

La innovación tecnológica en la industria maquiladora electrónica de Tijuana



MARÍA RUTH VARGAS LEYVA*

En el entorno actual la ventaja competitiva se relaciona directamente con la capacidad de innovación de las empresas y de los países, la cual se asocia a numerosos factores y se ha abordado desde diferentes puntos de vista. A medida que las industrias se vuelven más intensivas en conocimientos aumenta el cuestionamiento sobre la calidad de los recursos humanos para incorporarse al proceso de innovación tecnológica de productos y procesos. En el caso de la industria maquiladora se está gestando una redefinición de sus capacidades, ventajas y limitaciones para innovar.

En este artículo se analizan las características de la innovación de la industria maquiladora electrónica en la ciudad de Tijuana, Baja California, México. En primer término se hace una breve referencia a algunas ideas relacionadas con la innovación; más adelante se caracteriza a 23 empresas estudiadas durante 1997 y 1998 y se describen las estrategias que propician la innovación relacionadas con el diseño de productos y procesos, identificándose el tipo de empresa en que se presentan tales estrategias. Posteriormente se pasa revista a algunas características del cambio tecnológico y de la innovación en la industria maquiladora electrónica. La elección de las empresas se basó en su importancia cualitativa, es decir, se consideró el origen del capital (japonés, estadounidense y nacional), el tamaño y la antigüedad de la empresa. La caracterización tecnológica provino de una entrevista a ingenieros con puestos de mando, y para identificar las estrategias se entrevistó a fondo a 75 ingenieros electrónicos e industriales que ocupan diversas posiciones: gerencias de planta, de ingeniería y de control de calidad, supervisores de ingeniería e ingenieros de producto, de desarrollo de pruebas y de manufactura.

Se concluye que la innovación en la industria maquiladora electrónica se relaciona estrechamente con el diseño de productos y procesos y se presenta como un flujo de actividad deter-

minada por varios factores, entre ellos la calidad de la formación de los recursos humanos, la modernización tecnológica continua y las oportunidades que ofrece la empresa para la innovación.

EL MARCO DE LA INNOVACIÓN

En la nueva economía mundial la innovación es cada vez más un elemento fundamental de la ventaja competitiva. A medida que crece este consenso se ha abordado el estudio de la innovación relacionándola con el aprendizaje tecnológico,¹ la constitución de "jerarquías" en la empresa,² el ciclo de vida del producto,³ la interacción productor-usuario⁴ y más ampliamente

1. Daniel Villavicencio, "Las pequeñas y medianas empresas innovadoras", y Arturo Lara Rivero, "Competitividad y aprendizaje tecnológico en el sector de la electrónica de consumo", *Comercio Exterior*, vol. 44, núm. 9, México, septiembre de 1994, pp. 759-779.

2. La jerarquía es la forma integral en que se estructuran y organizan las diferentes actividades económicas de la empresa. O. Williamson, *Mercados y jerarquías: su análisis y sus implicaciones anti-trust*, Fondo de Cultura Económica, México, 1990.

3. Roy Rothwell y Walter Zegveld, *Reindustrialization and Technology*, M.A. Sharpe, Inc., Nueva York, 1985.

4. Juan Manuel Corona, Gabriela Dutrénit y Carlos A. Hernández, "La interacción productor-usuario: una síntesis del debate actual". *Comercio Exterior*, vol. 44, núm. 8, México, agosto de 1994, pp. 683-694.

* Profesora-investigadora del Instituto Tecnológico de Tijuana. Este trabajo es fruto de una investigación más amplia que analiza la reestructuración industrial, la educación tecnológica y la formación de ingenieros. El trabajo de campo recibió apoyo del Programa Interinstitucional de Investigación sobre Educación Superior (PIIES) de la Universidad Autónoma de Aguascalientes <rvargas@tectijuana.mx>.

con las trayectorias tecnológicas y el establecimiento de sistemas nacionales de innovación.⁵

La innovación industrial es un proceso amplio y dinámico que incluye diferentes actividades y se concreta en la adaptación de maquinaria y herramientas; el diseño y manufactura de productos; modificaciones y mejoras en la organización, gestión e integración del proceso productivo, así como en la administración y comercialización de un producto nuevo o mejorado e incluso en la adquisición y el dominio de tecnologías de punta. Mertens define la innovación como la aplicación de nuevo conocimiento al proceso productivo, resultado de la interacción del aprendizaje, la acumulación del conocimiento y la generación de ideas novedosas.⁶

El supuesto de que la innovación entraña pasar de una función de producción a otra y aplicar conocimientos nuevos a la producción ha sido ampliamente rebatido en las últimas décadas, por influencia de los modelos de producción de tecnología, la diversidad de fuentes de cambios tecnológico y las peculiaridades de las nuevas demandas.

A medida que la innovación tecnológica se ha colocado en el centro de la discusión como factor relevante en el logro de ventajas competitivas, se ha llegado a cierto consenso con respecto a algunas ideas, entre ellas que la empresa es depositaria central, aunque no única, del conocimiento tecnológico;⁷ que el aprendizaje interactivo que tiene lugar en las actividades económicas rutinarias es fuente de innovación, y no exclusivamente el conocimiento; que la innovación es un proceso continuo y complejo que ocurre en la esfera de la producción prestándose tanto en las grandes como en las pequeñas y medianas empresas, y que la búsqueda de utilidad es el objetivo básico y último de la innovación.

La innovación es un proceso amplio y dinámico que incluye diversas actividades, y en la empresa se concreta en el diseño de productos y procesos, la adaptación de maquinaria y herramienta, la gestión e integración del proceso productivo, así como en la administración y comercialización que implica la mercadotecnia de un nuevo producto. Puede ser radical o incremental. La primera impulsa un cambio técnico en una o más ramas de la industria y es el resultado de una actividad deliberada de investigación y desarrollo en empresas, universidades e institutos de investigación. En cambio, mediante la innovación incremental se hacen mejoras, a los productos o a los procesos, estrechamente ligadas con las tecnologías usadas a lo largo de la cadena productiva. Las proponen los ingenieros, otras personas participantes en los procesos productivos e incluso los usuarios. La innovación de procesos reduce los costos, mientras que la de producto provoca desplazamiento de la demanda.

5. Mario Cimoli y Giovanni Dosi. "De los paradigmas tecnológicos a los sistemas nacionales de producción e innovación", *Comercio Exterior*, vol. 44, núm. 8, México, agosto de 1994, pp. 669-682.

6. Leonard Mertens, "Transformación productiva, empleo y formación profesional", *Comercio Exterior*, vol. 45, núm. 8, México, agosto de 1995, pp. 628-634.

7. Mario Cimoli y Giovanni Dosi, *op. cit.*

Algunos estudios relacionados con la innovación en la industria maquiladora se han dirigido al cambio tecnológico,⁸ mientras que otros han señalado el efecto limitado de dicha industria en la generación y difusión de innovaciones.⁹ Todos coincidieron en que el aprendizaje es lento, fragmentario y no significativo. Sin embargo, esos estudios no se han centrado en la innovación tecnológica y los resultados no se pueden generalizar a todo el sector. La evidencia empírica más bien indica que el cambio tecnológico y las innovaciones incrementales son más comunes de lo que se piensa, se dan en la empresa como un flujo de actividad y no como un evento puntual, toman la forma de un *know how* imposible de patentar, o que parece innecesario hacerlo, de tal forma que las innovaciones tienden a ser apropiadas por la empresa o corporación y casi nunca se dan a conocer ni se publican.

ESTRATEGIAS CORPORATIVAS QUE PROPICIAN LA INNOVACIÓN

En numerosos estudios se ha señalado que la adquisición de una tecnología de los países desarrollados, su modificación y adaptación a las especificidades locales, se relacionan con el aprendizaje tecnológico, así como con las innovaciones incrementales. Se sabe también que cuando se trata de trasladar los resultados de laboratorio a la producción en gran escala se requieren estrategias que entrañan una experiencia práctica que no es fácil comunicar. Este estudio revela que en la industria maquiladora electrónica de Tijuana la innovación se relaciona estrechamente con el diseño por medio de estrategias determinadas por las características de la empresa y de la corporación.

La importancia de la rama electrónica se deriva de su participación en la industria maquiladora; en 1996 representó 20% del total del empleo de ésta, generó 26% del valor de la producción, es la rama más dinámica tecnológicamente y la de mayor crecimiento. En Tijuana, en 1997 representó 11% del total de las empresas del sector y 27% del empleo. La muestra incluyó plantas de productos terminados y ensambladoras, fabricantes de televisores, como Sony, Sanyo y Matsushita, así como de otros productos terminados, como Plamex y Comair Rotron (véase el cuadro).

Los productos terminados son televisores, procesadores de palabras, sensores y equipos de radar, bocinas, fuentes de poder

8. Bernardo González-Aréchiga y José Carlos Ramírez, "Productividad sin distribución: cambio tecnológico en la maquiladora mexicana", *Frontera Norte*, El Colegio de la Frontera Norte, vol. 1, núm. 2, enero-junio de 1989, pp. 97-124; José Alberto Godínez, "El cambio tecnológico en la industria maquiladora electrónica y el efecto en el empleo", en *Industria maquiladora y mercados laborales*, vol. II, El Colegio de la Frontera Norte-Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México, 1992.

9. Jorge Carrillo, "Transformaciones en la industria maquiladora de exportación", en Bernardo González-Aréchiga y Rocío Barajas (compiladores), *Las maquiladoras: ajuste estructural y desarrollo regional*, El Colegio de la Frontera Norte-Fundación Friedrich Ebert, Tijuana, 1989, pp. 37-54.

IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS EMPRESAS DE LA MUESTRA

Incluidas en las 25 más importantes de Tijuana	Certificadas con ISO 9001	Certificadas con ISO 9002	ISO 14000 implantado	Otras empresas
Sony-Este	Sony-Este	Sony-Este	Sony-Este	
Camair Rotron	Camair Rotron	Camair Rotron		
Mexhon	Mexhon	Mexhon		
Plamex		Plamex		
Pioneer		Pioneer		
Speaker		Speaker		
Levimex		Levimex		
Matsushita		Matsushita	Matsushita	
Industrial		Industrial	Industrial	
Matsushita		Matsushita		
Electronic		Electronic		
	Kyocera	Kyocera		
	Deltec			
	PPH Industrial			
Smith-Corona				
Hitachi				
	Sanyo	Sanyo	Sanyo	
		Maxell		
		Panasonic		
		SMK Electronic		
				JVC
				Cannon
				Casio
				Electro Opticas
				Superior
				Hamlin
				Hyson
				Kaltec
				Legrís
				Packard Hughes
				Kelsar ¹
				Nelcor ¹
				Óptica Sola ¹

1. Estas empresas pertenecen a la rama de productos médicos. Se incluyeron en la tercera fase de la encuesta, como grupo de control, para dar cuenta del uso del tiempo de los ingenieros. Las empresas de este sector tienen certificación del Register Federal Drug.

y equipos de telecomunicaciones. Los productos ensamblados incluyen reguladores, conectores de fibra óptica, tablillas de circuitos impresos y multicircuitos, yugos de deflexión y proyección para televisores y placas de cerámica avanzada. Esta heterogeneidad va del ensamble de productos tecnológicamente maduros hasta la manufactura de productos de punta, como placas de cerámica avanzada en las que los conductores tradicionales se sustituyen por tinta de tungsteno; con ello se reduce el tamaño 50 veces y se integra un mayor número de funciones.

La organización productiva varía de una planta a otra. La flexibilidad productiva, que se expresa como la flexibilidad del producto y del volumen, se apoya en robots industriales, máquinas de control numérico computarizado y control electrónico de procesos en serie y de flujo, lo que permite separar el ciclo de vida de la maquinaria del correspondiente a un producto en particular. Las empresas se caracterizan también por la multiplicación de las aplicaciones de la informática a su gestión y el uso de sistemas de redes que hacen posible una estrecha coordinación entre matriz y filial, lo que permite responder a rápidos cambios en el mercado.

Las innovaciones de producto se relacionan estrechamente con el diseño computarizado e implican especificaciones detalladas y documentación variada. La idea tan extendida de que los productos se diseñan en la planta matriz para que se manufacturen en forma eficiente y confiable es refutada por las múltiples modificaciones que sufre el diseño original en las empresas locales, cambios propiciados por la separación entre el diseño y la manufactura, de manera que con frecuencia el diseño no es el apropiado para la manufactura en gran escala, en cuanto a tolerancias, y no considera la economía en los procesos, que en términos de ingeniería se traduce en procesos más eficientes y simples.

Las empresas adaptan y modifican los diseños mediante diversas estrategias que implican cambios en el producto y en los procesos. Estas estrategias, semejantes a las de "escalonamiento",¹⁰ requieren pasar de los departamentos de diseño a la dimensión de una planta piloto y después a la de una planta de prueba y demostración. Para que el nuevo producto se manufacture en escala industrial se requiere por lo general, en el ámbito local: a) revisar el diseño, lo que implica considerar las especificaciones, los posibles usos del producto y las consecuencias potenciales de usos no previstos por el diseño; b) elaborar el prototipo y someterlo a pruebas físicas (eléctricas, químicas, de luminosidad y sonido) o destructivas, ambientales (resistencia, durabilidad, recicla-

do), funcionales de eficiencia, de seguridad para el cliente y de transporte del producto y en ocasiones pruebas de mercado, donde las compañías distribuidoras o comercializadoras valoran el diseño ergonómico y determinan la compatibilidad con otros equipos; c) someter el prototipo a prueba en "corridas piloto" o Engineering Production Run (EPR), y d) hacer la última "prueba piloto" o Last Engineering Production Run (LEPR) en un período que puede prolongarse hasta un año antes de que el producto se manufacture en forma industrial. En general, los pasos en el diseño y desarrollo de un producto nuevo incluye la elaboración del prototipo del producto, la planeación y diseño de equipo y los procesos y la estandarización para la producción en serie, además del uso o diseño de pruebas.

En las empresas estudiadas se identifican tres estrategias que implican la mejora del diseño del producto, así como del proceso de manufactura; la elección de la estrategia depende de una

10. Leonel Corona, "Problemas científicos y tecnológicos de la agenda contemporánea", en el Seminario de Actualización, Innovación y Ventaja Competitiva, UNAM, 26 a 28 de mayo de 1994.

variedad de factores que se relacionan con la posición de la planta en el corporativo o con su característica de manufactura de productos de ensamble o terminados:

1) El diseño del producto, realizado en la planta matriz, "se libera"¹¹ en su primera fase, dejando a la empresa local la construcción del prototipo, el diseño de la herramienta, las pruebas físicas, ambientales y funcionales, así como la corrida piloto de manufactura, fases en las cuales tienen lugar múltiples modificaciones al diseño (véanse los diagramas A y B).

2) La empresa realiza en el país de origen el diseño de producto, con las consiguientes pruebas físicas y ambientales, la construcción del prototipo y el diseño del proceso de producción; luego transfiere la tecnología a una planta local que puede ser una filial o una empresa subcontratada, con lo que se "libera el producto". La empresa local realiza la "corrida" de ingeniería en dos fases: la etapa de modificación del diseño o "fase alfa", en corridas de 25, 50 y 100 piezas, y la "fase beta", en la que se atiende el mejoramiento de las herramientas y el desarrollo de procesos, para por fin iniciar la manufactura, etapa en la que se hacen variadas y constantes modificaciones al producto y al proceso (véase el diagrama C).

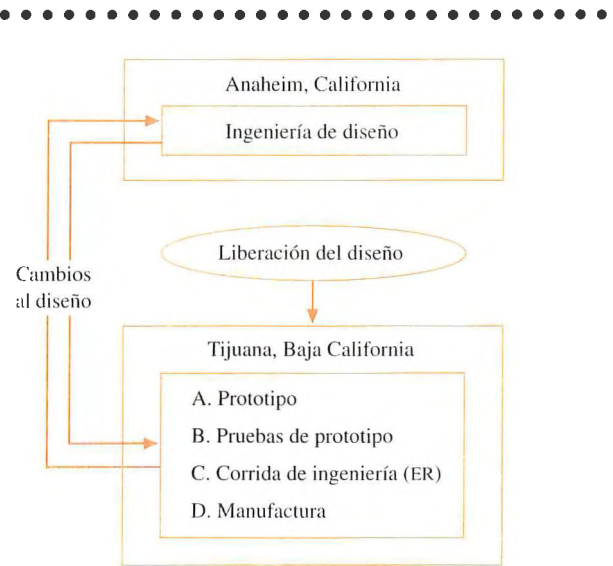
3) La empresa realiza en el país de origen el diseño, la construcción del prototipo, el diseño del proceso de producción y de pruebas, la corrida de ingeniería (100 a 500 piezas) y "libera el producto", dejando a la empresa local la corrida piloto de manufactura, fase en la cual se identifican problemas y se hacen modificaciones al diseño (diagrama D).

Las modificaciones al diseño y los cambios en los procesos y en la construcción de herramienta se derivan de diseños complejos que no consideran el costo de fabricación,¹² falta de especificaciones mecánicas y eléctricas, ausencia de detalles en el diseño y concepción del trabajo en "líneas muertas",¹³ así como diferencias entre la corrida piloto y la manufactura industrial en relación con el número de piezas por día, resistencia de los equipos y de las herramientas y alteración de la calidad de los materiales. En ocasiones los problemas se presentan a partir del diseño del prototipo, que no puede realizarse por problemas técnicos de disponibilidad de insumos y aun de reglamentaciones de control ambiental.

En todos los casos, las modificaciones al diseño se le dan a conocer a la empresa matriz o a la subcontratante por medio de un sistema de información de alta tecnología que vincula uni-

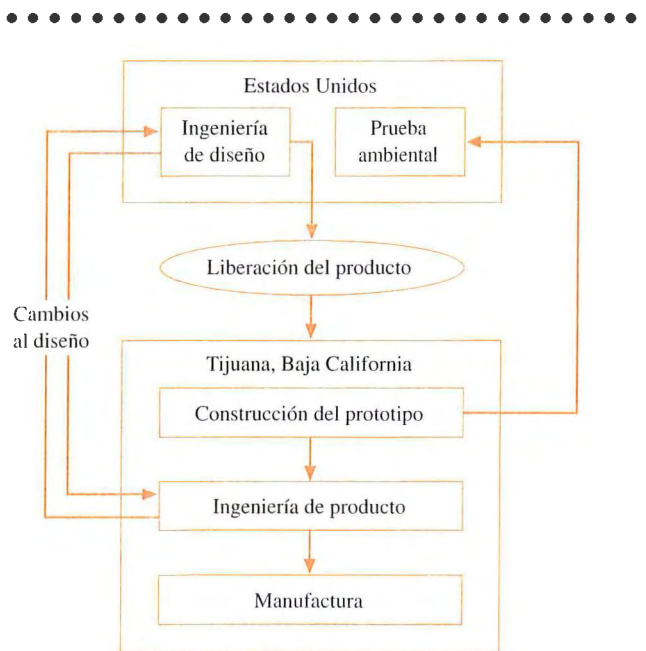
D I A G R A M A A

LA ESTRATEGIA DEL DISEÑO, PRIMER EJEMPLO



D I A G R A M A B

LA ESTRATEGIA DEL DISEÑO, SEGUNDO EJEMPLO



dades formalmente independientes, con lo que se propicia una mejora continua de la capacidad productiva de la corporación, de la empresa filial o de ambas. La matriz y la filial determinan de manera conjunta si se requiere un cambio en el diseño (lo que

11. Desde la óptica productiva corporativa, la liberación del producto implica que éste cumple con las normas gubernamentales de calidad y seguridad y que la eficiencia del proceso es costeable para realizar la manufactura industrial. Desde la óptica local el término "liberar el diseño" se utiliza para designar el momento en que la empresa local queda en relativa libertad de hacer modificaciones al diseño y al proceso, con las implicaciones de cambio tecnológico e innovación.

12. John Dixon. "The Savvy Designer Saves Money", *Printed Circuit Fabrication*, vol. 18, núm. 8, agosto de 1995, p. 27.

13. Ron Daniels, Bill Foren, Teresa Gentry y Peter Wadell, "Design for Manufacturability", *Printed Circuit Fabrication*, vol. 18, núm. 8, agosto 1995, p. 15.

generalmente implica nuevos estándares y, dependiendo del cliente, ciertos parámetros) o un ajuste en un proceso de ensamble. Para iniciar la manufactura comercial se requiere la aprobación de la planta matriz y en algunos casos del cliente final. Las matrices consideran las modificaciones sugeridas en las plantas de Tijuana, adoptan el rediseño, remitiéndolo para su documentación y para que se inicie la manufactura comercial del producto. Esta frecuente actividad permite realizar innovaciones menores a la tecnología transferida, para adecuar el proceso de manufactura a base de descubrir y eliminar deficiencias de diseño, sustituir insumos, ajustar los controles de calidad y modificar la organización del proceso de manufactura para obtener mayores economías.

En la primera estrategia la empresa local es una planta filial de una corporación transnacional (Sanyo o Matsushita), con un promedio superior a 1 000 empleados y de unos 45 ingenieros por planta, con más de 10 años de haberse establecido en la ciudad. Cuenta con departamento de diseño en fase de acreditación ISO 9001¹⁴ y personal de ingeniería relativamente estable, con puestos de nivel gerencial, generalmente con sueldos indizados¹⁵ y una estrategia organizacional que favorece la innovación y el cambio técnico. La excepción que refleja una mayor integración es la de una empresa que aparece como un departamento más de manufactura en el organigrama de la matriz ubicada en Anaheim, California.

En la segunda estrategia la empresa local es filial de otra extranjera (por ejemplo, Mexhon lo es de Honeywell; Kaltec, de Econolite, y Plamex, de Plantron), produce para varios clientes o ensambla para clientes específicos, como Hamlin o Econolite. El número de empleados oscila entre 400 y 700, con 23 ingenieros en promedio. La planta puede tener de 25 a 5 años de operar en forma local y cuenta con una dirección de ingeniería cuyo peso recae en la ingeniería de manufactura.

En la tercera estrategia la planta ensambla para empresas específicas de Canadá y Estados Unidos, cuenta con menos de 400 empleados, de los cuales entre 8 y 12 son ingenieros y en general prevalece una organización tradicional de ingeniería.

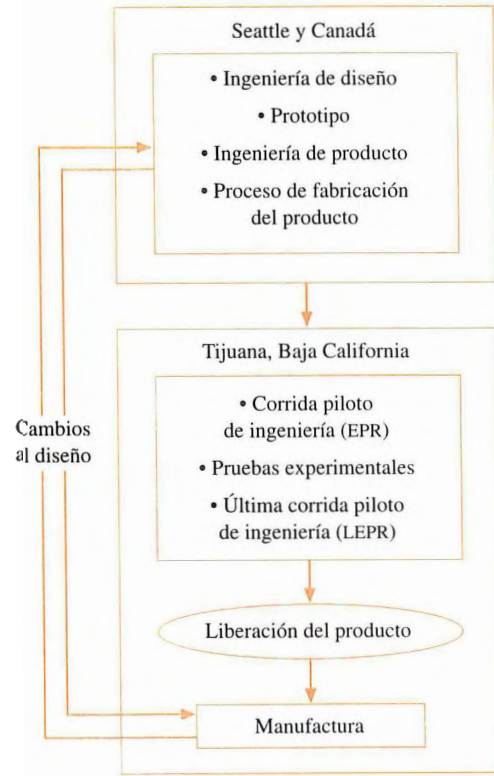
Un ejemplo que revela las ventajas de estas estrategias es el de una maquiladora de capital mexicano. En el momento de transferir la tecnología, las empresas subcontratante y local fijan el precio por unidad producida. Una vez "liberado" el producto las modificaciones posteriores que se dan durante el proceso de manufactura hacen que el costo por unidad sea inferior al precio estipulado. La empresa subcontratante adopta continuamente los cambios al diseño. Transcurrido un año ambas empresas fijan un nuevo precio y distribuyen en partes iguales los beneficios de las economías generadas, de manera que el precio se reduce

14. La norma ISO 9000 establece estándares que implican la documentación e instrumentación de los procedimientos esenciales para la calidad. Mientras en la ISO 9002 se establecen estándares para manufactura, en la ISO 9001 se garantiza la conformidad con los requerimientos especificados por medio de todas las etapas del producto, incluyendo diseño, desarrollo, producción y distribución.

15. El término "indizado" alude a sueldos pagados en dólares.

D I A G R A M A C

LA ESTRATEGIA DEL DISEÑO, TERCER EJEMPLO



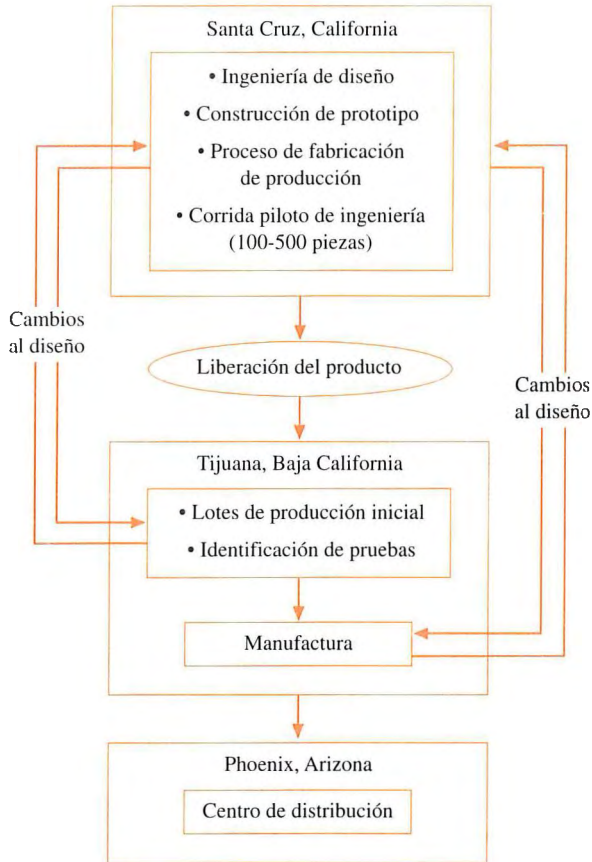
para la que subcontrata, mientras el beneficio para la empresa local baja a un nivel todavía atractivo y superior al concertado inicialmente.

El diseño propio se presenta en empresas grandes que compiten con energía por segmentos del mercado con base en nuevas tecnologías, como es el caso de Sony, y en empresas medianas que trabajan siguiendo especificaciones del cliente, como Comair Rotron. En la industria electrónica de televisores, la introducción de un nuevo modelo, que puede ser uno "derivado",¹⁶ sigue una secuencia: se obtiene información de planeación del diseño del modelo, como son características y partes; se establecen las diferencias entre los modelos que se producen y se hace una corrida experimental para identificar problemas potenciales en los materiales y los recursos humanos. Posteriormente se solicitan cambios al diseño con base en las evaluaciones de ingeniería de manufactura y de calidad y se realiza la corrida experimental, tres meses antes de la primera corrida industrial, para identificar costos y problemas en el proceso. En el caso de Sony el primer diseño local se logró con un televisor de 20 pulgadas;

16. Un modelo "derivado" implica hacer uno nuevo a partir de un diseño ya conocido.

D I A G R A M A D

LA ESTRATEGIA DEL DISEÑO, CUARTO EJEMPLO



asimismo se cambió la tecnología del diseño de mapas de interconexiones de diferentes posiciones de circuitos impresos por una tecnología de láser, con lo que se redujeron tanto el costo por unidad (de 1 100 a 350 dólares) como el tiempo de entrega. Los departamentos de diseño de Sony y Comair Rotron cuentan con la certificación ISO 9001; interactúan estrechamente con el departamento de ingeniería de manufactura, con el apoyo, en la interfase, del departamento de ingeniería de producto, el cual es responsable de definir las especificaciones y de hacer que se cumplan en el proceso de manufactura. A nueve años de haberse establecido, Sony, de capital japonés, cuenta con cuatro plantas agrupadas en una misma área y con 6 500 empleados. Comair Rotron, de capital estadounidense, a 15 años de establecida posee dos plantas y cuenta con 1 000 empleados, lo cual indica que el diseño propio se presenta en plantas con distinto origen de capital, tamaño y tiempo de establecidas.

Las estrategias de diseño entrañan un beneficio económico, organizativo y tecnológico para la empresa. La integración sistémica, mediante las redes de informática, propicia que el

tratamiento de la información influya en el diseño y en la fase productiva, no como etapas sucesivas y separadas, sino como un proceso de retroalimentación permanente de la empresa en Tijuana con los departamentos de diseño en Estados Unidos o Canadá. El grado de integración entre plantas complementa y potencia los efectos innovadores sobre la actividad productiva.

CARACTERÍSTICAS DEL CAMBIO TÉCNICO Y LA INNOVACIÓN

En todas las empresas el proceso se adoptó de modo permanente o se reestructuró en alguna de sus fases, lo que se tradujo tanto en cambios técnicos como en innovaciones incrementales. El primero se dio en 16 de las empresas estudiadas; en nueve se relacionó con la automatización de equipos, en otra con el rediseño y la construcción de equipo y en dos más con el diseño y la construcción de robots industriales. Otros cambios se relacionaron con adaptación de sistemas electrónicos, métodos de soldadura y de prueba, empleo de nuevos materiales y requerimientos ambientales. Los cambios técnicos modificaron la productividad y la competitividad. Tanto la adaptación como la innovación incremental de producto y de procesos son práctica cotidiana en la empresa y se realizan mediante una actitud vigilante y de inspección en todo el proceso productivo orientado tanto a satisfacer los requerimientos del cliente como a optimizar el proceso productivo.

La automatización se dio como resultado de la reconversión de equipo viejo y de la actualización de tecnologías. No se limita a tecnología sustituta o complementaria de la transferida; en plantas como la de Sanyo se diseñó un dispositivo automático de placas de ferrita que eliminó un departamento con 27 personas. Otro caso en la misma empresa fue el diseño de un robot para la prueba del yugo de deflexión, que implicó la manufactura en la planta de todas las partes, tanto mecánicas como eléctricas y electrónicas. El robot capta 27 posibles errores, de los cuales el personal entrenado sólo percibe visualmente siete.

Los cambios técnicos se dan también en equipo menor. Por ejemplo, el diseño de un sensor que sustituye un adhesivo por un empaque implicó adaptar equipo para la inserción, automatizar procesos y adoptar nuevos métodos de trabajo, lo que se tradujo en una reducción de 50% en tiempo, 80% en costo y 100% en eliminación de residuos contaminantes del ambiente. Otro cambio se presentó en la automatización de una máquina selladora de bolsas, de la cual se hicieron 15 unidades, tres veces más baratas que cualquier otra similar. En otro caso el diseño de un sensor de audio requirió el rediseño del equipo de prueba.

En una empresa se presentó el problema de un adhesivo utilizado en la manufactura de sensores de rayos láser. Se solicitó a un proveedor local un adhesivo que uniera metal con plástico, se diseñaron las máquinas y los procesos y se hizo una "corrida de prueba". La propuesta fue enviada a la planta matriz en Minnessota, Estados Unidos, donde se sometió a pruebas y una vez aprobada se realizó el proceso de manufactura. Como resultado se cambió un diseño usado por 23 años y se abarató el costo de 29 a 14 centavos de dólar en una producción anual de tres millones de piezas.

Todo cambio está documentado (Engineering Change Notice), los manuales y especificaciones de ingeniería reflejan lo que se está haciendo, así como su costo en manufactura. En todos los casos de cambio tecnológico o de innovación se consideró primero el análisis de costo-beneficio y la decisión se tomó a nivel gerencial. En los casos de innovación de procesos participó más de un departamento, lo que exigió consenso, y cuando la innovación incremental fue de producto, hubo amplia participación del cliente. En palabras de un ingeniero entrevistado: "cada vez que se hace un cambio el cliente está involucrado; de no hacerlo puede cancelar el contrato".

Dada la estrategia de trabajo en equipo y la retroalimentación permanente interactuando con otras plantas o con el cliente, no hay un cálculo preciso del tiempo que lleva cada fase de la innovación: diseño, prueba, experimentación y aprobación. En general, el promedio fue de tres meses.

La iniciativa de la innovación fue de los ingenieros y en menor medida por solicitud de la planta o sugerencia de los operarios. Sin embargo, involucró ampliamente al personal de la planta que sabe cómo mejorar el ensamble, qué herramientas necesita y qué requiere para hacer su trabajo. En cuatro casos la innovación se extendió a toda la corporación y en uno a otra planta en la misma ciudad. Las innovaciones incrementales integraron en promedio dos departamentos, mientras el cambio tecnológico integró varios departamentos y disciplinas y no generó estímulo económico inmediato para los ingenieros. Una opinión revela la naturaleza de esta actividad en la industria maquiladora: "El ingeniero debe estar capacitado para realizar innovaciones todos los días, no como una actividad extraordinaria sino cotidiana".

La asimilación de tecnologías se dio por medio de los nuevos equipos (máquinas de inserción automática, equipo de semiconductores, equipos de prueba eléctrica, electrónica y ambiental, maquinaria de choque termal) y nuevas tecnologías de inserción automática, de soldadura, de prueba eléctrica y tecnología de cerámica para computadoras. Fue facilitada por ingenieros estadounidenses, canadienses o japoneses, por un ingeniero mexicano con categoría *senior* o vía los proveedores. La adaptación de procesos se dio en el "piso", se dirigió a optimizar la producción, incidió en los equipos y procesos y generalmente se presentó como resultado de la puesta en marcha de una nueva línea de manufactura. En cuatro casos se mencionó la adaptación de procesos en condiciones distintas de las originales al transferir a México líneas de producción, procesos o plantas ubicadas tanto en Malasia como en Estados Unidos.

El mayor efecto de la innovación se refleja en la productividad y el mayor beneficio en los bajos costos. En ninguna de las empresas estudiadas la automatización de procesos o la introducción de robots implicó el despido de personal.¹⁷

17. Alfredo Hualde, "Capacitación y calificación en la maquiladora fronteriza: un ensayo de evaluación", en Daniel Villavicencio, *Continuidades y discontinuidades de la capacitación*, Fundación Friedrich Ebert-Universidad Metropolitana, 1994, señala que la introducción de maquinaria aumentó el empleo en diez plantas, no afectó el volumen en diez y en cuatro plantas lo disminuyó.

El cambio técnico, aunado a otras innovaciones, implicó reducción de costos, reubicación de personal en otras áreas y eventualmente nuevas contrataciones. Aunque hay la idea generalizada de que la automatización desplaza mano de obra, no se modificó la contratación porque el cambio aumentó la capacidad productiva a un bajo costo. Es posible que éste sea un fenómeno transitorio y coyuntural: los bajos costos salariales y el crecimiento esperado del sector en los próximos años estimula la localización productiva en la ciudad donde se instalan nuevas plantas y se amplían las que ya existen.

CONCLUSIONES

El cambio tecnológico y la innovación se dan en un mecanismo de mejora continua de las bases ingenieriles y logísticas de la producción; abarcan desde la adaptación del diseño del producto hasta la manufactura, como resultado de cambios durante el proceso de construcción de prototipos, determinación de especificaciones, "corridas de prueba" o a lo largo del proceso de manufactura. Surgen en las áreas y procesos donde el nuevo producto difiere de los que ya se producen; inciden en tecnologías de procesos y materias primas; se presentan en un flujo de actividad y no como un evento puntual; se vinculan al aprendizaje tecnológico y a la trayectoria tecnológica de la empresa; tienden a ser apropiados por la empresa o corporación como una tecnología específica y pocas veces se dan a conocer o se publican. Tanto el cambio tecnológico como la innovación están "controlados" por la empresa central o matriz; ésta no los induce hasta su filial o subcontratista sino que los sugieren los ingenieros y en menor medida los operarios.

Dadas las características de la industria electrónica,¹⁸ las oportunidades son mayores para el cambio tecnológico que para la innovación. El primero responde a la necesidad de mejorar la eficiencia productiva y se traduce en cambios y automatización de equipos, con lo que se explota la capacidad productiva de la innovación inicial hasta alcanzar sus límites tecnológicos, así como el diseño de robots industriales. Las innovaciones se relacionan estrechamente con el diseño, por medio de estrategias determinadas por las características de la empresa, y ampliamente con los procesos. Cuando la tecnología es adaptada ello entraña el aprendizaje de nuevas habilidades de producción y continúa con la adaptación de estas capacidades a la especificidad local.

18. Arturo A. Lara Rivero (en "Cambio tecnológico, demanda cualitativa de fuerza de trabajo y estrategias de aprendizaje en la industria electrónica", en *Mujeres, migración y maquila en la frontera norte*) señala que no se puede sostener que la electrónica sea una industria madura: "considero que a partir de los inicios de los ochenta la producción y ensamble de los semiconductores ha ingresado en una nueva fase de desarrollo, caracterizada por la creciente reducción del número de componentes por unidad de producto final y la también creciente complejidad de los componentes". En este artículo el criterio es la trayectoria tecnológica, particularmente de la electrónica de televisores.

La idea tan extendida de que los productos se diseñan en la planta matriz para que se manufacturen en forma eficiente y confiable es refutada por las múltiples modificaciones que sufre el diseño original en las empresas locales, más eficientes y simples

Las aportaciones de los ingenieros mexicanos al diseño en las plantas maquiladoras de la rama electrónica se refieren a la concepción de un diseño apropiado, lo cual implica que no sea demasiado complejo, que puede anticipar problemas mediante la comprensión de los factores relacionados con los costos de fabricación, así como un diseño estratégico para crear una amplia gama de productos. Por otra parte, la actividad de diseño depende menos de las diferencias en la formación profesional de los ingenieros, comparados con los extranjeros, que de la estrategia de crecimiento, actualización tecnológica y oportunidades de la empresa para aprovechar la formación profesional y el aprendizaje tecnológico. Aun cuando en las empresas maquiladoras laboran ingenieros japoneses o estadounidenses, generalmente en puestos administrativos o con la categoría de *senior*, éstos no intervienen en las actividades de diseño o innovación, las cuales recaen particularmente en el personal mexicano con formación en ingeniería electrónica e industrial. En general, los recursos humanos muestran una alta calificación para satisfacer los requerimientos de la industria electrónica de exportación, generada tanto por la educación escolarizada como por la experiencia profesional y la capacitación proporcionada por la empresa.¹⁹

19. En un estudio de 37 plantas maquiladoras en Ciudad Juárez y Chihuahua se identifica una intensa actividad de capacitación en todos los niveles, particularmente en empresas con más de 900 empleados. Véase John Sargent, "Maquiladoras and Skill Development", *Journal of Borderlands Studies*, vol. XII, núms. 1-2, 1997.

El carácter de la innovación en la industria electrónica está determinado por varios factores, entre los que destacan la continua modernización tecnológica de la planta productiva, el carácter de su relación con la planta matriz o subcontratante e incluso su cercanía,²⁰ la fase de la producción global en la que se ubica la empresa local, la existencia de departamentos de diseño y aun las características de flexibilidad productiva de la empresa. Las estrategias de diseño identificadas muestran que la separación entre la concepción del diseño en la planta matriz y las mejoras a éste que se dan en la planta filial tienden a cerrarse en un flujo de información y conocimiento. La actividad innovativa está en función, entre otras variables, de la edad de la empresa, de la creación de departamentos de diseño, de la madurez de los departamentos de ingeniería, de la capacitación de recursos humanos en áreas específicas y del tipo de innovación más común en la empresa.

El análisis de las ventajas y desventajas de las grandes y pequeñas empresas en el proceso de innovación²¹ revela que la industria maquiladora electrónica proporciona las ventajas de ambas: por parte de la empresa matriz, actividades de investigación y desarrollo que conducen a innovaciones radicales, así como a la oportunidad de tener acceso a tecnología e información técnica crucial, capacidad para financiar el crecimiento de la producción y de organizarla de acuerdo con estrategias corporativas y facilidades en la distribución. En las empresas filiales, por lo general de menor tamaño, las ventajas se derivan de una eficiente comunicación informal, de la habilidad para reorganizarse rápidamente atendiendo a los cambios en el ambiente externo y de contar con una mano de obra calificada e ingenieros con buena práctica de ingeniería en el sector. Como resultado, se tiene un diseño "juicioso",²² con una amplia consideración de los procesos de manufactura y de su costo, así como ingenieros con capacidad para el despliegue íntegro del potencial de las innovaciones radicales, con dominio de las tecnologías genéricas.

Los resultados no pueden generalizarse a todo el sector, pero permiten comprender que la innovación en la industria maquiladora electrónica está en el centro de constantes redefiniciones que se relacionarán tanto con el aprendizaje tecnológico y las trayectorias tecnológicas, como con los nuevos modelos de subcontratación productiva, en los que la ventaja competitiva corporativa estará estrechamente vinculada al desarrollo de redes de comunicación y colaboración que propicien y faciliten la actividad innovadora, poniendo en estrecho contacto a sus unidades productivas. e

20. En tres plantas se dio a conocer que la empresa matriz se había desplazado del noroeste de Estados Unidos a San Diego, por lo que se puede asociar la proximidad geográfica con el cambio rápido de la tecnología, adquiriendo importancia decisiva para el intercambio de información.

21. La propuesta de ventajas y desventajas es de Roy Rothwell y Walter Zegveld, *op. cit.*

22. El término diseño "juicioso" es usado por Katherine Hart, Deborah L. Boger y Michael Kerr en "Design for the Environment", *Printed Circuit Fabrication*, vol. 18, núm. 8, agosto de 1995, p. 29.