

Derechos reservados de El Colegio de Sonora, ISSN 0188-7408

## Convergencia tecnológica y nacimiento de las maquiladoras de tercera generación: el caso Delphi-Juárez\*

Arturo Lara Rivero\*\*

Resumen: El objetivo de este trabajo es el de explicar el nacimiento de un moderno, inédito centro de investigación y desarrollo de autopartes electrónicas: Delphi-Juarez. La pregunta básica que guía este trabajo es la siguiente: ¿cuáles son las implicaciones de la convergencia tecnológica electrónica/automotriz sobre el número, distribución espacial y jerárquica de los proveedores? Esta convergencia tecnológica viene a revalorizar las antiguas funciones eléctricas (y tanto a los viejos proveedores de partes eléctricas maduras como a los proveedores de arneses) y a insertarlas en una nueva jerarquía tecnológica con interacciones más intensas entre proveedores de arneses, léase maquiladoras del sector autopartes electrónicos/eléctricos y las empresas propiamente automotrices. Resulta imprescindible leer la formación del centro de investigación y desarrollo Delphi-Juárez desde la perspectiva de los procesos de convergencia, resolución de desequilibrios tecnológicos y coevolución tecnológica del campo electrónico y automotriz.

**Palabras clave:** autopartes electrónicas, maquiladoras, convergencia, empresas automotrices, desequilibrios tecnológicos, investigación y desarrollo.

\* Agradezco a los dos lectores anónimos por las valiosas observaciones que hicieron al presente trabajo. Naturalmente toda la responsabilidad es del autor.

\*\* Profesor-investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Departamento de Producción Económica. Correo electrónico: alara@cueyatl.uam.mx

**Abstract:** The purpose of this work is to explain the emergence of a modern, original electronic auto parts research and development (R&D) center: Delphi Juarez. The basic question which guides this work is as follows: What are the implications of the electronic/automotive technological convergence on the number, space and hierarchical distribution of suppliers? This technological convergence reevaluates the old electrical functions (both the old suppliers of developed electrical parts and the harness suppliers) and insert them in a new technological hierarchy with more intense interactions between harness suppliers, that is, between electronic/electrical auto parts sector maquiladora plants and automotive companies. It is essential to read about the establishment of the Delphi-Juarez R&D center from the convergence processes perspective, the solution of technological imbalances, and the technological coevolution of the electronic and automobile fields.

**Key words:** electronic autoparts, maquiladora plants, convergence, automotive companies, technological imbalances, research and development.

## Introducción

El objetivo de este trabajo es el de explicar el nacimiento de un moderno, inédito centro de investigación y desarrollo de autopartes electrónicas. Esta maquiladora, creada en 1995 por Delphi Automotive Systems, empleaba en 1999 a 1600 ingenieros, técnicos y personal de soporte.

Con excepción del trabajo de Carrillo y Hualde (1997), quienes desde una perspectiva sociológica describen y explican la existencia de Delphi-Juárez, es muy poco lo que se conoce de esta maquiladora. Sin duda es necesario estudiar esta singular e importante experiencia, tanto por el volumen de recursos comprometidos, la cantidad y calidad de la fuerza de trabajo como por el conteni-

do y dirección de las actividades de este centro de investigación y desarrollo.

Sin embargo, conviene no limitarnos a etiquetas, como aquellas denominaciones de maquiladoras de segunda, o tercera o cuarta generación. Las etiquetas sirven para denominar a las cosas. Arrojan luz. Sin duda un paso saludable para diferenciar estas maquiladoras de aquellas que quedaron en las primeras escaleras, y que sólo aspiran a explotar el diferencial salarial existente en la frontera norte del país. El peligro de las etiquetas, por lo demás atractivas de orden y jerarquía, es que terminan atribuyendo un sentido teleológico a las maquiladoras. Se concluye frecuentemente *a priori* sobre las bondades casi "necesarias" del tránsito de la segunda generación a la tercera generación de maquiladoras, cuando lo crucial reside precisamente en preguntarse sobre las múltiples determinaciones del objeto de estudio y describirla en su despliegue. Por el camino que se propone aquí, se puede explicar por qué algunas maquiladoras están viviendo en el fondo del atraso, aprovechando simple y sencillamente el diferencial salarial de México respecto de los Estados Unidos; mientras que unas cuantas, maquiladoras muy selectas, están escalando continuamente en dirección de procesos propiamente manufactureros y en el caso de Delphi-Juarez, hacia actividades de investigación y desarrollo.

Las preguntas básicas que guían este trabajo son las siguientes:

1. ¿Cuáles son las implicaciones de la convergencia tecnológica electrónica/automotriz sobre el número, distribución espacial y jerárquica de los proveedores? Esta convergencia tecnológica viene a revalorizar las viejas funciones eléctricas (y por lo tanto a los viejos proveedores de partes eléctricas maduras, como a los proveedores de arneses) y a insertarlas en una nueva jerarquía tecnológica con interacciones más intensas entre proveedores de arneses, léase maquiladoras del sector autopartes electrónicos/eléctricos, y las empresas propiamente automotrices. Desde esta perspectiva, es posible explicar el nacimiento de las maquiladoras de tercera generación.
2. ¿La revalorización tecnológica de determinados componentes eléctricos maduros y la necesidad de modificar su diseño, flexi-

bilidad, calidad y productividad conlleva a las empresas del sector a establecer estrategias de cooperación más intensas? Los procesos de convergencia tecnológica resultan continuamente en callejones sin salida que muchas veces sólo la cooperación inter-firma puede enfrentar. Pero a la vez resulta peligroso ingresar a un proceso de intercambio de información si no se cuenta con estrategias tecnológicas refinadas, que ayuden a la empresa a establecer qué o cuál información se puede intercambiar, y naturalmente cuál no. La segunda consideración fuerte de este trabajo se vincula con la explicación de la propensión a la colaboración entre proveedores y usuarios. No se pueden atender los procesos de reconfiguración de las maquiladoras, y en este caso la existencia de las maquiladoras de tercera generación, sin considerar la estrategia de competencia tecnológica de las empresas. Estrategia tecnológica que es necesario descomponer y describir.

3. ¿Dónde radica la importancia de la resolución de desequilibrios tecnológicos en la relación ensamblador-proveedor? ¿Dónde reside el carácter estratégico de la resolución de desequilibrios tecnológicos en los procesos de bifurcación y en la senda que tome el futuro tecnológico de la empresa? ¿Cuál es la importancia de las estrategias de acumulatividad y apropiabilidad de las rentas tecnológicas?
4. Finalmente, ¿cuál es la importancia de las estrategias de *lock-in*, esto es, de las estrategias de difusión/segmentación de los diseños o estándares dentro de redes jerárquicas de empresas y campos tecnológicos? Este aspecto es uno de los pilares sobre el cual se reconstruye la historia de las maquiladoras de tercera generación, el caso de Delphi, localizado en el valle del arnés (Ciudad de Juárez), una región altamente especializada en el ensamble de arneses.

El trabajo está dividido en siete partes. En la primera, se caracteriza la naturaleza de los procesos de convergencia tecnológica del sector automotriz y el sector electrónico. En la segunda parte se discute la influencia que tiene la solución de los desequilibrios tecnológicos (DT) en el ritmo y dirección de la trayectoria tecnológica. En la tercera parte se profundiza el análisis de los DT, desde la perspec-

tiva de los factores y mecanismos que están en la base de los procesos de incertidumbre e indeterminación. En la cuarta, se reconstruye la historia de la primera experiencia de sustitución de componentes eléctrico-mecánicos por componentes eléctrico-electrónicos: carburado por el sistema electrónico de *fuel injection*. Este ejemplo contribuye con información clave para ilustrar los problemas de irreversibilidad, resistencia y mecanismos de cambio que trae aparejado la convergencia tecnológica en el sector automotriz. En la quinta parte se analizan las estrategias que siguen los actores para enfrentar la competencia tecnológica en el sector automotriz. En la sexta, se describe muy sintéticamente la reestructuración de General Motors (GM) y de Delphi, puesto que sólo a partir de los nuevos objetivos que le confiere GM a Delphi se puede captar el sentido de la creación de Delphi-Juárez. En la séptima, se describe la naturaleza de la interacción tecnológica de Delphi-Juárez y las empresas de la región. Finalmente se concluye.

## Convergencia tecnológica del sector automotriz y el sector electrónico

La competencia tecnológica se expresa, en particular, en la búsqueda de nuevos productos, los cuales integran cada vez más nuevos campos tecnológicos. Procesos de convergencia tecnológica, que enfrentan no a empresas aisladas sino a agrupamientos de empresas (Greenstein y Khanna, 1997). Las empresas del sector electrónico y automotriz se convierten en México, como a escala internacional, cada vez más en empresas multiproductos y multitecnológicas. En México, la convergencia de actividades de la industria automotriz con la industria electrónica es la expresión de la integración que se produce en el sector eléctrico y automotriz a escala mundial. Esto se manifiesta en el hecho de que los líderes de la industria electrónica automotriz emergen, por una parte, como divisiones de empresas tradicionalmente especializadas en el sector automotriz (Delphi Automotive, Ford ACD, Bosch, etcétera) y por otra, se encuentran las empresas líderes de la actividad electrónica que se inician en la manufactura de componentes electrónicos para el sector automotriz,

como: Hitachi, NEC, Phillips y Toshiba entre las más importantes (*The World Automotive Components Industry*, 1996).

La trayectoria tecnológica de la industria automotriz se despliega dentro de un campo más amplio que la trayectoria de la electromecánica o de la mecánica en general, ya que opera en un campo tecnológico más difuso, volátil y no fácil de reproducir o apropiarse como la microelectrónica y los nuevos materiales. Por esta razón, por el entrecruzamiento de trayectorias tecnológicas de diferente naturaleza, es que en el ámbito internacional son frecuentes las alianzas y formas de cooperación tecnológica entre empresas del sector automotriz y el sector electrónico. La innovación continua y la ausencia de diseños dominantes, que caracterizan la fase actual del sector automotriz, promueven intercambios intensos de información tecnológica entre compañías. La convergencia tecnológica puede ser resultado espontáneo o bien fruto de una estrategia consciente de las empresas por integrar de una manera diferente las viejas con las nuevas tecnologías.<sup>1</sup> Esto implica la tarea extremadamente difícil de coordinar y explotar múltiples competencias tecnológicas existentes dentro de cada agrupamiento (Yoffie, 1997).

Se han identificado doce sistemas electrónicos integrados en un automóvil y la tendencia a crear un mayor número de aplicaciones aumenta, conforme mejoran las capacidades de diseño de los fabricantes, así como por las nuevas y exigentes demandas de los usuarios y de los gobiernos.<sup>2</sup>

La integración de la electrónica en un automóvil puede implicar:

1. Sustitución de componentes. Los sistemas electrónicos vienen a sustituir viejas funciones. Por ejemplo, los sistemas mecáni-

<sup>1</sup> Es remota la viabilidad económica de sobrevivencia de un nuevo diseño que parta de la total y esencial novedad.

<sup>2</sup> Se identifican los siguientes espacios donde se integran módulos electrónicos en un vehículo automotor: sistemas de control para vehículos eléctricos; fuerza motriz y controles de chasis; sistemas de simulación y aplicación; sistemas de control de motor; sistemas de inducción y componentes; sistemas de distribución eléctrica; mecanismos de transmisión, estructura electrónica del vehículo; sistema de información del conductor; sistema de seguridad para pasajeros; motores eléctricos, sistemas eléctricos del motor. Drive With Experience, Siemens.

cos e hidráulicos que han sido reemplazados por sistemas eléctricos y electrónicos, o bien la sustitución del carburador por el sistema *fuel injection*, etcétera.

2. Integración de nuevas funciones. Nuevos sistemas electrónicos se incorporan para mejorar el sistema de navegación, información y comunicaciones o de seguridad para los pasajeros (sistemas de bolsa de aire frontal).
3. Procesos de hibridación. Combinación de una parte nueva con una función vieja (frenos de disco ventilados).

A fines de la década de los setenta, los componentes electrónicos constituían el 1% del costo de un automóvil; en la actualidad representan el 20%. Participación del sector automotriz en el mercado de la industria electrónica que se expresa en el hecho de que el sector automotriz demanda el 5% de la venta de semiconductores (The Semiconductor Industry Association, 1995). Del mismo modo, el 14% de la producción de tarjetas de circuitos impresos está destinada al sector automotriz (Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits, 1996).

## Desequilibrios tecnológicos y dirección del cambio tecnológico

A fines de la década de los sesenta resultaba difícil la integración de los componentes electrónicos en la industria automotriz. Ésta requería componentes pequeños, de bajo costo, confiables, no sensibles a las altas temperaturas y a la vibración que provenía de los motores de combustión y/o de las condiciones de las carreteras, resistentes además a las elevadas temperaturas que alcanzaban los motores. Naturalmente, los componentes grandes, como los bulbos al vacío (*vacuum tube*), pesados, voluminosos, frágiles y que añadían calor al ambiente no resultaban viables para ser integrados en un automóvil. Se requerían nuevos diseños. Los bulbos eran incapaces de operar en el motor de combustión interna, ya que el ambiente interior del mismo se volvía "hostil" al uso de los componentes electróni-

cos, debido a los gases y los elevados niveles de vibración y temperatura (200 Fahrenheit) que alcanzaba el motor. Era necesario mejorar la tecnología de los componentes electrónicos. Los transistores se introdujeron en el mercado a principios de los años 70; en 1974, el microprocesador. Esta difusión que permitió la introducción de componentes electrónicos en el automóvil y en segundo lugar, como una consecuencia, exigió la transformación de la arquitectura de los arneses. Se lograron avances tecnológicos en los semiconductores y en los circuitos integrados que permitieron diseñar una unidad de control electrónico confiable, barato y fácil de reemplazar.

El primer componente crítico que fue sustituido por sistemas electrónicos fue el carburador.<sup>3</sup> Proceso de integración que provocó el desarrollo de tres subsistemas electrónicos. Primero, el sistema electrónico *fuel injection* (EFI), que regula el flujo de aire y combustible que ingresa en el motor de combustión. Segundo, el sistema electrónico que provee de energía para alimentar las explosiones del motor de combustión. En tercer lugar, el sistema electrónico que controla, regula la recirculación de gases, con el propósito de disminuir los niveles de contaminación.

Este proceso de diversificación en el uso de los componentes electrónicos exigía a su vez la solución al problema del control de cada uno de estos sistemas. Frente a ello, se propusieron dos opciones. Una que señalaba los bajos costos y ventajas de contar con una sola computadora que de una manera "centralizada" controlara cada uno de los subsistemas electrónicos. La otra opción proponía construir un sistema múltiple de controles electrónicos. Esta propuesta enfatizaba el hecho de que un sistema redundante proveía mayor seguridad frente a una contingencia y al mismo tiempo mayor flexibilidad para resolver cada uno de los cuellos de botella que se presentaran, o sencillamente mayores márgenes de maniobra para refinar cada uno de los subsistemas. John Weil, director del centro de investigación y desarrollo de Bendix señala:

<sup>3</sup> Procesos de sustitución que se iniciaron en 1951, dentro de las instalaciones del corporativo Bendix.

We can foresee a system of micro-computers designed to control different aspects of the car's performance, which, while not linked together through a main computer, would function by sharing information. For example, one computer system could control the engine; another computer system could control the brakes; a third could control the passenger's environment. All would communicate with each other, yet each would be able to operate independently (Porter, 1983:304).

Desde los inicios de la década de los setentas se han desarrollado con éxito numerosas aplicaciones de la tecnología de los semiconductores en la industria automotriz. Sin embargo, uno de los cuellos de botella que deben resolverse para poder integrar más componentes electrónicos se relaciona con el hecho de que el actual sistema alternador/eléctrico es incapaz de responder a las mayores cargas y demanda de energía (kw) que los nuevos módulos electrónicos requieren. Desde esa perspectiva se está conformando un nuevo estándar de 42v; nueva norma que exige por su parte construir un nuevo y más eficiente alternador y nuevas formas también de administrar la energía. En particular construir una batería de mayor rendimiento y menor tiempo de recarga. Cada empresa está inmersa en una búsqueda singular. Delphi Automotive Systems, BMW, se encuentran desarrollando una batería auxiliar vinculada con la tecnología de fuel cells. Daymle-Chrysler está mejorando el alternador y los sistemas de encendido y apagado. Toyota, por su parte, está desarrollando nuevos sistemas para administrar y generar energía.

## Bifurcación e indeterminación tecnológica

La transición del motor de gasolina a otra trayectoria tecnológica se encuentra indeterminada. La industria automotriz se halla en un momento de transición, un momento de realineamiento tecnológico, donde se disputan la hegemonía nuevas tecnologías, al igual que en los años formativos de la industria automotriz (1885-1905), época en la que competía por la primacía el motor de combustión interna con el motor eléctrico. De forma similar, a fines de la década-

da de los noventa, con la búsqueda de nuevas alternativas de energía, la competencia tiende a abrirse en tres trayectorias tecnológicas:

1. Automóvil eléctrico. Es un vehículo totalmente eléctrico. Estos automóviles tienen un límite: pueden avanzar en tanto no necesiten recargar las baterías y, dada la ausencia de puntos de recarga de baterías para automóviles eléctricos, esta tecnología resulta inconveniente. General Motors con el EV1, Toyota con el RAV4-EV y Nissan entre las empresas más importantes,<sup>4</sup> todas ellas sufren de alto costo y de rango tecnológico limitado. Por ejemplo, en el caso del RAV4-EV, el automóvil eléctrico de Toyota, se requieren 24 baterías (híbrido y níquel), la cual tiene un límite de movilidad de 200 Km. y recargarla toma más de 8 horas.<sup>5</sup>

2. Automóvil híbrido. Más práctico en el corto plazo, este automóvil híbrido lo es, puesto que combina un motor alimentado por una batería y un motor de gasolina. Toyota (versión gasolina /electricidad), Nissan (versión gasolina/electricidad) y Audi (versión diesel /eléctrico) han lanzado cada uno sus propios diseños. Un microchip establece automáticamente la alternación de los dos motores de acuerdo con las necesidades. Por ejemplo, ingresa al modo eléctrico en las ciudades, donde el motor de combustión puede estar funcionando a bajos niveles de eficiencia, y por otra, cuando el automóvil requiere mayor poder, fuera de las ciudades o en autopistas, ingresa al uso del motor de gasolina.<sup>6</sup> A diferencia de la anterior versión, las baterías se recargan mientras el carro está en operación, puesto que el motor de combustión genera electricidad que alimenta las baterías. DaimlerChrysler está también trabajando en esta tecnología y el más reciente desarrollo es la implementación de

<sup>4</sup> Más de 20 empresas en Europa producen vehículos eléctricos. Cowan y Hulten (1996).

<sup>5</sup> La competencia entre la gasolina y la batería de aluminio beneficia a la primera. Medidas científicas muestran que el potencial de almacenar energía de la batería de aluminio es a lo sumo un tercio de un kilogramo de gasolina. Cowan R. y Hulten (1996:78).

<sup>6</sup> Una computadora se encarga de administrar la carga de la batería y su entrega, recuperando inteligentemente la energía cinética durante la desaceleración y el frenado, y abasteciendo asistencia eléctrica durante la aceleración y el recorrido.

un asistente eléctrico en una Dodge Durango, vehículo experimental en el cual las llantas traseras son movidas por un motor V6 de 3.9 litros, mientras que las delanteras de manera independiente son accionadas por un motor eléctrico.

3. Pilas de combustible (*fuel cell*). Un tercer enfoque, el automóvil *Necar* (*New Electric Car*), impulsado de manera experimental por Mercedes Benz, alimenta el motor con pilas de combustible, el cual combina hidrógeno y oxígeno para generar electricidad.<sup>7</sup> Sin embargo, el almacenamiento del hidrógeno representaba un problema para el funcionamiento eficiente y práctico del vehículo, razón por la cual la firma decidió emplear metanol (el cual ayuda a producir hidrógeno).<sup>8</sup> Con lo anterior se lograron realizar grandes mejoras que se tradujeron en la reducción del volumen, medidas y peso de las pilas de combustible, así como en el poder que éstas dan al motor, ya que en los primeros modelos de *Necar* sólo se alcanzaban de 130 a 260 Km., mientras que el *Necar 4* ofrece 450 Km.

Cada empresa, de acuerdo con sus capacidades tecnológicas acumuladas, sedimentadas y encarnadas en sus rutinas, equipos, ingenieros, centros de investigación y desarrollo, se encuentra buscando respuestas altamente específicas a sus problemas; a aquellos problemas que emergen de la manera singular, única, de combinar sus recursos (internos y externos) humanos, organizacionales y materiales.

## Irreversibilidad, resistencia y mecanismos de cambio

Cada una de estas trayectorias se enfrenta a DT específicos de cada empresa. Conviene dejar en claro que la resolución de DT no es un proceso en que únicamente cuenta la agenda de la tecnología, como una realidad pura, no contaminada de conflictos. Los historiadores de la tecnología han puesto en evidencia que el proceso de

<sup>7</sup> Y por otra parte liberar vapor a través del tubo de escape.

<sup>8</sup> El metanol se puede crear con el gas natural que normalmente desperdicia la industria petrolera.

resolución de DT es altamente sensible a la cantidad de recursos y formas organizativas (Hughes, 1987; Joerges, 1988); en particular a las expectativas de cada uno de los actores del proceso innovativo. Resulta instructivo rescatar los problemas que enfrentó Bendix para pasar de la producción del carburador a la manufactura del sistema *fuel injection* (EFI). Las expectativas de los ingenieros de Bendix encargados de desarrollar el nuevo sistema se encontraban encerradas dentro del viejo paradigma:

We didn't honestly believe (señala un ingeniero de investigación y desarrollo del corporativo Bendix) that something as different as EFI was practical in the us auto market. In addition, the people directly responsible for automotive operations were wary of becoming involved in a new technology, especially one that included electronics as primary component. No one was willing to kill the concept, given what Bosch was doing with it in Europe, but no one was willing to back it as an investment, either. Therefore, EFI languished for several years (Porter, 1984:305).

Cuando Bendix decidió desarrollar el sistema EFI, requirió contratar ingenieros electrónicos de compañías como General Electric, Texas Instruments y Rockwell. Fue un proceso no carente de conflictos organizacionales. Las instalaciones asignadas a la producción de una unidad de control electrónica, ECU (Electronic Control Unit), distan mucho de las antiguas condiciones, no sofisticadas, para producir componentes mecánicos. Producir una ECU requiere personal altamente capacitado, nuevos instrumentos y sobre todo un ambiente libre de polvo y humo. Para producir un EFI se necesita maquinaria de alta precisión y de alta confiabilidad; un conjunto de operaciones requieren tolerancias de entre 1 a 1.5 micrones.<sup>9</sup>

El cambio de un paradigma a otro implicó, en esta experiencia, la aparición de conflictos entre los actores envueltos en el paradigma eléctrico-mecánico con los actores que impulsan el nuevo para-

<sup>9</sup> El tamaño mínimo eficiente de una planta para producir un EFI es de un millón de unidades al año y una inversión de entre 8 y 10 millones de dólares. Para alcanzar la parte plana de la curva de aprendizaje es necesario producir entre 500 mil y un millón de unidades de EFI.

digma. Ello se expresó en la poca cooperación de determinadas categorías de administradores e ingenieros de la planta Bendix, los cuales estaban más preocupados por el desarrollo de sistemas eléctricos–mecánicos que por la producción de nuevos componentes electrónicos.<sup>10</sup> Crane, responsable del proyecto ECU de Bendix, señala que:

Some of the problems were a function of the old management's attitude toward the ECU (Electronic Control Unit) project. The idea of spending \$1 million on a piece of electronic test equipment would send them into shock (Porter, 1984:308).

Los DT generan en los actores resistencia o una débil disponibilidad de reemplazo o desplazamiento (total o parcial) del anterior paradigma.<sup>11</sup> Débil cooperación de los ingenieros asociados a la producción del carburador con los ingenieros vinculados a la nueva trayectoria de la electrónica, que se explica también por la necesidad de la empresa de recuperar el capital comprometido con la vieja trayectoria tecnológica. Un industrial vinculado a la producción de carburadores observa que:

When you consider that the auto companies probably have between \$5 billion and \$8 billion invested in plant and tooling for the manufacture of carburetors, it is no surprise that they are pulling out all the stops they can in R&D to prolong the life of

<sup>10</sup> Se debilitan y/o se derrumban las antiguas formas de comunicación, así como los estímulos que alentaban el intercambio de información tecnológica, las cuales normalmente proveían de certezas a un bajo costo de transacción y negociación. Los DT reducen el stock de certidumbres de los actores y los obligan a construir interactivamente el problema, así como sus mapas cognitivos. Los DT crean un sentimiento intenso del tiempo a nivel de los individuos, equipos de trabajo, empresa y agrupamiento tecnológico de empresas.

<sup>11</sup> Se tienen que distinguir contingencias que, al modificar variables esenciales, afectan u obligan a repensar los paradigmas sin abandonarlos o si plantear una seria discontinuidad; en el otro extremo contingencias o desequilibrios tecnológicos que provocan cambios excesivos de las formas de pensar la realidad.

the carburetor systems more expensive and more complex to adjust and repair. It's still unclear how far they can take carburetor technology (Porter, 1984:309).

En los Estados Unidos, el proceso de transición del carburador al sistema EFI se vio presionado por cambios en la naturaleza de la demanda, así como en nuevas regulaciones ambientales y de uso de energía<sup>12</sup> promovidas por el gobierno. La primera reacción de las empresas del sector fue la de refinar el carburador, convirtiendo a este dispositivo del automóvil en una parte más compleja, cara y difícil de ajustar. Pero si bien los ajustes al carburador lograban disminuir los niveles de contaminación, lo hacían disminuyendo el poder de las máquinas, sobre todo cuando se debía emplear la capacidad máxima del motor en carreteras o en montañas.<sup>13</sup> El obstáculo mayor, sin embargo, era que las regulaciones ambientales tenían como propósito disminuir progresivamente los niveles de contaminación. Frente a ello, las empresas productoras del sistema antiguo de carburador, inmersas dentro del paradigma electro-mecánica no contaban con las capacidades para encarar este cambio. El mercado, por su parte, exigía motores con más fuerza y a la vez más eficientes en el uso de la gasolina, conflicto que el sistema de carburador no podía resolver. Era necesario un nuevo paradigma y una nueva tecnología.

La historia de la tecnología indica que la resolución de problemas tecnológicos es altamente sensible a las condiciones iniciales, en particular de los accidentes históricos (David, 1986). Un pequeño evento puede convertirse en un poderoso "atractor" para dirigir

<sup>12</sup> En 1970, y como expresión de la preocupación pública por la calidad del ambiente, el estado de California promulgó la primera ley de control de contaminación automotriz, la cual especificaba las cantidades máximas de contaminación que debiera producir un automóvil. En 1972, esta regulación se extiende a nivel nacional y se aprueba la Clear Air Act. La segunda presión sobre la industria automotriz fue el establecimiento por parte del gobierno federal de una ley (Energy Policy and Conservation Act-December 1975), la cual tenía como propósito disminuir el consumo de gasolina por millas; ésta establecía un mínimo de 18 millas por galón para los modelos de 1978 y 27.5 millas por galón para los modelos de 1985.

<sup>13</sup> Atributo por lo demás central para el conductor norteamericano.

y/o aglutinar en torno a él los demás elementos del sistema, creando de esta manera un campo de equilibrio muy difícil de romper. Una vez que se activa el proceso de adaptación o de solución de los DT, se aceleran procesos tecnológicos (irreversibilidad) y económicos (economías de escala, curvas de aprendizaje, economías externas, rendimientos crecientes, hábitos y preferencia de los consumidores, etcétera) complementarios que tienden a reforzar una determinada tecnología, independientemente de si ésta es o no óptima (Shapiro y Varian, 1988).

## Estrategia de resolución de DT y competencia tecnológica

Las empresas exitosas no siguen ciegamente sus rutinas, cuentan con estrategias cuyo propósito es crear o fortalecer su núcleo tecnológico participando protagónicamente en la solución de desequilibrios tecnológicos; cooperando con las empresas que les abren mayores oportunidades de cambio tecnológico. Los DT poseen un aspecto relevante para las empresas porque permiten resolver los cuellos de botella, lo cual es necesario para continuar con la realización de innovaciones; pero también porque pueden crear nuevas "oportunidades" de innovación, aquellas que frecuentemente sólo pueden percibirse desde dentro del proceso de la búsqueda de soluciones.

Cada empresa en el sector automotriz está inmersa en una carrera por internalizar los nuevos avances que se producen en el sector electrónico. Como lo señala Douglas Crane, presidente de Bendix Automotive Group:

All the major companies have very active electronic engine management R&D programs. You will see every car make use of a *different approach* to try and solve the problem, particularly in view of the uncertainty over future emissions standards. In fact, I would not be at all surprised to see *different divisions of General Motors go down separate paths*. Some will move to an all electronics system

as far as they can while others will try to graft electronics on to the carburetor to protect their sizable investment in plant, equipment and tooling.

For example, Chrysler made a lot out of its "lean burn" engine—which is really just a form of electronics spark control—but *the problem is much broader than just spark control alone*. Ford's electronic engine control (EEC) system is another development effort aimed at centralized microcomputer management of the engine.<sup>14</sup>

Los DT pueden dar lugar a la emergencia de múltiples sendas evolutivas, cada una de las cuales puede o no estar asociada a la trayectoria tecnológica de todas las divisiones o empresas que cooperan. ¿Cuál diseño o estándar podría ser dominante? No depende, la mayoría de las veces, sino de acontecimientos aleatorios; de una mecánica sencilla acumulativa que alimenta procesos dinámicos, caracterizados por la irreversibilidad. Indeterminación tecnológica que obliga a las empresas a intentar influir sobre la dirección de la nueva senda tecnológica. No es lo mismo incidir sobre una solución tecnológica que pretende construir un nuevo núcleo tecnológico sobre capacidades existentes en una sola empresa o en más de una o en empresas rivales.

La convergencia tecnológica y la estabilidad del agrupamiento dependen de manera crucial de la forma en que las empresas resuelven los DT.<sup>15</sup> La evolución tecnológica que se produce dentro de cada agrupamiento expresa no sólo las habilidades tecnológicas previas acumuladas por cada empresa participante, sino también la peculiar manera cómo las empresas resuelven los desequilibrios tecnológicos (DT) que surgen durante los procesos de innovación.<sup>16</sup>

Reestructuración de General Motors

<sup>14</sup> Citado por Porter (1984:304). Las cursivas son nuestras.

<sup>15</sup> El desarrollo tecnológico es sobre todo convergencia y en segundo lugar, resolución de cuellos de botellas. Rosemberg (1976).

<sup>16</sup> La identificación y resolución de problemas críticos orienta la actividad innovativa, determina la secuencia ulterior de crecimiento. Alrededor de ella se congregan inventores, ingenieros, administradores, etcétera. Los DT son lo que Hughes denomina *reverse salients*. Hughes (1994 y 1987); Joerges (1988).

## y el nacimiento de Delphi-Juárez

La desconcentración geográfica de las actividades de investigación y desarrollo es parte de un proceso de cambio estratégico y organizacional de General Motors que se inicia a principios de la década de los noventa. En 1991, GM estableció Delphi (llamada en ese entonces Automotive Components Group Worldwide) como una división separada de GM, con el objetivo de mejorar la competitividad de esta división, así como incrementar la participación de este negocio en nuevos mercados. En 1995, GM renombró la división como "Delphi Automotive Systems" con el objetivo de crear una empresa con identidad separada de GM. En 1997, con el propósito de integrar más las actividades electrónicas y autopartes, GM transfiere Delco Electronics a Delphi.

Los beneficios de la separación de Delphi de GM son claves para entender el lugar que ocupa la maquiladora Delphi-Juárez dentro de la reestructuración organizacional, espacial, estratégica y tecnológica promovida por GM. Battenberg III, presidente ejecutivo de Delphi señala que los beneficios clave de la separación son los siguientes:

1. Increased sale to vehicle manufacturers other than GM: Until today's action by the GM Board, Delphi's ability to expand sales to major vehicle manufacturers VM's other than GM has been limited by a general reluctance to source from a supplier owned by a major competitor. Separation from GM lifts this barrier, and Delphi will... over time... be able to substantially grow sales to VMS other than GM."
2. Increased Financial and Strategic Flexibility: Separation will allow Delphi to quickly execute investment and acquisition or partnership decisions and will increase flexibility in financing through capital markets. (...)
3. Potential for continued improvement of organized labor relationship.<sup>17</sup>

Como resultado de esta reestructuración estratégica, Delphi ex-

<sup>17</sup> Delphi Automotive Systems Corporation (1999a).

pandió su presencia a escala global. Delphi está integrada por tres divisiones: 1. Dynamics and Propulsion; 2. Safety, Thermal and Electrical Architecture y 3. Electronics and Mobile Communications.<sup>18</sup> Ha creado una red compuesta de 168 centros de manufactura, 27 centros técnicos, 51 centros de servicio al cliente y ventas. Cuenta con más de 430 alianzas conjuntas (*joint ventures*) y alianzas estratégicas en 36 países. Delphi emplea a 198,000 personas a escala global. Sus tres sedes regionales localizadas en París, Tokio y San Pãulo le permiten estar cerca de Europa, Lejano Oriente y Centro y Sudamérica. La sede del corporativo se encuentra en Michigan, Estados Unidos.

Desde el ámbito de las modificaciones tácticas impulsadas por GM y desde la perspectiva cognitiva, organizacional y estratégica descrita más arriba, se puede captar más claramente la importancia que tiene la construcción, en 1995, de un centro de investigación y desarrollo en Ciudad Juárez, que con una inversión inicial de 150 millones de dólares se dedica a producir solenoides y sensores, esto es, componentes electrónicos para la industria automotriz. En especial, el centro desarrolla prototipos, los cuales pueden llegar a costar hasta 80,000 dólares. Al inicio de las operaciones, el centro contaba con 130 proyectos. La empresa se aprovisiona de materiales y componentes de más de 30 países. El 67% de la producción esta destinada a General Motors y el resto se destina a diferentes firmas del sector automotriz (Toyota, Honda, Ford, Isuzu, Mercedes y BMW) (Carrillo y Hualde, 1997).

De 1995 a 1999 el centro experimentó una demanda creciente de productos y servicios, razón por la cual la empresa expandió en casi el doble el espacio existente. Para 1999 la nave industrial contaba con más de 40,500 m<sup>2</sup>, destinados al desarrollo de prototipos, laboratorio e ingeniería (Delphi Automotive Systems Corporation 1999b). Asimismo, mientras que en 1995 empleaba a 850 perso-

<sup>18</sup> En 1998, Delphi reportó un ingreso anual de aproximadamente 28.5 billones de dólares.

nas, hacia 1999, trabajaban en el centro 1600 ingenieros, técnicos y personal de soporte.<sup>19</sup>

Delphi-Juárez tiene una perspectiva regional pero también global de desarrollo y servicio tecnológico. El propósito de este centro es el de promover a escala mundial las ventas de los productos, creando un centro regional competente que tenga la capacidad de ajustar o adaptar éstos a las necesidades de los usuarios, tanto del sector automotriz como de otros sectores. Este centro regional tiene también como objetivo mejorar la presencia de Delphi a escala global, logrando mejorar la calidad y el volumen de información que intercambian las distintas divisiones de Delphi.

Delphi-Juárez trabaja conjuntamente con Delphi Technologies, Inc,<sup>20</sup> para desarrollar y cultivar estrategias de propiedad intelectual tendientes a proteger diseños, procesos manufactureros y conocimientos vinculados a la producción de nuevos materiales. Conocimientos y experiencias que son producidos en cada una de las divisiones de Delphi, en especial por los más de 1000 investigadores distribuidos a escala global. Defender y apropiarse del capital intelectual que pertenece a Delphi. No dejar que se filtre el *know-how* sino dentro de las fronteras internas de la empresa. Pero a la vez difundir con empuje y dinamismo sus estándares y productos en el mercado a través de un fuerte soporte técnico, ahora cada vez más desconcentrado, así como políticas más y más activas para otorgar licencias tecnológicas. Por esa vía, estructurando políticas más claras de apropiamiento de "capital intelectual", se pretende lograr dos objetivos esenciales: convertir su diseño en un diseño dominante en el mercado (*lockin*) y en segundo lugar, asegurar el retorno de sus inversiones para financiar la continuidad de las actividades de investigación y desarrollo (Delphi Automotive Systems Corporation, 1999c).

<sup>19</sup> Delphi (1998).

<sup>20</sup> Creada en abril de 1999.

## Naturaleza de la interacción tecnológica entre Delphi-Juárez y las empresas de la región

Resulta instructivo describir la naturaleza difusa y no verbal de las formas y ritmo de la relación que establecen los ingenieros de este centro de investigación y desarrollo con los usuarios de la región de Juárez. Se presenta a continuación la descripción de Carrillo y Hualde (1997:378):

1. La primera fase es el inicio de la idea. El cliente hace su solicitud en la cual muchas veces ni siquiera sabe con exactitud lo que quiere, sino que tiene una idea aproximada de lo que necesita. Aquí empieza el intercambio de información...
2. La segunda fase es la conformación del diseño. El proyecto está definido, esto es, hay una propuesta de concepto inicial y la constitución de diferentes equipos de trabajo. Aquí se trata más cercanamente con el cliente. (...) Una vez creado el prototipo, se busca la aprobación del cliente.
3. La tercera fase es la validación del producto. Ya probado el prototipo (...) se diseñan, construyen, adaptan e implementan las líneas de ensamble con equipo, maquinaria, herramental, etcétera.<sup>21</sup>

Delphi-Juárez, señalan Carrillo y Hualde (1997:376), "se trasladó a esta ciudad para lograr la máxima cercanía posible con su eslabón principal: una empresa maquiladora de la misma división. De esta manera, en lugar de mover los prototipos y el proceso de manufactura 1,800 millas desde Anderson (Indiana) hasta Juárez, ahora están a sólo unos minutos". Las palabras "cerca" y "cercanía", contienen interesantes connotaciones, sería útil reflexionar sobre ellas, a la luz de los tres momentos descritos (inicio de la idea, conformación del diseño y validación y fabricación del producto). Esta descripción sintetiza la naturaleza de los procesos de innovación, como procesos en primer lugar "comunicativos" y, en segundo lugar, que la construcción de

<sup>21</sup> Las cursivas son nuestras.

las necesidades técnicas por parte de los usuarios u oferentes, necesita elaborarse a partir de un discurso incompleto, difuso, poroso, que debe completarse en la repetición, en la construcción de idiosincrasias organizacionales y de códigos de comunicación compartidos. Esta trama de la interacción entre proveedores y usuarios contiene una evidencia fundamental que se propone por lo demás, como el cemento de los procesos de innovación; una empresa será más exitosa mientras mayor sea su capacidad de articular, integrar, dirigir, ponerle palabras a los gestos y al mundo no verbal, con lo que los seres humanos enfrentan las contingencias.

La construcción en México de un nuevo centro de investigación y desarrollo, alejado de los centros tradicionales de este tipo, Detroit y California, tiene como objetivo disminuir las distancias geográficas, organizativas y de comunicación entre los proveedores y los usuarios. Necesidad de disminuir la distancia geográfica y el tiempo de coordinación que se puede entender tomando en consideración las siguientes necesidades emanadas de: 1. la naturaleza de los procesos de evolución de la tecnología (procesos de variación incesante de materiales, componentes, módulos y sistemas), 2. la necesidad de administrar esos procesos de variación a partir de formas organizativas más eficientes y más cercanas. 3. la necesidad de contar con recursos altamente calificados que tengan una elevada capacidad para “recoger”, interpretar, registrar y resolver los DT de los ensambladores de arneses; 4. reaccionar “rápidamente” ajustando los diseños en respuesta a variaciones o innovaciones o demandas del mercado regional o local; 5. la necesidad de eliminar aquellas variaciones de diseño que, o bien tienen importancia tecnológica marginal o bien afectan el equilibrio del agrupamiento poniendo en riesgo la coherencia tecnológica del sistema de estándares, 6. o bien no sean viables económicamente, aunque sí sean “apropiados” desde el punto de vista de la coherencia de los estándares en uso.

Es posible enfrentar cada una de estas tareas si y sólo si las fronteras entre las empresas proveedoras y usuarias se vuelven borrosas, abiertas al intercambio de información y experiencia, en el menor tiempo y al menor costo de transacción posible.

La producción de arneses se convierte en un ejemplo *ad hoc* de estos procesos de control, asimilación, por parte de las empresas

primordiales. La tensión organizacional surge en la fase de diseño de nuevos arneses exigidos por la aparición de nuevos modelos de vehículos. Fase de diseño que exige la incorporación de los ensambladores más calificados de arneses en este proceso. Los nuevos diseños sedimentan o conservan partes y funciones comunes a todos los vehículos; por ello, muchas conexiones y arneses pueden cambiar o no. Aproximadamente el 80% de los nuevos diseños son variaciones de diseños previos o de productos similares (Gilson, 1999). Por esta razón, los diseñadores, en las fases tempranas del diseño del arnés, recurren a los ensambladores con más experiencia para ajustar sus diseños. La cercanía entre el departamento de investigación y desarrollo y los ensambladores de arneses permite identificar supuestos o rutinas erróneas, tanto de parte de los ensambladores como del departamento que diseña los nuevos arneses. Es una cooperación que contribuye a acortar el tiempo de elaboración de los nuevos diseños, ya que el trabajo en equipo de los que proveen los diseños y los que lo utilizan (ensambladores) permite la cercanía para, mutuamente, sugerir rápidamente mejoras a los diseños desde el punto de vista de los ensambladores de arneses, y mejoras a los procesos de ensamble desde el punto de vista de los que diseñan los arneses.

Gilson (1999:5), el ingeniero especializado en diseño de arneses de Delphi Automotive Systems, señala que:

In some cases, the global team discovered that another location had an improved method of manufacturing compared to the existing guideline. The global team discussed and accepted the new guideline. The global support team then added this improvement to the global guidelines.

Este proceso de intercambio de información y experiencia se produce dentro de estrategias globales de diseño y desarrollo de arneses. Por esta razón, las empresas tienen la necesidad de:

1. Coordinar la interacción entre los departamentos de investigación y desarrollo, ingeniería de producto, departamento de ventas/compras y las ensambladoras de arneses,

2. Comunicar y difundir las mejores prácticas, tanto aquellas que surgen de los procesos manufactureros propios, internos, como aquella información que obtienen las empresas de fuera de la organización, de muy diversas fuentes (conferencias, consultores, publicaciones, observación de otras experiencias, etcétera). Constituye una estrategia de apropiación y difusión de la mejor práctica tanto en el interior de la planta como dentro de la división y del corporativo.
3. Camino que implica transformar los conocimientos tácitos en conocimientos explícitos, y estos conocimientos, en la medida en que se difundan e internalicen en otras plantas, se transformen, de nueva cuenta, en conocimientos tácitos. Las organizaciones necesitan asegurar al menor costo de transacción y tiempo posible la metamorfosis continua de conocimiento tácito → conocimiento explícito → conocimiento tácito. Es necesario “reciclar” las mejores experiencias que se producen dentro de ambientes altamente específicos, traducirlos y establecer el grado en el cual se debe generalizar su uso en otras plantas del corporativo.
4. El punto anterior tiene como propósito fortalecer el capital intelectual de la empresa al identificar aquellas prácticas que es necesario patentar, conservar como secretos industriales o simplemente proteger de la imitación o difusión. En su defecto, si existen formas de propiedad intelectual eficientes, difundir esas mejores prácticas otorgando licencias tecnológicas o vendiendo servicios tecnológicos.
5. Los procesos de identificación de las “capacidades tecnológicas” a las que da lugar este proceso (descrito en el inciso 4) adicionalmente sirven a la empresa para comparar su desempeño con otras experiencias internas y externas.
6. Administrar y difundir la mejor práctica es también eliminar, discriminar las prácticas no óptimas. Significa establecer límites mínimos, permitidos, tanto como crear reglas de juego que excluyan, idealmente, sin fricciones prácticas “nocivas” para la salud tecnológica y económica de la organización.
7. Estrategia de control de los procesos de aprendizaje tecnológico que tiene como función *fomentar los procesos de variabilidad*, pero de una forma que no se aliente la dispersión o el conflicto entre di-

seños o estándares al producirse sendas de desarrollo tecnológicos incompatibles entre sí. Se deben crear procesos institucionalizados de variabilidad y formas "flexibles" de "orden", que no aplaquen la exploración de nuevos.

Implementar este proceso de interacción profunda entre proveedores y usuarios exige una muy elevada calidad del capital humano, tanto de los que recogen información tecnológica como de aquellos que la transmiten. Y como lo señalamos más arriba, la interacción entre proveedores de diseños y usuarios de los diseños (los ensambladores de arneses) no es unívoca, ambos actores requieren aprender unos de otros.

Interacción de proveedores y usuarios que exige formar "equipos" en los que se integren "tácitamente" miembros del laboratorio de investigación y desarrollo y de manufactura de las plantas maquiladoras. Proceso de cuasintegración organizativa que exige desarrollar formas idiosincrásicas de comunicación, formas comunes de medir y representar los problemas, instrucciones de trabajo comunes, así como procesos de aprendizaje organizacionales que conduzcan a delimitar claramente las responsabilidades de cada uno de los actores y áreas funcionales. Esto es, estructurar procesos de "comunalización" entre cada una de las áreas y plantas.

Pero a la vez, y dado que la estrategia de las empresas es la de explotar economías de escala en la producción de nuevos diseños, y sobre todo difundir sus diseños o estándares al resto de los ensambladores y proveedores, es necesario establecer un puente eficiente allí donde se produce la mayor concentración de empresas vinculadas a la manufactura y ensamble de los arneses que es Chihuahua.

Convertir un diseño en "diseño dominante" requiere que la empresa que lo impulsa esté presente allí cuando y donde el ensamblador encuentra cuellos de botella, o DT, de manera que el proceso de producción se continúe sin interrupciones, y, al mismo tiempo, apropiarse de la información y conocimientos que emergen, tanto en la conceptualización como en la resolución de los DT. La dirección que tomen las respuestas a los DT tiene enormes implicaciones para crear, fortalecer o debilitar las diversas trayectorias tecnológicas existentes en las empresas del agrupamiento. La dirección de las trayectorias es

altamente dependiente de las estrategias tecnológicas que siguen las empresas. El hecho de que una empresa decida participar activamente en la solución de un DT, provista de un grupo importante de ingenieros o de dinero bajo la forma de infraestructura y recursos complementarios, es inducir un tipo de solución. El monto y la composición de los recursos que aporta cada una de las empresas generan sesgos naturales en la preferencia de una u otra opción tecnológica.<sup>22</sup> La exploración de nuevas técnicas y su solución es altamente sensible a la cantidad y calidad de los recursos humanos, infraestructura de medición, prueba y experimentación de los que las empresas se sirven para resolver los DT.

Para lograr este objetivo es necesario disminuir la brecha tecnológica entre el centro (Estados Unidos) y las regiones (norte de México) contribuyendo a la formación de capacidades tecnológicas humanas, organizacionales y materiales, allí sobre todo donde se ensambla la mayor cantidad de los arneses: Ciudad Juárez. Desde este horizonte de visibilidad se vuelve inteligible el porqué Delphi decidió construir un centro de investigación y desarrollo en esta región específica de la frontera norte de México.

Sin embargo, esta estrategia de integrar el diseño y la manufactura de los arneses a escala global se encuentra con límites organizativos y lógicas contradictorias. Resulta problemática, en algunos casos sesgada, la selección de los ingenieros que asignan los ensambladores para conformar los equipos de trabajo para diseñar y desarrollar los arneses. Formar una estructura organizativa en la que se encuentren y trabajen conjuntamente ingenieros de distintas empresas y de distintas trayectorias tecnológicas es un proceso con costos y fricciones. Como lo señala Gilson, ingeniero de Delphi:

Although some regions' management believed the design for manufacturability (DFM) process was a cost saving and quality improvement tool, they were somewhat reluctant to add full time DFM engineers to accomplish this task.(...)

<sup>22</sup> Esto no quiere decir que las soluciones tecnológicas son manipulables enteramente por las empresas, sino más bien que son sensibles a los esfuerzos que despliega cada uno de los actores.

Some regions utilized a limited number of full time DFM engineers, while other areas utilized multiple part time DFM engineers to accomplish similar tasks. The reporting structures also varied by location. In some cases, the DFM engineer reported through product engineering, while in other areas, they reported through manufacturing engineering (Gilson, 1999:4).

Resolver problemas tecnológicos implica coordinar diferentes organizaciones, conocimientos, culturas, estructuras y códigos de comunicación altamente específicos de cada empresa. Proceso en esencia organizacional y político que, en primer lugar, depende de las formas en que las diferentes organizaciones alientan el orden y la variabilidad tecnológica. Un proceso de aprendizaje tecnológico carente de una eficiente estructura de gobernabilidad conducirá a elevados costos de transacción y, sobre todo, a la pérdida de oportunidades tecnológicas.

La base de las dificultades de las empresas para enfrentar los DT se asocia con la:

1. Dificultad de las empresas para adaptarse tanto a la complejidad e incertidumbre del ambiente como también a la creciente complejidad de las empresas y de los agrupamientos tecnológicos;
2. Dificultad de las empresas por observar, medir, interpretar fenómenos nuevos que son el resultado de nuevos problemas, los cuales pueden expresar simultáneamente la ausencia o pobreza de los instrumentos de prueba y de observación, así como de un lenguaje o paradigma apropiado para interpretar la naturaleza de los DT;
3. DT que a su vez dan cuenta de las dificultades institucionales intra e inter-empresa por regular las tendencias de estabilidad y de cambio que se producen tanto dentro de cada una de las empresas como a nivel del agrupamiento.

## Conclusión

Las conclusiones básicas de este trabajo pueden resumirse de la siguiente manera:

1. Es necesario reconstruir los procesos de transformación de las maquiladoras de primera, segunda y tercera generación, diferenciando las fuerzas económicas de las fuerzas tecnológicas y organizacionales. Los conceptos básicos que permiten explicar los ritmos y naturaleza de esta transformación son: 1) convergencia tecnológica del sector automotriz y el sector eléctrico/electrónico; 2) resolución de desequilibrios tecnológicos, apropiabilidad e interacción estratégica; y, 3) incertidumbre y bifurcación tecnológica.
2. La convergencia del sector automotriz y el sector electrónico es en parte un proceso acumulativo, cuasi natural, pero a la vez también es expresión de las estrategias de las empresas. De igual manera, la resolución de los DT es una vez resultado de la casualidad más pura y otras, resultado de interacciones estratégicas. En la habilidad de construir problemas y convertirlos en problemas inteligibles reside en gran medida la fuente de los procesos de innovación. La innovación de esa manera se convierte en un difícil y complejo proceso de construir problemas o necesidades susceptibles de comunicarse muchas veces sólo en el encuentro directo entre los actores.
3. Cuando las empresas enfrentan contingencias o DT críticos, la estructura de los acuerdos cooperativos se debilita y emergen estrategias oportunistas y formas diferentes de definir los DT. Los DT cuestionan, obligan a olvidar las viejas rutinas y a aprender nuevas.<sup>23</sup> Dependiendo de su profundidad, los DT pueden mostrar parcial o totalmente insuficientes los viejos modelos explicativos, predictivos, etcétera. El tiempo predecible, habitual, conocido, medido, estable y en gran parte preinterpretado, se vuelve fluido, y con ello todo lo sólido tiende a desvanecerse; situación que obliga a las empresas a redefinir sus formas de representación de la tecnología, sus formas de cuantificación, sus formas organizacionales en especial sus formas de cooperación intra e inter-firma. Los DT demandan naturalmente orden, integración,

<sup>23</sup> Incertidumbre que será pasajera o estructural dependiendo de las estrategias, formas organizativa y cultura previa de administración de los procesos de variabilidad y de estabilidad.

compatibilidad, una nueva definición, por lo tanto, de realidad tecnológica. Por esto mismo, los DT cuando son y se viven como acontecimientos críticos destruyen las viejas identidades y crean nuevas. A partir de las interacciones, unas espontáneas, otras de naturaleza estratégica a las que da lugar la búsqueda de soluciones, los DT cumplen un rol esencial en la formación de estructuras. El gran reto de las empresas, desde esta perspectiva, es además de resolver los desequilibrios tecnológicos (DT), el de competir por transformar su estándar, su trayectoria tecnológica, en un estándar dominante a escala global (Lara Rivero, 1999).

4. Resulta imprescindible leer la formación del centro de investigación y desarrollo Delphi-Juárez desde la perspectiva de los procesos de convergencia, resolución de desequilibrios tecnológicos y coevolución tecnológica del campo electrónico y automotriz, así como desde las estrategias de competencia tecnológica que, a escala global, impulsan las grandes empresas del sector automotriz y autopartes. México es una región, un escenario de los procesos de diferenciación/difusión tecnológica que ocurren dentro del sector automotriz, cuyas fronteras a partir del uso cada vez mayor de semiconductores, ha vuelto en todo caso borroso la definición de "sector automotriz". El caso Delphi-Juárez es un vector crucial y singular de ese proceso que sintetiza lo nuevo y lo viejo. Un centro de investigación y desarrollo de primera, en un medio industrial, "arnesero", producto que hasta fines de los setentas se le calificaba como un componente estable, simple, maduro y no complejo, pero que a fines de este milenio se presenta como un componente-sistema que se encuentra en estado gaseoso, abierto al cambio y a nuevas definiciones y arquitectura.

Recibido en febrero de 2000

Revisado en marzo de 2000

## Bibliografía

Bijker, W.; Th. P. Hughes y T. Pinch (eds.) (1987), *The Social Construction of Technological Systems*, Cambridge, MIT Press.

Carrillo, J. y A. Hualde (1997), "Maquiladoras de tercera generación. El caso Delphi-General Motors", *Comercio Exterior*, vol. 47, no. 9, septiembre.

Cowan, R. y Hulten (1996), "Escaping Lock-In: The Case of the Electric Vehicle", *Technological Forecasting and Social Change*, no. 53, pp. 61-79.

David, P. (1986), "Clio and the Economics of QWERTY", *American Economic Review*, mayo.

Delphi Automotive Systems Corporation (1999a), "General Motors to Complete its Separation of Delphi", abril.

\_\_\_\_\_ (1999b), "Delphi Automotive Systems Celebrates Expansion of the Mexico Technical Center", abril.

\_\_\_\_\_ (1999c), "Delphi Creates, Defends Intellectual Property Through Delphi Technologies, Inc", abril.

Drive With Experience (s.f.), "Automotive Technology from Siemens", Siemens.

Foray, D. (1995), "Coalitions and Committees: How Users get Involved in Information Technology (IT) Standardization", en R. Hawkins Mansell, J. Skea y Edward Elgar (eds.), *Standards, Innovation and Competitiveness*.

\_\_\_\_\_ "Diversité, Sélection et Standardisation: Les Nouveaux Modes de Gestion du Changement Technique", *Revue D'Économie Industrielle*, no. 75, (s.f.).

Gilson (1999), "Globalization of the Design for Manufacturability /Assembly Process within the Automotive Wiring Assembly Business", *Society of Automotive Engineers*.

Greenstein, S. y T. Khanna (1997), "What Does Industry Convergence Mean?", en D. Yoffie, *Competing in the Age of Digital Convergence*, Boston, Harvard Business School Press.

Hawkins, R. Mansell; J. Skea y E. Elgar (eds.) (1995), *Standards, Innovation and Competitiveness*.

Hughes, Th. P. (1987), "The Evolution of Large Technological Systems", en W. Bijker, Th.P. Hughes y T. Pinch (eds.), *The Social Construction of Technological Systems*, Cambridge MIT Press.

\_\_\_\_\_ (1994), "Technological Momentum", en M. Rose Smith y L. Marx (eds.), *Does Technology Drive History?: The Dilemma of Technological Determinism*, Massachusetts, Londres, Cambridge MIT Press.

Ikeda, M. (1990), "Beikoku Jidousha Buhinkougou no Atarashii Ugoki (New Trends in the U. S. Auto Parts Industry)", *Automobile Industry*, vol. 24, no. 8-11, Tokio.

Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits, 1996.

Joerges, B. (1988), "Large Technical Systems: Concepts and Issues", en R. Mayntz y Th. Hughes (eds.), *The Development of Large Technical Systems*, Boulder, Colorado, Max-Planck-Institut, Westview Press.

Kersey, A. (1995), "Fiber Optic Sensor Multiplexing Techniques", en Udd Eric (ed.), *Fiber Optic Smart Structures*, Nueva York, Wiley-Interscience Publication.

Koido, A. (s.f.), "U. S.-Japanese Competition and Auto Component Maquiladoras: The case of Wiring Harness Sector in the State of Chihuahua", mimeo.

- Lara Rivero, A. (1999), *Cooperación y competencia en la construcción de estándares*, México, Universidad Autónoma Metropolitana, mimeo.
- Lara, A.; J. Corona y A. Buendía (1997), "Intercambio de información tecnológica entre industrias de automotores y autopartes", *Comercio Exterior*, vol. 47, no. 2, febrero.
- Mayntz, R. y Th. Hughes (eds.) (1988), *The Development of Large Technical Systems*, Boulder, Colorado, Max-Planck-Institut, Westview Press.
- Porter, M. (1984), *Cases in Competitive Strategy*, Nueva York, The Free Press, pp. 304.
- Rosemberg, N. (1976), *Perspectives on Technology*, Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (1992), "Scientific Instrumentation and University Research", *Research Policy*, vol. 21, no. 4.
- Shapiro, C. y V. R. Varian (1988), *Information Rules: A Strategic Guide to the Network Economy*, Boston, Massachusetts, Harvard Business School Press.
- Smith, R., M. y L. Marx (eds.) (1994), *Does Technology Drive History?: The Dilemma of Technological Determinism*, Massachusetts, Londres, Cambridge, MIT Press.
- The Semiconductor Industry Association, 1995.
- The World Automotive Components Industry* (1996), vol. 1, Paul Sleig.
- Udd, E. (ed.) (1995), *Fiber Optic Smart Structures*, Nueva York, Wiley-Interscience Publication.
- Yoffie, D. (ed.) (1997), *Competing in the Age of Digital Convergence*, Boston, Harvard Business School Press.

