

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 mas 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 su diversas aplicaciones han dado origen a diversas cadenas de tecnologías que han transformado el aparato productivo y aun mas, 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 computadoras²¹, 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

²¹ 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 noventas 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 biotecnología²² 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 innovaciones²³, 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.

²² Centrada anteriormente en la industria vinícola y panificadora

²³ 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 conocimientos²⁴. 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.

²⁴ 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 forma²⁵. 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 compresión 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 formados 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.

²⁵ 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 sencillo 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 calefacción²⁶ 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.

²⁶ 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 1954y 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 Australia²⁷).

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, 1999²⁸).

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 lo 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

²⁷ <http://www.anl.gov/LabDB/Current/Ext/M115.html>

²⁸ http://arvind.coe.drexel.edu/other_links.html

nuevos materiales a partir de nuevos procesos, como es el caso de los aceros de alta resistencia o los metales superplásticos, crean una nueva demanda para los materiales tradicionales mejorando su competitividad.²⁹

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

²⁹ 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.

en la sustitución de materiales más eficientes, sino, además, en la reducción general del 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.

iii. 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 UNAM³⁰, 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.

³⁰ 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-Galvotec³¹.

Cuadro 5

Propiedades Físicas del Zinalco	
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.

³¹ 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	%	Lugar	1998	%
1°	Plata	17	1°	Plata	17
	Celestita	42		Celestit	38
	Bismuto	40		Bismuto	29
2°	Fluorita	13	2°	Fluorita	13
3°	Grafito	7	3°	Grafito	7
4°	Arsénico	7	4°		
5°	Antimonio	2	5°	Arsénico	6
	Cadmio	6		Antimonio	1
	Barita	5		Zinc	5
	Plomo	6		Cadmio	6
6°	Zinc	5	6°	Plomo	5
	Molibdeno	4		Molibdeno	4
7°	Sal	4	7°	Sal	4
	Manganeso	3			
8°	Yeso	4	8°	Yeso	4
9°	Azufre	2	9°	Cobre	3
	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 mecánica³² es semejante a la del acero estructural³³, 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, hierro gris, e inclusive acero en aplicaciones particulares.

i. Propiedades físicas

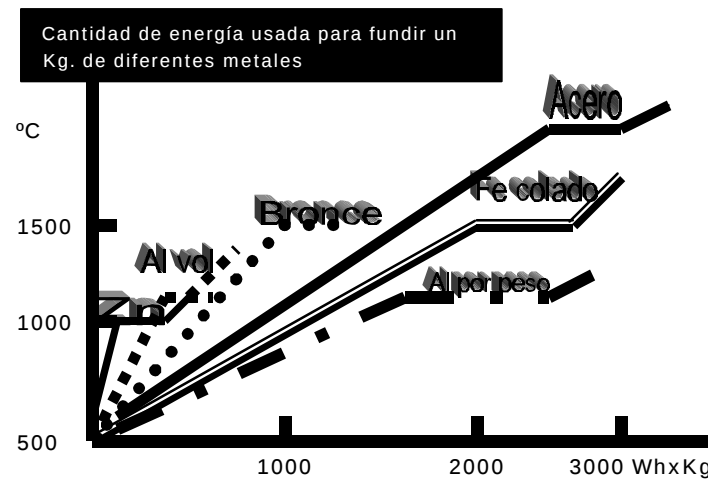
Las principales propiedades físicas del Zinalco se muestran en el cuadro 5. Como podemos notar de este cuadro, la aleación tiene un intervalo de solidificación bastante amplio que va desde 421 a 481 ° C, esto permite inyectar el material en los moldes, en un estado

³² 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.

³³ Conocido como SAE 1040

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

Figura 5



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. 5 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				
Propiedades Mecánicas del Zinalco				
	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		
Propiedades Mecánicas del Zinalco		
	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.³⁴

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 llevó 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 sí 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 México³⁵, del que se tienen excedentes importantes anualmente. De una producción aproximada de 280,000 toneladas³⁶ 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.

³⁴ 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.

³⁵ 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.

³⁶ 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 Supral³⁷ 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..

³⁷ 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 producían 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 1977³⁸, 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 eutectoide Zn - Al. Las propiedades conocidas de este eutectoide permitían proveer su aplicación en la industria de la construcción ya que en tales aplicaciones el peso

³⁸ En una reunión de coordinación realizada en Brasil, de acuerdo con notas de Torres (1991).

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

Siguiendo esta línea de investigación la OEA a partir de 1979³⁹ 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

³⁹ 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 Zinalco⁴⁰. 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

⁴⁰ 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 Universidad⁴¹.

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 Copeles, 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

⁴¹ 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 tiempo⁴².

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,

⁴² 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 un 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 macroeconómico⁴³, 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 Etzkowitz)⁴⁴.

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.⁴⁵

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 electrónico⁴⁶. 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.

⁴³ 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

⁴⁴ Etzkowitz plantea específicamente una "segunda revolución académica", en la que la academia debe justificar su existencia produciendo conocimiento útil para la sociedad/sector productivo

⁴⁵ Mas allá de estas suposiciones se hallan las motivaciones personales que impulsaron al Dr. Gabriel Torres como físico de materiales

⁴⁶ 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, fierro 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 mas 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.

C. 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 materiales⁴⁷ 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.

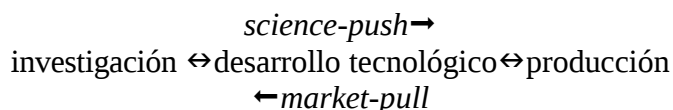
Se han considerado dos modelos base para explicar al Zinalco como innovación: inicialmente se puede explicar al Zinalco usando el modelo lineal, específicamente como un caso de empuje tecnológico (aunque es más claro entenderlo como "empuje científico"); sin embargo, este modelo no explica todo el proceso 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"

⁴⁷ 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.

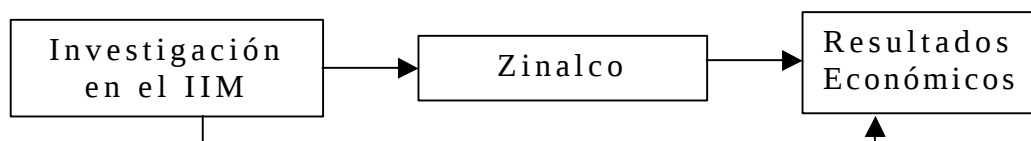
Al pensar en los altos costos del aluminio y la creciente demanda de este metal en México en los años setenta puede preguntarse si esta demanda fue un actor que motivó a desarrollar la innovación. La respuesta es no, pues en el caso del Zinalco fue el IIM quien propuso un proyecto de investigación, si la industria nacional hubiera solicitado (o demandado) una investigación para resolver el problema, podría ser mas lógico pensar en una demanda de innovación⁴⁸, 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.

⁴⁸ 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 mas compleja a partir de este punto.

Mas 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 cooperación⁴⁹.

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

⁴⁹ 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:

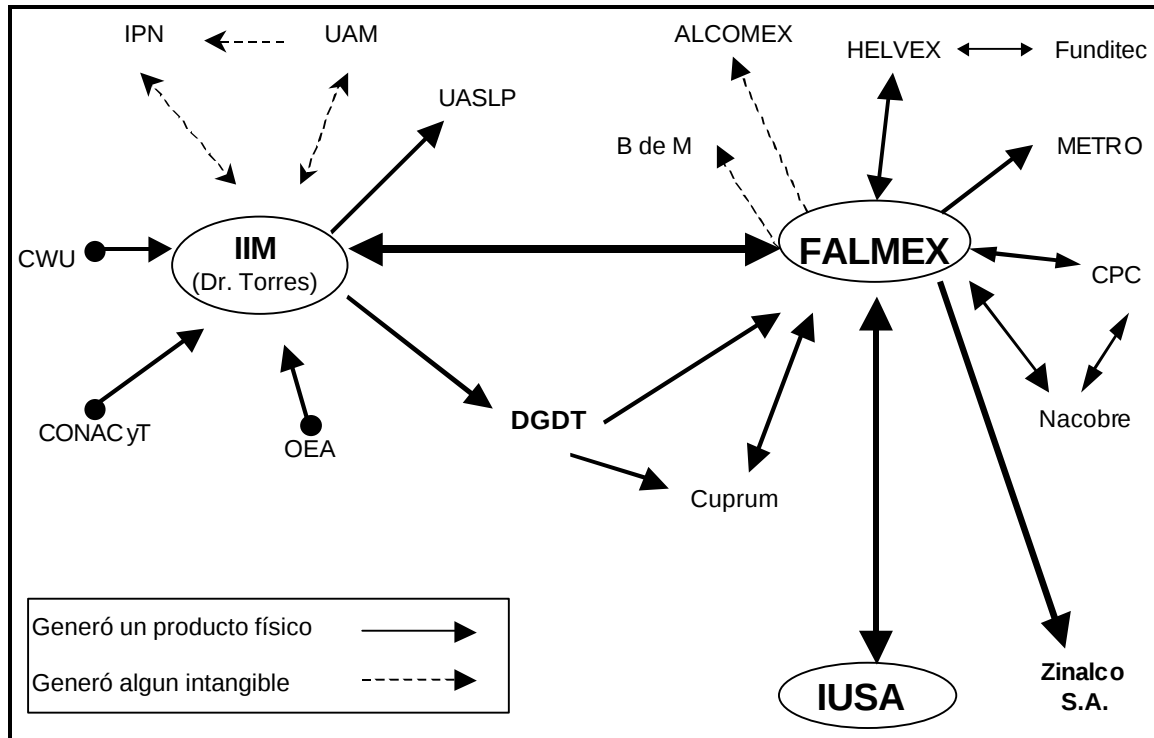
Cuadro8
Instituciones relacionadas con el Zinalco

Fondos		Institución (es)	Relación	Producto	Directriz
		IIM-Case Western University	Form. De Rec. Hum.	Doctorado G.Torres	Sustitución de aluminio
Fondos del instituto	1973	IIM		Investigación prop. del cobre	
	1974	IIM		Investigación prop. del cobre y zinc	
	1975	IIM		Investigación prop. del cobre	
	1976	IIM		Investigación prop. del cobre y zinc	
	1977	IIM-OEA	Investigación p. sustituir aluminio	ninguno	
	1978	IIM-IPN-UAM	Investigación p. sustituir aluminio	ninguno	
Fondos OEA	1979	IIM-OEA- CONACyT	Inv. Básica	Conocimiento del eutectoide Zn-Al	Nueva aleación Basada en Zinc
	1980	IIM-OEA- CONACyT	Inv. Básica	Primera aleación Zn-Al del IIM	
	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	Nivel 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	Lamina de Zinalco (nva. 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 Magenéticas	Juntas magneticas 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 mas 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

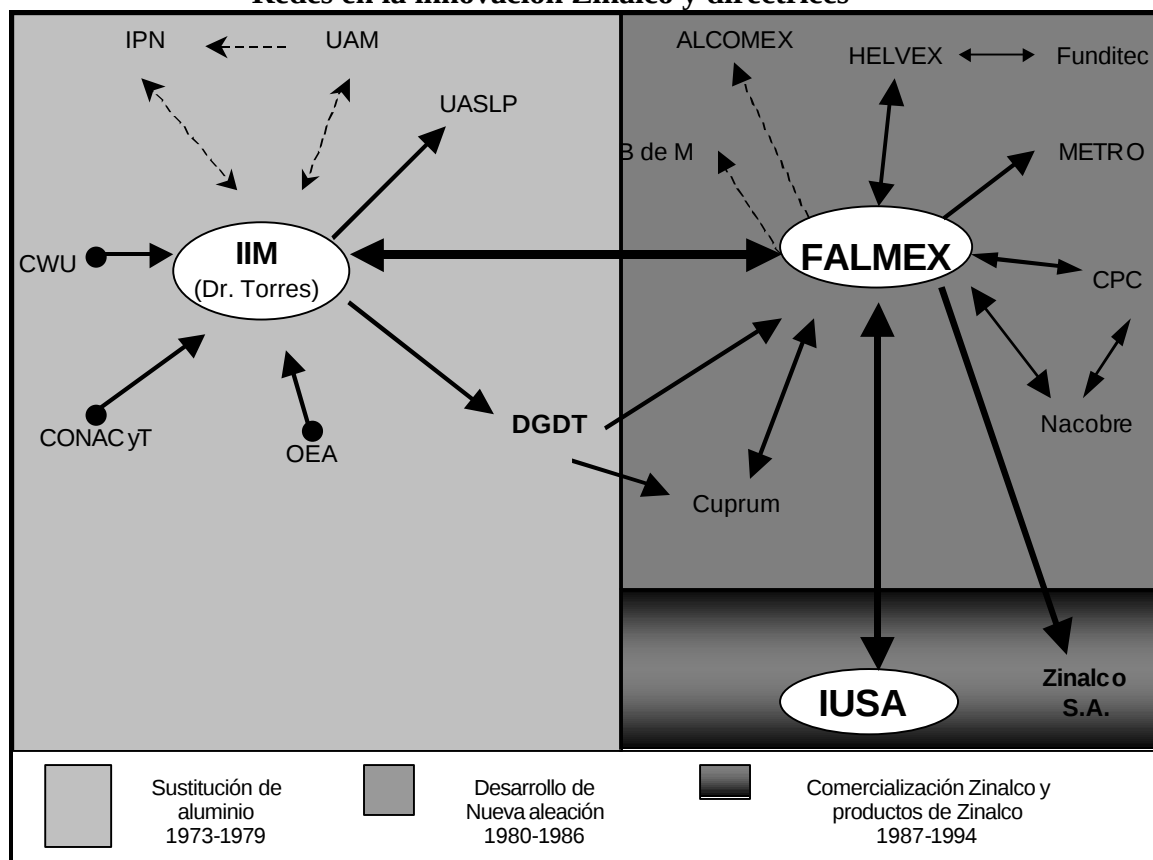
Para este caso, no es fácil resolver el problema que presenta la temporalidad de las relaciones institucionales, aunque la esquematización realizada puede ser dividida sin complicaciones en tres distintas directrices. A cada una de estas directrices corresponde un número de relaciones que engloba tres 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 DGD. 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 simultánea 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 concentrados⁵⁰.

Cuadro 9
Modelos Explicativos y Normativos en la Innovación Zinalco

	ETAPAS	MODELO EXPLICATIVO		MODELO NORMATIVO
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

⁵⁰ 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 mundial⁵¹. 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 personas⁵² -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.

⁵² 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 LUNDVALL, 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