelo lineal" en forma de "empuje tecnológico/científico" (*tech-push*) y el "modelo de redes" era útil para mostrar tanto el modelo empleado para crear la aleación como para identificar a las instituciones participantes y las vinculaciones entre ellas. Estos resultados se alejan de la suposición que se tenía al inicio de la investigación, pues el modelo del Sistema Nacional de Innovación no se expresa para el caso del Zinalco. En el caso de la

innovación del Zinalco no se encontraron las componentes propias del SNI (como se caracterizó en el capítulo 1), sin embargo, se puede considerar que las redes establecidas en el desarrollo del Zinalco podrían formar parte de un sub-sistema de las nuevas tecnologías.

Las relaciones establecidas en el modelo de innovación del Zinalco no pueden ser vistas como actividades separadas, ni tampoco vinculadas con relaciones lineales, sino que debe aprehenderse como un sistema de relaciones de influencia recíproca. La combinación de la idea del empuje tecnológico-científico y de la concepción de redes que relacionan instituciones son la base del modelo de desarrollo de la innovación seguido por el Zinalco. Las relaciones de vinculación en el modelo explicativo de la innovación se concentran en dos nodos: el Instituto de Investigaciones en Materiales y la compañía FALMEX S.A..

Alrededor de estos nodos institucionales existieron flujos de información (y en algunos casos recursos) que permitieron el desarrollo favorable de la nueva aleación tanto en el laboratorio como en la producción industrial. Sin embargo, al usar un esquema de redes para explicar la innovación se encontró que no contemplaba la evolución de las relaciones (ya que no todas se desarrollaron al mismo tiempo). El considerar esta evolución así como el papel de las personas⁵⁵ -que queda opacado por las instituciones- aportó una visión más clara sobre el desarrollo de la innovación Zinalco .

Para incluir la temporalidad de las relaciones establecidas éstas se agruparon en tres periodos caracterizados por directrices o metas generales en el proceso de innovación: 1) sustitución de aluminio; 2) desarrollo de una nueva aleación y; 3) comercialización del Zinalco; esta propuesta resultó útil para contemplar en un solo gráfico un resumen completo del proceso de innovación observado. El resultado es la figura 7, (pag. 76).

Tomando en cuenta la explicación propuesta para la innovación Zinalco se elaboraron posibles alternativas sobre algún esquema que pudiera haber brindado mayores posibilidades de éxito (ver cuadro 9, pag. 78). Entre las propuestas esta la posibilidad de haber incluido a al menos una empresa en la investigación básica, así como la existencia de una "institución de interfase" cuya finalidad fuera llevar a cabo las pruebas a escala industrial. Se propone que la "institución de interfase" pudo haber actuado como depositaria de las capacidades acumuladas, brindando al proceso de innovación posibilidades de continuar.

Finalmente, la investigación mostró la importancia de la existencia de un "investigador innovador" que actuó junto con un empresario con espíritu innovador. El papel de este tipo especial de investigador de la UNAM fue transformar una investigación científica en una investigación con importancia económica transitando del laboratorio a la empresa, para ser un centro fundamental en la vinculación y en la innovación. Es posible que este ejemplo pueda ser tomado en cuenta para otros casos de vinculación tecnológica, para analizar con mayor profundidad la importancia de los investigadores como ejes promotores de la vinculación con el sector productivo.

⁵⁵ En un sentido mas claro debieran considerarse las relaciones interpersonales, como un tipo de relación al interior de una red.

Así pues, el Zinalco en esta investigación sirvió para comprender la dificultad para caracterizar un modelo o proceso de innovación y para mostrar la complejidad de la vinculación, específicamente la vinculación entre la academia y el sector productivo. Los alcances de la investigación en última instancia logran señalar algunos puntos para investigaciones más profundas. Tal vez la lección más importante es el hecho de hallar límites para la teoría económica, la cual debe apoyarse cada vez más en otras disciplinas si quiere explicar este tipo de fenómenos sociales tan complejos. La realidad sigue rebasando la teoría económica.

REFERENCIAS.
Biblio-hemerográficas

1. ARCHIBUGI, D. y MICHIE, J. (Comp.), (1999); *Technology, globalization and economic performance*, Cambridge University Press, G.B.,
2. BALAZS, K. (1996), *Academic entrepreneurs and their role in 'knowledge' transfer*, SPRU, Reino Unido
3. BRITTO, J. (1999), *Technological Diversity and industrial network: An análisis of the Modus Operandi of co-operative arrangements*, SPRU, Reino Unido
4. CAMPOS, M. y CORONA, L. (1994), *Universidad y vinculación: nuevos retos y viejos problemas*, ED. UNAM, México
5. CARMONA, A. (1992), *Economía e Innovación*, Ed. Prensa y Ediciones Iberoamericanas, Madrid
6. CASAS, R.; DE GORTARI, R; SANTOS, (2000), M. "The building of knowledge spaces in México: a regional approach to networking" en *Revista Research Policy*, No. 29 Elsevier Press, Holanda
7. CASAS, R. y LUNA M. (Coord..) (1999), *Gobierno, academia y empresa en México: hacia una nueva configuración de relaciones*, Coed. UNAM-Plaza y Valdes, México
8. CIMOLI, M. (2000), "Creación de redes y sistema de innovación: México en un contexto global" en *Revista Mercado de Valores, Enero*, NAFIN, México
9. CIMOLI, M. y DOSI, G. (1994), "De los Paradigmas tecnológicos a los sistemas nacionales de producción e innovación" en *Comercio Exterior*, México
10. CORONA, J.; DUTRENIT, G; HERNÁNDEZ, C., "La interacción productor-usuario: una síntesis del debate actual" en *Revista Comercio Exterior, agosto 1994*, México
11. CORONA, L. (1999), *Teorías económicas de la tecnología*, Ed. Jus, México
12. DE LA PEÑA, J. "La enseñanza de las matemáticas: la crisis de las reformas" en *Revista Universidad de México*, No. 578-579; marzo-abril, 1999.

13. _____ "La cultura de las matemáticas" en *Revista Universidad de México*, No. 588-589; enero-febrero, 2000
14. DOSI, G. (1988) *Technical change and economic theory*, Pinter Publishers, Londres (Coed. Freeman, Nelson, Silverger, Soete)
15. _____ (1997), *Some notes on National Systems of Innovation and production, and their implications for economic analysis*, Doc. de trabajo, UAM, México
16. DUTRENIT, G. (1996) "La vinculación universidad-empresa en un macroproyecto de polímeros" en *Revista Comercio Exterior*, Octubre 1993, México
17. FRANSMAN, M. (2001), "Designing Dolly: interactions between economics, technology and science and the evolution of hybrid institutions" en *Revista Research Policy*, No. 30 (2001), Elsevier Press, Holanda
18. FREEMAN, C. (1982), *The economics of industrial innovation*, Pinter Publishers, Londres
19. FRITSCH, M. y LUKAS, R., (2001), "Who cooperates on R&D?" en *Revista Research Policy*, No. 30 (2000), Elsevier Press, Holanda
20. HAGEDOORN, J. and SCHAKENRAAD, J. (1992), "Leading companies and networks of strategic alliances in information technologies" en *Research Policy* No.21, abril
21. JHONSON, B. y LUNDEVALL, B. (1994), "Sistemas Nacionales de Innovación y aprendizaje institucional" en *Revista Comercio Exterior*,
22. MARTÍN, B. y ETZKOWITZ, H. (2000), *The origin and evolution of the university species*, SPRU, Reino Unido
23. MINIAN, I. y BROWN, F. (1997), *Alianzas estratégicas y redes inter-firma internacionales: Algunos problemas estáticos y dinámicos*, UNAM, México
24. MODY, A. (1990), *Aprendiendo de las alianzas*, Working paper, Banco Mundial
25. MORTON, I y SCHWARTZ, N., (1989) *Estructura de Mercado e innovación*, Ed. Alianza Editorial, Madrid

26. MYTELKA, L.K. (1999) *Local systems of innovation in a globalized world economy*. Working paper, UNCTAD
27. NELSON, R. (1993), *National innovation systems : a comparative analysis*, Oxford University, New York
28. OCDE (1992) *La technologie et l'économie: Les relations déterminantes*, Paris
29. OCDE (1994) *Políticas nacionales de la ciencia y de la tecnología: México*, Mundi-prensa Ed., México
30. ROSEMBERG, N.(1979), *Economía del cambio tecnológico* (traducción de Eduardo A. Suárez), Fondo de Cultura Económica, México
31. SÁNCHEZ, G. et al. (1998), *La investigación y vinculación tecnológica; un enfoque regional*, Ed. BUAP, México
32. SUTZ, J., "The university-industry relations in Latin America" en *Revista Research Policy*, No. 29 (2000), Elsevier Press, Holanda
33. TORRES, G. (1991), *Documentos de trabajo: Zinalco*, IIM, UNAM
34. _____(2000), "Ciencia, tecnología y políticas al fin de milenio" en *Revista Universidad de México*, No. 588-589, UNAM, México
35. VARIAN, H. (1998), *Análisis microeconómico 3ª ed.*, Antoni-Bosch Ed.
36. VEGARA, J. (1989), *Ensayos económicos sobre innovación tecnológica*, Alianza, Madrid
37. VENCE, X. (1995), *Economía de la innovación y del cambio tecnológico : una revisión crítica*, Siglo XXI, Madrid

Entrevistas

Dr. Gabriel Torres Villaseñor, Octubre de 2000, IIM, UNAM, México

Sitios Web

1. Secretaría de economía
2. Instituto Nacional de Geografía e Informática (México)
3. Universidad Nacional Autónoma de México