



# Arquitectura del producto



Derechos de autor 2002 Hewlett-Packard Company, reproducido con autorización.

**FIGURA 9-1**

Tres impresoras Hewlett-Packard para la misma plataforma de producto: un modelo de oficina, un modelo para fotografías y un modelo que incluye la capacidad de escáner.

Un equipo de desarrollo de producto dentro de la división de impresoras domésticas de Hewlett-Packard estaba considerando cómo responder a las presiones simultáneas para incrementar la variedad del producto y reducir los costos de manufactura. Varios de los productos de esa división se muestran en la figura 9-1. La impresión por inyección de tinta se ha convertido en la tecnología dominante para el consumidor y para la impresión en pequeñas empresas que requieren imprimir en color. Una excelente calidad de impresión blanco y negro, y la calidad casi fotográfica de impresión a color podían obtenerse por medio de una impresora que costaba menos de \$200 dólares. Impulsadas por el valor creciente de las impresoras de inyección de tinta de color, las ventas de los tres competidores principales sumaban millones de unidades por año. Sin embargo, conforme maduró el mercado, el éxito comercial llegó al punto de requerir que las impresoras estuvieran a tono con las sutiles necesidades de los segmentos más específicos del mercado, y que los costos de fabricación de estos productos fueran reducidos de manera continua.

Estudiando los pasos siguientes, los miembros del equipo se preguntaron:

- ¿Cómo afectaría la arquitectura del producto su capacidad de ofrecer una nueva variedad de productos?
- ¿Cuáles serían las implicaciones en cuanto a costo al contar con diversas arquitecturas de producto?
- ¿Cómo afectaría la arquitectura del producto su capacidad de terminar el diseño en un plazo de 12 meses?
- ¿Qué influencia tendría la arquitectura del producto en su capacidad de manejar el proceso de desarrollo del mismo?

La arquitectura del producto es la asignación de los elementos funcionales de un producto a los bloques constructivos físicos del mismo. Este capítulo se enfoca en la tarea de establecer la arquitectura del producto. El propósito de la arquitectura del producto es definir los bloques constructivos físicos del producto en términos de lo que hacen, y de cuáles son sus interfaces para el resto del dispositivo. Las decisiones arquitectónicas permiten el diseño y prueba detalladas de estos bloques constructivos, que se asignarán a los equipos, individuos, y/o proveedores, para que así el desarrollo de diversas porciones del producto se pueda realizar de manera simultánea.

En las dos secciones siguientes de este capítulo se define la arquitectura del producto, y se ilustran las profundas implicaciones de las decisiones de arquitectura del producto utilizando como ejemplo la impresora de Hewlett-Packard y varios otros productos. Luego se presenta un método para establecer la arquitectura del producto, enfocarse en el ejemplo de esa impresora, e ilustrar dicho método. (Hay que observar que los detalles del ejemplo de la impresora han sido alterados para preservar la información de propiedad intelectual de Hewlett-Packard.) Después de presentar el método, se analizan las relaciones entre arquitectura y variedad del producto, y funcionamiento de la cadena de suministro, y se proporciona una guía para la planeación de la plataforma, una actividad ligada de manera íntima a la arquitectura del producto.

## ¿Qué es la arquitectura de un producto?

Un producto se puede pensar en términos tanto funcionales como físicos. Los *elementos funcionales* de un producto son las operaciones y las transformaciones individuales que contribuyen al funcionamiento total del producto. Para una impresora, algunos de los elementos funcionales son “guardar papel” y “comunicarse con la computadora central”. Los elementos funcionales se describen por lo general en forma esquemática antes de que sean reducidos a las tecnologías específicas, los componentes, o los principios de trabajo físico.

Los *elementos físicos* de un producto son las piezas, los componentes y subensambles parciales que en última instancia activan las funciones de los productos para su ejecución. Los elementos físicos se definen mientras que progresa el desarrollo. Algunos elementos físicos se establecen mediante el concepto del producto, y otros se definen durante la fase del diseño de detalles. Por ejemplo, la DeskJet incorpora un concepto del producto que implica un dispositivo térmico de suministro de tinta, accionado por un cartucho de impresión. Este elemento físico está ligado de manera indisoluble a un concepto del producto, y era en esencia un postulado del proyecto de desarrollo.

Los elementos físicos de un producto se organizan por lo regular en varios bloques constructivos físicos, llamados *componentes*. (Este término ha logrado un cierto renombre dentro de las empresas de manufactura importantes en Estados Unidos). Cada componente está constituido por un conjunto de elementos que accionan las funciones del producto. La *arquitectura* de un producto es el esquema por el cual los elementos funcionales del producto se disponen en componentes físicos, y por medio de los cuales interactúan dichos componentes.

Quizá la característica más importante en la arquitectura de un producto es su modularidad. Considérense los dos diseños diversos para los frenos y controles de cambio de una bicicleta, que se muestran en la figura 9-2. En el diseño tradicional (izquierda), la función de control de cambio y la de control del freno se asignan para separar los componentes, que de hecho se montan en ubicaciones separadas en la bicicleta. Este diseño exhibe una arquitectura modular. En el diseño que se encuentra a la derecha, las funciones de cambio y freno se asignan al mismo componente. Este diseño exhibe una arquitectura integral, en este caso motivada por intereses aerodinámicos y ergonómicos.

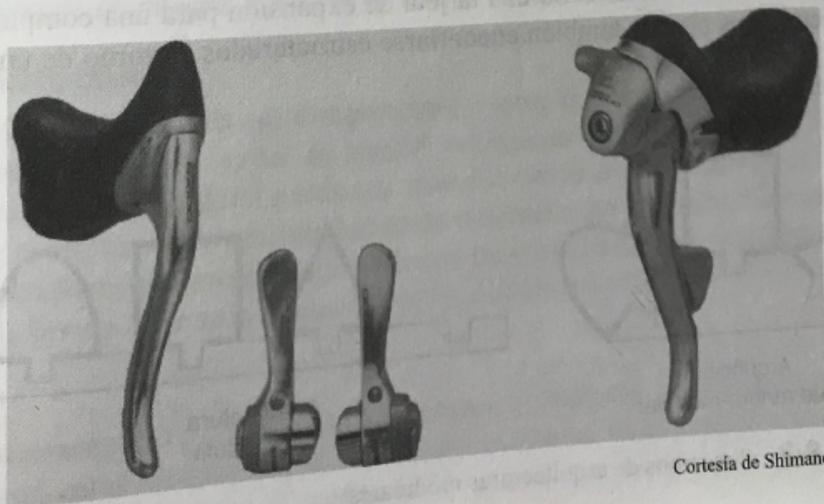
Una *arquitectura modular* tiene las siguientes dos propiedades:

- Los componentes constituyen uno o algunos elementos funcionales en su totalidad.
- Las interacciones entre los componentes están bien definidas y por lo general son fundamentales para las funciones primarias del producto.

La arquitectura modular en esencia es aquella en la cual cada elemento funcional del producto es accionado por un solo componente físico, y en la que existen pocas interacciones bien definidas entre los componentes. Esta arquitectura modular permite realizar cambios en el diseño de algún componente sin que se tengan que modificar los otros componentes para que el producto pueda funcionar de manera correcta. Los componentes se pueden diseñar también totalmente independientes uno del otro.

**FIGURA 9-2**

Dos modelos de controles de frenos y cambios de bicicleta. El producto a la izquierda ejemplifica una arquitectura modular; el producto a la derecha tiene una arquitectura más integral.



Cortesía de Shimano

Lo opuesto a una arquitectura modular es una *arquitectura integral*. Una arquitectura integral exhibe una o más de las siguientes características:

- Los elementos funcionales de un producto se accionan utilizando más de un componente.
- Un solo componente acciona muchos elementos funcionales.
- Las interacciones entre los componentes no están bien definidas y pueden ser incidentales a las funciones primarias de los productos.

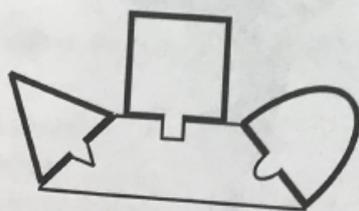
Un producto que incorpora una arquitectura integral, a menudo será diseñado teniendo en mente el desempeño más alto posible. La activación de elementos funcionales se puede distribuir a través de múltiples componentes. Los límites entre los componentes pueden ser difíciles de identificar o ser inexistentes. Muchos elementos funcionales se pueden combinar en algunos componentes físicos para optimizar ciertas dimensiones del desempeño; sin embargo, las modificaciones a cualquier componente o característica particular pueden requerir un rediseño extenso del producto.

La modularidad es una característica relativa en la arquitectura del producto. En pocas ocasiones los productos son estrictamente modulares o integrales. En cambio, es posible afirmar que exhiben más o menos modularidad que un producto comparativo, como en el ejemplo de los controles de freno y de cambio en la figura 9-2.

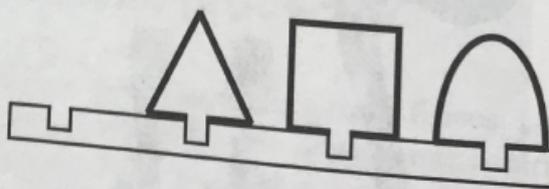
### Tipos de modularidad

Las arquitecturas modulares abarcan tres tipos: ranura, bus, y seccional (Ulrich, 1995). Cada tipo incorpora un mapeo uno-a-uno de elementos funcionales hacia componentes, y hacia las interfaces bien definidas. Las diferencias entre estos tipos recaen en la manera en que se organizan las interacciones entre los componentes. La figura 9-3 ilustra las diferencias conceptuales entre los distintos tipos de arquitecturas.

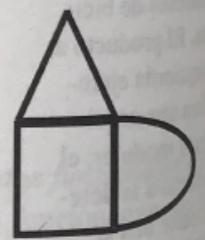
- **Arquitectura ranura-modular:** Cada una de las interfaces entre los componentes en una arquitectura ranura-modular es de un tipo diferente a las otras, para que no sea posible intercambiar varios componentes en el producto. Un radio de automóvil es un ejemplo de un componente en una arquitectura ranura-modular. El radio pone sólo una función en ejecución, pero su interfaz es diferente de cualesquiera de los otros componentes en el vehículo (por ejemplo, los radios y los velocímetros tienen diferentes tipos de interfaces en el tablero de instrumentos).
- **Arquitectura bus-modular:** En una arquitectura bus-modular, existe un bus común, al cual se conectan los otros componentes mediante el mismo tipo de interfaz. Un ejemplo común de un componente en una arquitectura bus-modular sería una tarjeta de expansión para una computadora personal. Los productos no electrónicos pueden también encontrarse estructurados en torno de una arquitectura bus-modular. La



Arquitectura de ranura-modular



Arquitectura bus-modular



Arquitectura seccional-modular

FIGURA 9-3 Tres tipos de arquitecturas modulares

iluminación vial, los sistemas de estantería con rieles, y las rejillas ajustables de techo para los automóviles, todos ellos incorporan una arquitectura bus-modular.

**Arquitectura seccional-modular:** En una arquitectura seccional-modular, todas las interfaces son del mismo tipo, pero no hay un solo elemento del cual dependan todos los demás componentes. El ensamble se construye conectando los componentes entre sí mediante interfaces idénticas. Muchos sistemas de tuberías se apegan a una arquitectura seccional-modular, al igual que los sofás seccionales, los módulos de separación de oficinas, y algunos sistemas informáticos.

Las arquitecturas de ranura modular son las más comunes de las arquitecturas modulares, porque para la mayoría de los productos cada componente requiere una interfaz diferente para adaptar interacciones únicas entre ese componente y el resto del producto. Las arquitecturas bus-modular y seccional-modular son en particular útiles para los casos en los cuales el producto total debe variar de manera importante en la configuración, pero cuyos componentes puedan interactuar mediante un estándar con el resto del producto. Estos casos pueden presentarse cuando todos los componentes utilizan el mismo tipo de energía, conexión de fluidos, unión estructural, o intercambios de señales.

### ¿Cuándo se define la arquitectura del producto?

La arquitectura de un producto comienza a surgir durante el desarrollo del concepto. Esto sucede de manera informal en los bosquejos, los diagramas de función, y los primeros prototipos de la fase de desarrollo del concepto. Por lo general, la madurez de la tecnología básica del producto dicta si la arquitectura del producto está definida por completo durante el desarrollo del concepto, o durante el diseño a nivel sistema. Cuando el producto nuevo es una mejora en el desarrollo del concepto de un producto existente, entonces la arquitectura del producto se define dentro del concepto del producto. Esto es así por dos razones. Primero, las tecnologías básicas y los principios de trabajo del producto se definen de manera previa, y así los esfuerzos de diseño conceptual se centran por lo general en mejores maneras de incorporar el concepto determinado. En segundo lugar, en la medida en que una categoría de producto madura, las consideraciones de la cadena de suministro (es decir, producción y distribución) y las aplicaciones de variedad del producto comienzan a ser más notorias. La arquitectura del producto es una de las decisiones dentro del desarrollo que más afecta la capacidad de las compañías de entregar de manera eficiente una gran variedad de productos. La arquitectura, por tanto, se convierte en un elemento central del concepto del producto. Sin embargo, cuando el producto nuevo es el primero en su clase, el desarrollo del concepto se refiere por lo general a los principios y tecnología de trabajo básicos en los cuales se basará el producto. En este caso, la arquitectura del producto es a menudo el enfoque inicial de la fase de diseño de desarrollo a nivel sistema.

### Implicaciones de la arquitectura

Las decisiones sobre cómo dividir el producto en sus componentes y sobre la cantidad de modularidad que se debe imponer en la arquitectura están relacionadas de manera íntima con diversas cuestiones de importancia para toda la empresa: cambio y variedad del producto, estandarización de los componentes, desempeño del producto, capacidad de manufactura, y administración de desarrollo del producto. Por consiguiente, la arquitectura del producto está intrínsecamente relacionada con las decisiones sobre las capacidades en la estrategia de marketing y manufactura, y de administración del desarrollo del producto.

### Cambio del producto

Los componentes son los bloques constructivos físicos que conforman un producto, pero la arquitectura del producto define cómo se relacionan estos bloques con la función del producto. La arquitectura por lo tanto también define la manera en que se puede cambiar el producto. Los componentes modulares permiten que

los cambios se realicen sólo a algunos elementos funcionales aislados del producto, sin afectar necesariamente el diseño de los otros componentes. Al cambiar un componente integral se puede influenciar muchos elementos funcionales y es posible que se requieran cambios a varios componentes relacionados.

Algunos de los motivos para un cambio del producto son:

- **Actualizaciones:** En la medida en que las capacidades tecnológicas o de uso se desarrollan, algunos productos pueden adaptarse mejor a esta evolución por medio de actualizaciones. Los ejemplos incluyen cambiar el procesador de una computadora, o una bomba en un sistema de enfriamiento por un modelo con mejor desempeño.
- **Accesorios:** Muchos productos son vendidos por el fabricante como unidades básicas a las cuales el usuario agrega los componentes, producidos a menudo por terceros, según se requiera. Este tipo de cambio es común en la industria de las computadoras personales (por ejemplo, se pueden agregar dispositivos de almacenamiento masivo de terceros a una computadora básica).
- **Adaptación:** Algunos productos duraderos se pueden utilizar en varios ambientes diversos por medio de la adaptación. Por ejemplo, los accesorios de algunas máquinas pueden necesitar una conversión de 220 voltios a 110 voltios de energía. De la misma manera, algunos motores se pueden convertir de gasolina a gas propano.
- **Desgaste:** Los elementos físicos de un producto se pueden deteriorar con el uso, haciendo necesario el reemplazo de los componentes desgastados para prolongar la vida útil del producto. Por ejemplo, muchas rasuradoras permiten que se reemplacen las hojas usadas, los neumáticos de los vehículos por lo general pueden reemplazarse, muchos cojinetes giratorios pueden ser reemplazados, y también muchos motores de algunos aparatos.
- **Consumo:** Algunos productos consumen materiales, que pueden entonces ser repuestos de manera sencilla. Por ejemplo, las copadoras y las impresoras con frecuencia poseen cartuchos, las cámaras fotográficas consumen rollos de película, las pistolas de pegamento palillos de silicón, las antorchas cartuchos de gas, y los relojes contienen baterías, y todos ellos son por lo general reemplazables.
- **Flexibilidad de uso:** Algunos productos pueden ser configurados por el usuario para ofrecer diferentes capacidades. Por ejemplo, muchas cámaras fotográficas se pueden utilizar con diversas opciones de lente y de flash, algunos barcos pueden utilizar varias opciones de vela, y las cañas de pescar pueden adecuar varias configuraciones de caña-carrete.
- **Reutilización:** Cuando crea productos subsecuentes, una compañía puede cambiar sólo algunos elementos funcionales, mientras que conserva el resto del producto intacto. Por ejemplo, los fabricantes de productos electrónicos para el consumidor pueden actualizar una línea de productos cambiando sólo la interfaz de usuario y la presentación exterior, mientras que conservan el funcionamiento interno de un modelo anterior.

En cada uno de estos casos, la arquitectura modular permite que la compañía reduzca al mínimo los cambios físicos requeridos para lograr un *cambio funcional*.

## Variedad del producto

La *variedad* se refiere a una gama de modelos de un producto que la compañía puede producir dentro de un periodo particular en respuesta a la demanda del mercado. Los productos construidos en torno a arquitecturas modulares se pueden variar con mayor facilidad sin añadir una enorme complejidad al sistema de manufactura. Por ejemplo, *Swatch* produce centenares de diversos modelos de relojes, pero puede lograr esta variedad a un costo relativamente bajo ensamblando las variedades de diversas combinaciones de componentes estándar, véase figura 9-4. Una gran cantidad de manecillas, carátulas y extensibles se pueden combinar con una selección relativamente pequeña de maquinarias y cajas para crear combinaciones casi sin fin.

**FIGURA 9-4**  
Swatch utiliza una arquitectura modular para permitir una manufactura de gran variedad.



Fotografía por Stuart Cohen

### Estandarización de los componentes

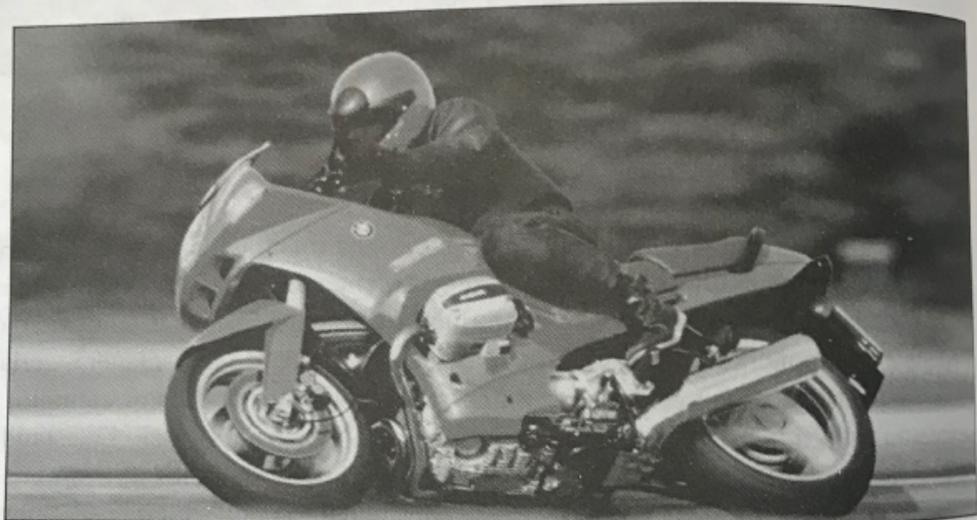
La estandarización de los componentes es el uso del mismo componente o componentes en múltiples productos. Si un componente integra uno o varios elementos funcionales ampliamente útiles, entonces éste se puede estandarizar y utilizar en varios productos diferentes. Dicha estandarización permite que la compañía fabrique el componente en volúmenes más elevados que, de otra manera, sería imposible. Esto, a su vez, puede conducir a costos más bajos y a una calidad incrementada. Por ejemplo, la maquinaria del reloj que se muestra en la figura 9-4 es idéntica en muchos modelos de Swatch. La estandarización de los componentes también puede ocurrir fuera de la compañía, si varios productos utilizan una forma del componente o el componente del mismo proveedor. Por ejemplo, la batería del reloj que se muestra en la figura 9-4 es fabricada por un proveedor y se encuentra estandarizada por las líneas de productos de varios fabricantes.

### Desempeño del producto

Se define el *desempeño del producto* como la adecuación de ese producto para implementar las funciones pretendidas. Algunas características típicas que definen el desempeño del producto son velocidad, eficacia, vida, exactitud y ruido. Una arquitectura integral facilita la optimización de características de desempeño holístico, y aquellas que son impulsadas por la magnitud, la forma, y la masa de un producto. Estas características incluyen la aceleración, el consumo de energía, la fricción aerodinámica, el ruido, y la estética. Considérese, por ejemplo, una motocicleta. Una arquitectura convencional de la motocicleta asigna el elemento funcional de apoyo estructural a un componente del bastidor, y el elemento funcional de conversión de energía a un componente de la transmisión. La figura 9-5 muestra una fotografía de la BMW R1100RS. La arquitectura de esta motocicleta asigna tanto la función de apoyo estructural como la función de conversión de energía al componente de la transmisión. Esta arquitectura integral permite que los diseñadores de la motocicleta exploten las características estructurales secundarias de la cubierta de la transmisión para eliminar el tamaño y la masa adicionales de un bastidor separado. La práctica para implementar funciones múltiples utilizando un solo elemento físico se llama *función compartida*. Una arquitectura integral permite

**FIGURA 9-5**

La motocicleta BMW R1100RS. Este producto muestra la capacidad de compartir funciones y una arquitectura integral con el diseño de su componente de transmisión.



Cortesía de BMW Motorcycle Group

que la redundancia sea eliminada compartiendo una función (como en el caso de la motocicleta) y permite la agrupación geométrica de componentes para reducir al mínimo el volumen que ocupa un producto. El hecho de compartir esa función y de agruparla permite que el uso de los materiales se reduzca, minimizando el costo de manufactura del producto.

**Capacidad de manufactura**

Además de las implicaciones del costo de la variedad del producto y de la estandarización de los componentes antes descritas, la arquitectura del producto también afecta de manera directa la capacidad del equipo de diseñar cada componente que se va a producir a bajo costo. Una estrategia importante es la de diseñar-para-manufactura (DFM) que implica la minimización del número de piezas en un producto por medio de la *integración de componentes*. Sin embargo, para mantener una arquitectura determinada, la integración de componentes físicos sólo se puede considerar de manera sencilla dentro de cada uno de los componen-

La integración de componentes a través de varios componentes es difícil, si no imposible, y alteraría la arquitectura de manera drástica. Puesto que la arquitectura del producto obliga a decisiones subsecuentes del diseño de detalles, el equipo debe considerar las implicaciones de manufactura de la arquitectura. Por esta razón DFM comienza durante la fase de diseño a nivel sistema, mientras que se está planeando la disposición de los componentes. Para los detalles sobre la implementación de DFM, véase capítulo 11, Diseño para manufactura.

### Administración del desarrollo de producto

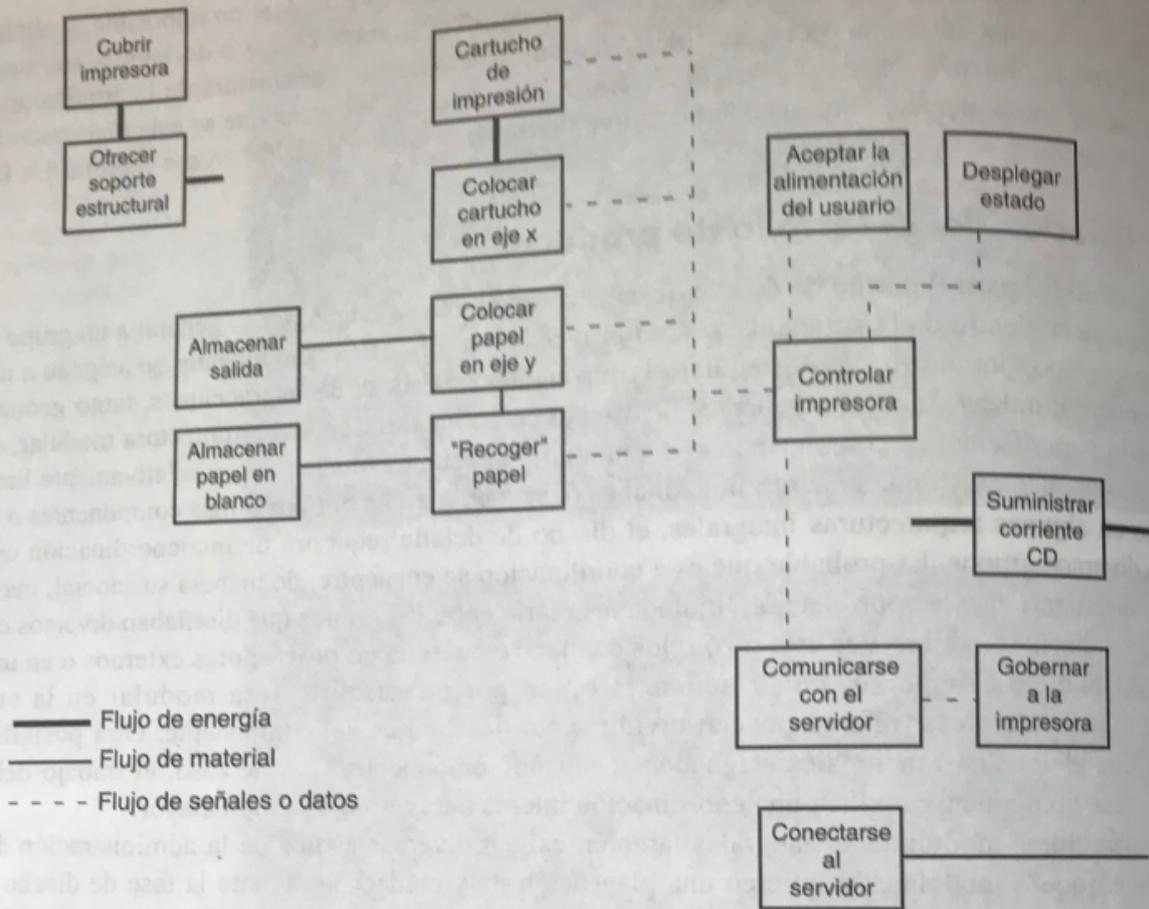
La responsabilidad para el diseño de detalle de cada componente se asigna por lo general a un grupo relativamente pequeño dentro de la compañía, o a un proveedor externo. Los componentes se asignan a un solo individuo o grupo, porque su diseño requiere la resolución cuidadosa de interacciones, tanto geométricas como de otra naturaleza, entre componentes dentro del componente. Con una arquitectura modular, el grupo asignado para diseñar un componente se ocupa de interacciones funcionales, y relativamente limitadas con otros componentes. Si un elemento funcional es puesto en marcha por dos o más componentes o módulos, como en algunas arquitecturas integrales, el diseño de detalle requerirá de una coordinación estrecha entre los diversos grupos. Es probable que esta coordinación se encuentre, de manera sustancial, más involucrada y desafiante que la coordinación limitada necesaria entre los grupos que diseñaban diversos componentes en un diseño modular. Por esta razón, los equipos, confiando en proveedores externos o en un equipo geográficamente disperso, con frecuencia optan por una arquitectura modular en la cual las responsabilidades del desarrollo se pueden dividir según los límites del componente. Otra posibilidad es poseer varios elementos funcionales asignados al mismo componente. En este caso, el trabajo del grupo asignado a ese componente implica una coordinación interna a través de un grupo mayor.

Las arquitecturas modulares e integrales también exigen diversos estilos de la administración del proyecto. Los enfoques modulares requieren una planeación muy cuidadosa durante la fase de diseño a nivel sistema, pero el diseño de detalle se refiere en gran parte a asegurarse de que los equipos asignados a los componentes cumplen con los requisitos de desempeño, costo y programa. Una arquitectura integral puede requerir menos planeación y especificación durante el diseño a nivel sistema, pero de manera sustancial requiere más integración, resolución de conflictos, y coordinación durante la fase de diseño de detalle.

### Establecimiento de la arquitectura

Debido a que la arquitectura del producto tendrá profundas implicaciones en las actividades subsecuentes del desarrollo del producto y en la fabricación y la comercialización del producto terminado, es necesario establecer un esfuerzo funcional del equipo de desarrollo. El resultado final de esta actividad es una disposición geométrica aproximada del producto, de descripciones de los componentes principales, y de la documentación de las interacciones dominantes entre los componentes. Se recomienda un método de cuatro pasos para estructurar el proceso de decisiones, el cual se ilustra utilizando el ejemplo de la impresora DeskJet. Los pasos son:

1. Crear un diagrama esquemático del producto.
2. Agrupar los elementos del diagrama esquemático.
3. Crear una disposición geométrica simple.
4. Identificar las interacciones fundamentales e incidentales.



**FIGURA 9-6** Diagrama esquemático de la impresora DeskJet. Se aprecia la presencia de ambos elementos funcionales (por ejemplo, "almacenar salida") y elementos físicos (por ejemplo, "cartucho de impresión"). Para mayor claridad no se muestran todas las conexiones entre los elementos.

### Paso 1: Crear un diagrama esquemático del producto

Un diagrama *esquemático* es un diagrama que representa el entendimiento que tiene el equipo de los elementos que constituyen el producto. En la figura 9-6 se muestra un diagrama esquemático para una impresora DeskJet. Al final de la fase de desarrollo del concepto, algunos de los elementos en el diagrama esquemático son conceptos físicos, tales como la trayectoria del papel de frente hacia dentro/frente hacia fuera. Algunos de los elementos corresponden a los componentes fundamentales, tales como el cartucho de impresión que se espera utilizar. Sin embargo, algunos de los elementos permanecen descritos sólo según su función. Éstos son los elementos funcionales del producto que todavía no se reducen a los conceptos o componentes físicos. Por ejemplo, "desplegar estado" es un elemento funcional que se requiere para la impresora, pero todavía no se ha decidido el enfoque particular de ese despliegue. Esos elementos que se han reducido a los conceptos o a los componentes físicos son por lo general fundamentales en el concepto básico del producto que se ha generado y seleccionado. Aquellos elementos que siguen sin ser especificados en términos físicos son comúnmente funciones secundarias del producto.

El diagrama esquemático debe reflejar la comprensión que tiene el equipo sobre el estado del producto, pero no tiene que contener cada detalle imaginable, tal como "la condición del sensor cuando se acaba el

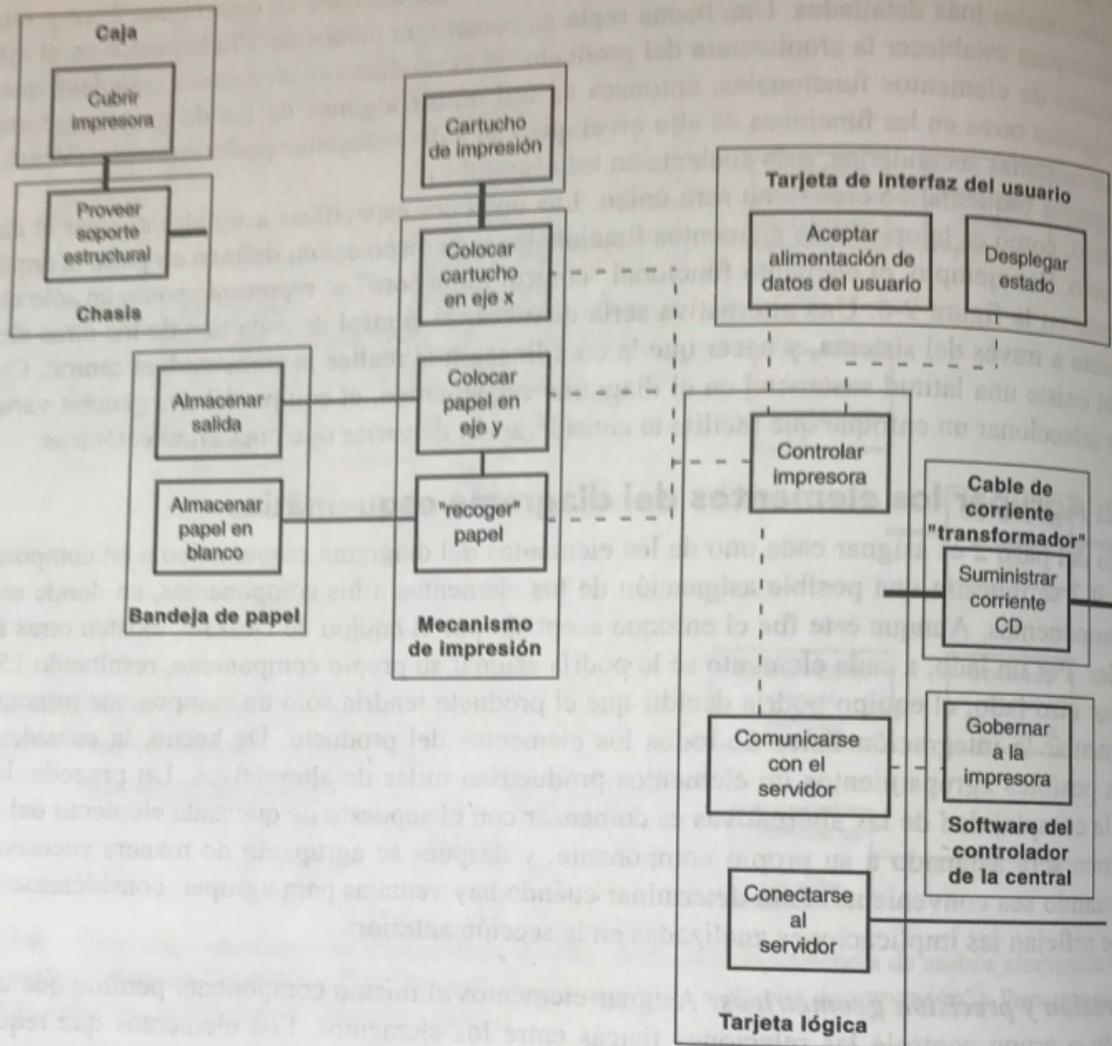
papel" o "protección de emisiones de frecuencias de radio". Más adelante se determinan éstos y otros elementos funcionales más detallados. Una buena regla es contar con menos de 30 elementos en el diagrama esquemático para establecer la arquitectura del producto. Si el producto es un sistema complejo, que implica centenares de elementos funcionales, entonces es útil omitir algunos de los de menor importancia y agrupar algunos otros en las funciones de alto nivel que van a desarticularse posteriormente. (Véase definición de los sistemas secundarios, más adelante en este capítulo.)

El diagrama esquemático creado no será único. Las opciones específicas asumidas al crear el diagrama esquemático, como es la opción de elementos funcionales y su disposición, definen en parte la arquitectura del producto. Por ejemplo, el elemento funcional "control impresora" se representa como un solo elemento centralizado en la figura 9-6. Una alternativa sería distribuir el control de cada uno de los otros elementos del producto a través del sistema, y hacer que la coordinación la realice la computadora central. Como por lo general existe una latitud sustancial en el diagrama esquemático, el equipo debería generar varias alternativas y seleccionar un enfoque que facilite la consideración de varias opciones arquitectónicas.

## Paso 2: Agrupar los elementos del diagrama esquemático

El desafío del paso 2 es asignar cada uno de los elementos del diagrama esquemático a un componente. En la figura 9-7 se muestra una posible asignación de los elementos a los componentes, en donde se utilizan nueve componentes. Aunque éste fue el enfoque aceptado por el equipo de DeskJet, existen otras alternativas viables. Por un lado, a cada elemento se le podría asignar su propio componente, resultando 15 componentes, por otro lado, el equipo podría decidir que el producto tendría sólo un componente principal, y entonces intentar la integración física de todos los elementos del producto. De hecho, la consideración de todos los posibles agrupamientos de elementos producirían miles de alternativas. Un procedimiento para manejar la complejidad de las alternativas es comenzar con el supuesto de que cada elemento del diagrama esquemático será asignado a su propio componente, y después se agruparán de manera sucesiva los elementos cuando sea conveniente. Para determinar cuándo hay ventajas para agrupar, considérense estos factores, que reflejan las implicaciones analizadas en la sección anterior:

- **Integración y precisión geométricas:** Asignar elementos al mismo componente permite que un solo individuo o grupo controle las relaciones físicas entre los elementos. Los elementos que requieren una ubicación precisa, o una integración geométrica cercana, con frecuencia son los mejor diseñados si forman parte del mismo componente. Para la impresora DeskJet, esto sugeriría agrupar los elementos asociados colocando el cartucho en el eje-x y el papel en el eje-y.
- **Compartir una función:** Cuando un solo componente físico puede accionar varios elementos funcionales del producto, estos elementos funcionales se agrupan juntos de la mejor manera posible. Éste es el caso ejemplificado por la transmisión de la motocicleta de BMW (figura 9-5). Para la impresora DeskJet, el equipo consideró que la pantalla de estado y los controles del usuario se podrían incorporar en el mismo componente, y así agrupar estos dos elementos juntos.
- **Capacidad de los vendedores:** Un vendedor leal puede tener capacidades específicas relacionadas con un proyecto, y para aprovechar de la mejor manera dichas capacidades, se puede elegir agrupar esos elementos según la experiencia que el vendedor tenga sobre un solo componente. En el caso de la impresora DeskJet, un equipo interno hizo la mayor parte del trabajo de diseño de ingeniería, y por lo tanto, no era un elemento tan importante que había que considerar.
- **Similitud de la tecnología de diseño o de producción:** Cuando dos o más elementos funcionales tengan la probabilidad de ser implementados utilizando la misma tecnología de diseño y/o producción, entonces hacerlo así puede permitir un diseño y/o una producción menos costosos. Por ejemplo, una estrategia co-

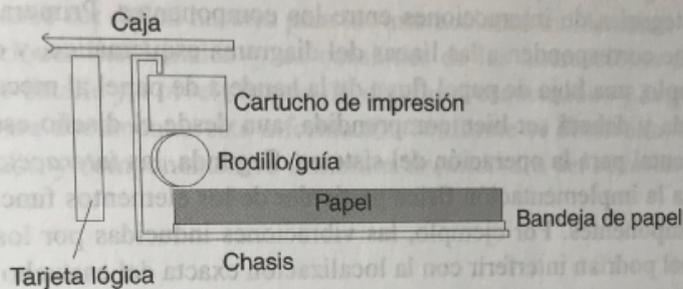
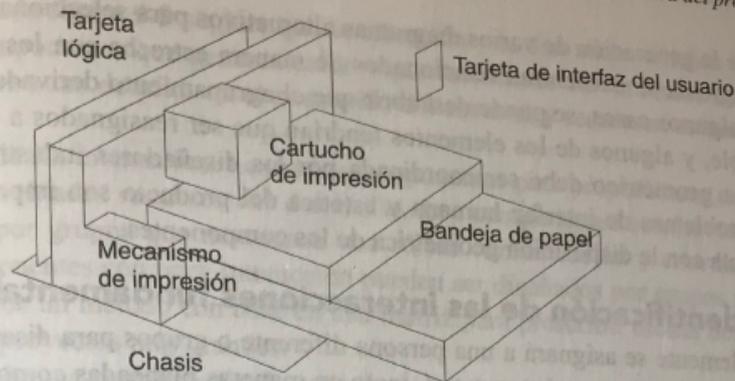


**FIGURA 9-7** Agrupación de elementos en componentes. Nueve componentes conforman esta arquitectura propuesta para la impresora DeskJet.

mún es combinar todas las funciones que tengan la probabilidad de involucrar componentes electrónicos en el mismo componente. Esto permite implementar todas estas funciones en una sola tarjeta de circuitos impresa.

- **Localización del cambio:** Cuando un equipo anticipa un alto grado de cambio en un elemento, tiene sentido aislar ese elemento en su propio componente modular, para poder realizar los cambios requeridos sin la interrupción de ninguno de los otros componentes. El equipo de Hewlett-Packard anticipó cambiar el aspecto físico del producto durante su ciclo de vida, y así eligió aislar el elemento cubierta en su propio componente.
- **Variación flexible:** Los elementos se deben agrupar juntos para permitir a la compañía variar el producto, de manera que tenga valor para los clientes. La impresora tenía que venderse en todo el mundo en regiones con diferentes normas de corriente eléctrica. Como resultado, se creó un componente separado para el elemento asociado con el suministro de corriente CD.

**FIGURA 9-8**  
Espejo geométrico  
de la impresora.



- **Permitir la estandarización:** Si un conjunto de elementos va a ser útil en otros productos, deben agruparse entre sí en un solo componente. Esto permite que los elementos físicos sean producidos en mayores cantidades. La estandarización interna de Hewlett-Packard era un motivo dominante para utilizar un cartucho existente de impresión, y para que ese elemento fuera conservado como componente propio.
- **Portabilidad de las interfaces:** Algunas interacciones se pueden transmitir con facilidad a largas distancias. Por ejemplo, las señales eléctricas son mucho más transmisibles que las fuerzas y los movimientos mecánicos. En consecuencia, los elementos con interacciones electrónicas se pueden separar fácilmente entre sí. Esto también se cumple, pero a un menor grado, para las conexiones de fluidos. La flexibilidad de las interacciones eléctricas permitió que el equipo de Hewlett-Packard agrupara las funciones de control y comunicación en el mismo componente. Por el contrario, los elementos relacionados con el manejo de papel están mucho más restringidos de manera geométrica por sus interacciones mecánicas necesarias.

### Paso 3: Crear un diagrama geométrico

Un diagrama geométrico se puede crear en dos o tres dimensiones, por medio de dibujos, modelos por computadora, o modelos físicos (de cartulina o de espuma, por ejemplo). La figura 9-8 muestra un diagrama geométrico de la impresora DeskJet, con los componentes principales. Crear un diagrama geométrico fuerza a considerar si son factibles las interfaces geométricas entre los componentes y, al mismo tiempo, a resolver las relaciones de dimensión básicas entre los componentes. Considerando una sección transversal de la impresora, el equipo se percató de que existía un equilibrio fundamental entre cuánto papel se podría almacenar en la bandeja del papel y la altura de la máquina. En este paso, como en el anterior, el equipo se

benefició de la generación de varios diagramas alternativos para seleccionar el mejor. Los criterios de decisión del diagrama se encuentran relacionados de manera estrecha con los problemas de agrupamiento del paso 2. En algunos casos, se puede descubrir que el agrupamiento derivado en el paso 2 no es geoméricamente factible, y algunos de los elementos tendrían que ser reasignados a otros componentes. La creación del diagrama geométrico debe ser coordinada por los diseñadores industriales en el equipo, en casos en donde los problemas de interfaz humana y estética del producto son importantes y están relacionados de manera directa con la disposición geométrica de los componentes.

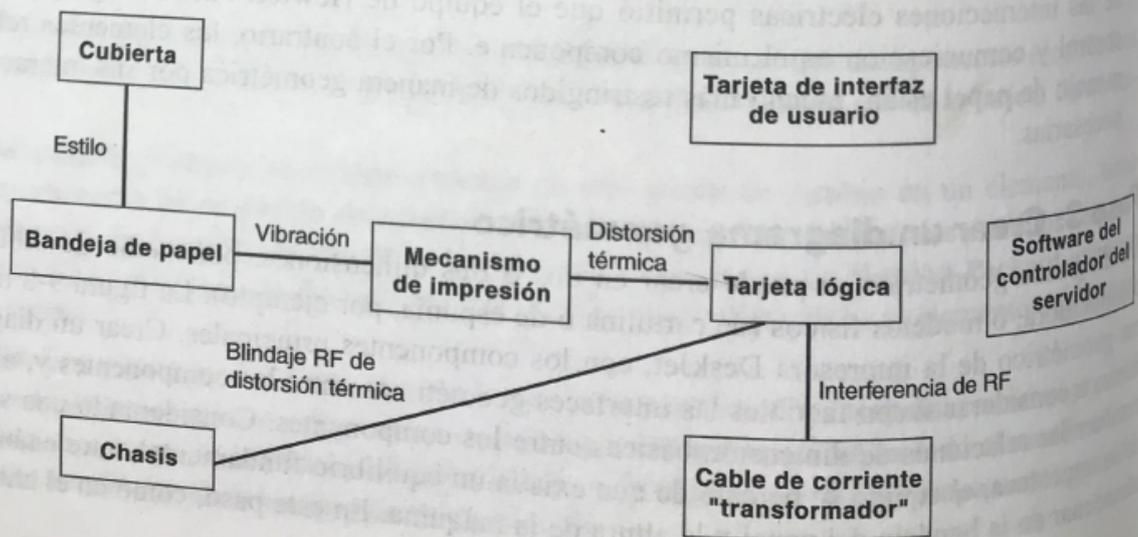
### Paso 4: Identificación de las interacciones fundamentales e incidentales

Muy probablemente se asignará a una persona diferente o grupos para diseñar cada componente. Debido a que los componentes interactúan entre sí, tanto en maneras planeadas como no intencionadas, estos grupos diferentes tendrán que coordinar sus actividades e intercambiar información. Para manejar mejor este proceso de coordinación, se deben identificar las interacciones conocidas entre los componentes durante la fase de diseño a nivel sistema.

Hay dos categorías de interacciones entre los componentes. Primera, las *interacciones fundamentales* son aquellas que corresponden a las líneas del diagrama esquemático, y que conectan los componentes entre sí. Por ejemplo, una hoja de papel fluye de la bandeja de papel al mecanismo de impresión. Esta interacción es planeada y deberá ser bien comprendida, aun desde el diseño esquemático más anticipado, puesto que es fundamental para la operación del sistema. Segunda, las *interacciones incidentales* son aquellas que surgen debido a la implementación física particular de los elementos funcionales, o a la disposición geométrica de los componentes. Por ejemplo, las vibraciones inducidas por los mecanismos de activación en la bandeja de papel podrían interferir con la localización exacta del cartucho de impresión en el eje x.

Aunque las interacciones fundamentales están representadas de manera explícita por el diagrama esquemático que muestra el agrupamiento de elementos en componentes, se deben documentar las interacciones incidentales de alguna otra manera. Para un número pequeño de componentes que interactúan (menos de 10), un *diagrama de interacción* es una manera conveniente de representar las interacciones incidentales. La figura 9-9 muestra un diagrama de la posible interacción para la impresora DeskJet, y representa las interacciones incidentales conocidas. Para sistemas más grandes, este tipo de gráfica llega a ser confusa y, en su lugar, se debe emplear una *matriz de interacción* para mostrar interacciones fundamentales e incidentales. Véase Eppinger (1997) para saber cómo se emplea dicha matriz, que también se utiliza para agrupar los elementos funcionales en componentes basados en la cuantificación de sus interacciones.

**FIGURA 9-9**  
Diagrama de interacción incidental.



El diagrama de interacción en la figura 9-9 sugiere que la vibración y la distorsión térmica son interacciones incidentales entre los componentes que generan calor y que involucran movimientos de posicionamiento. Estas interacciones representan desafíos en el desarrollo del sistema, y requieren esfuerzos coordinados dentro del equipo.

Es posible utilizar el mapeo de las interacciones entre los componentes para proporcionar una guía para estructurar y administrar las actividades restantes del desarrollo. Los componentes con interacciones importantes deben ser diseñados por grupos que mantienen una sólida comunicación y coordinación entre ellos. Por el contrario, los componentes con poca interacción pueden ser diseñados por grupos menos coordinados. Eppinger (1997) describe un método con base en una matriz para prescribir dichas necesidades de coordinación a nivel sistema en proyectos más grandes.

También es posible, a través de una coordinación de avance cuidadosa, desarrollar dos componentes que interactúan entre sí de una manera por completo independiente. Esto se facilita cuando las interacciones entre los dos componentes se pueden reducir con anticipación a la interfaz especificada, que será implementada por ambos componentes. Es relativamente sencillo especificar las interfaces para manejar las interacciones fundamentales, mientras que puede ser difícil hacerlo para las interacciones incidentales.

El conocimiento de las interacciones incidentales (y en ocasiones de las interacciones fundamentales) desarrolla un progreso de diseño de detalle y a nivel sistema. El diagrama esquemático y la gráfica o matriz de interacción se pueden utilizar para documentar esta información conforme se desarrolla. La red de interacciones entre subsistemas, módulos, y componentes, se denomina *arquitectura del sistema*.

## Diferenciación tardía

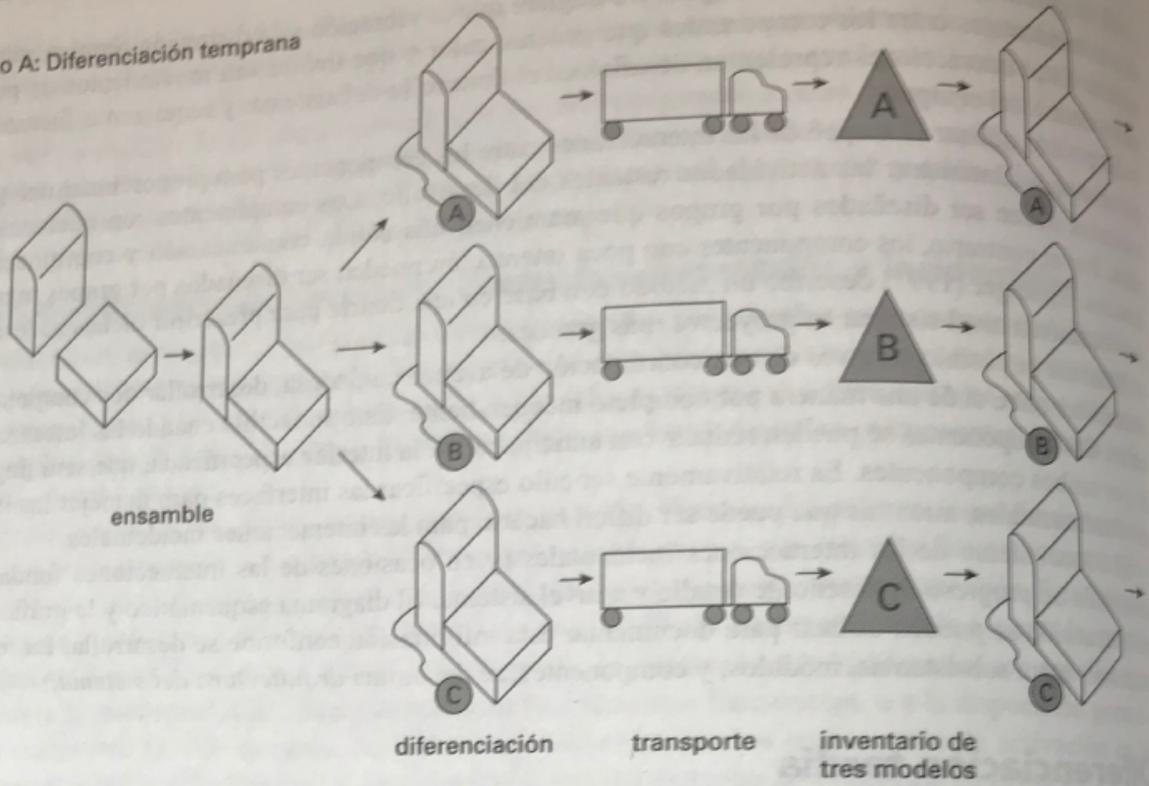
Cuando una compañía ofrece diversas variantes de un producto, la arquitectura del producto es una determinante básica del funcionamiento de la *cadena de suministro*, que es la secuencia de las actividades de producción y distribución que vincula las materias primas y componentes con los productos acabados ya en manos de los clientes.

Imagine tres versiones diferentes de la impresora, cada una adaptada a un diferente estándar de energía eléctrica en tres diferentes regiones geográficas. Considérese en qué punto, a lo largo de la cadena de suministro, el producto se define sólo como una de estas tres variantes. Supóngase que la cadena de suministro consta de tres actividades básicas: ensamble, transporte y empaque. La figura 9-10 ilustra cómo el número de las distintas variantes se desarrolla mientras que el producto se mueve a lo largo de la cadena de suministro. En el escenario A, las tres versiones de la impresora son definidas durante el ensamble, después se transportan, y por último se empaacan. En el escenario B, la actividad de ensamble se divide en dos etapas, la mayor parte del producto se ensambla en la primera etapa, luego se transporta, se termina el ensamble, y al final se empaaca. En el escenario B, los componentes asociados a la conversión de energía se ensamblan después del transporte, así que el producto no se distingue sino hasta que se llega casi al final de la cadena de suministro.

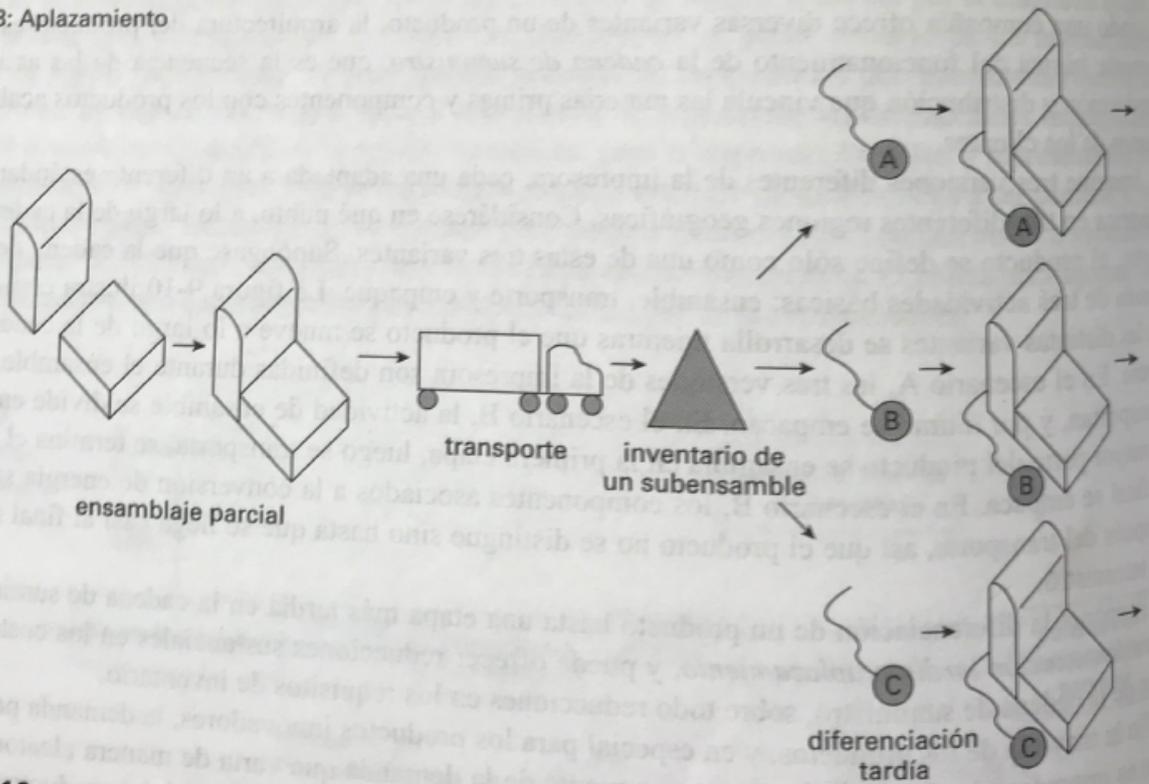
Posponer la diferenciación de un producto hasta una etapa más tardía en la cadena de suministro se llama *diferenciación tardía* o *aplazamiento*, y puede ofrecer reducciones sustanciales en los costos de operación de la cadena de suministro, sobre todo reducciones en los requisitos de inventario.

En la mayoría de los productos, y en especial para los productos innovadores, la demanda para cada versión es impredecible. Es decir, hay un componente de la demanda que varía de manera aleatoria de un período al siguiente. Para ofrecer de manera consistente una elevada disponibilidad del producto en presencia de dicha incertidumbre de demanda, se requiere que el inventario se mantenga cerca del final de la cadena de suministro. (Para entender por qué sucede esto, supóngase un restaurante McDonald's tratando de res-

Escenario A: Diferenciación temprana



Escenario B: Aplazamiento



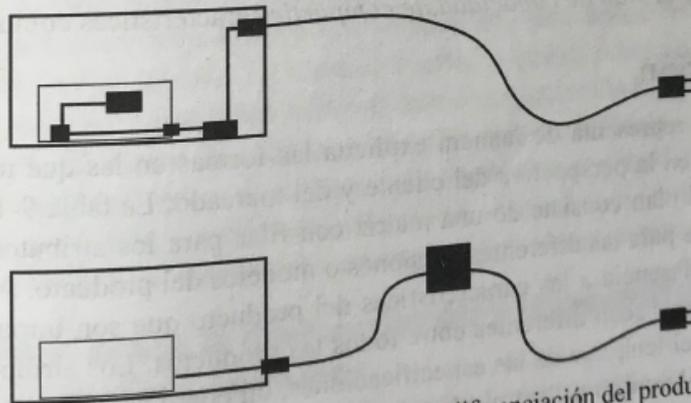
**FIGURA 9-10** El aplazamiento implica la diferenciación tardía del producto hasta la etapa final en la cadena de suministro. En el escenario A, se crean tres versiones del producto durante el ensamble y antes de su transporte. En el escenario B, no son creadas las tres versiones del producto hasta después del transporte.

ponder a las fluctuaciones minuto-a-minuto en la demanda de papas fritas, si es que ya están peladas, cortadas y fritas poco tiempo después de que se ha solicitado el pedido. En lugar de esto, mantiene un inventario que se pueda sacar rápidamente en un paquete y entregar.) Para las impresoras, el transporte en barco entre los sitios de producción y los de distribución puede requerir varias semanas. Así que para dar respuesta a las fluctuaciones en la demanda, se deben mantener inventarios sustanciales justo después de su transporte. La cantidad de reservas de inventario requeridas para un nivel de disponibilidad determinado es una función de la magnitud de variabilidad en la demanda.

El aplazamiento permite reducciones sustanciales en el costo de los inventarios, porque hay menos aleatoriedad en la demanda para los elementos básicos del producto (por ejemplo, la plataforma) que la que existe para los componentes que distinguen las variantes para el producto. Esto se debe a que en la mayoría de los casos, la demanda de diferentes versiones de un producto se encuentra de alguna manera no correlacionada, de modo que cuando la demanda de una versión es alta, es posible que la de otra versión sea baja. Hay dos principios de diseño que son condiciones necesarias para el aplazamiento.

**1. Los elementos de diferenciación del producto se deben concentrar en uno, o sólo algunos componentes.** Para diferenciar un producto en alguno de los pasos del proceso, sus cualidades se deben definir por uno o varios de sus componentes. Considérese el caso de los distintos requerimientos de corriente eléctrica para las impresoras en diferentes regiones geográficas. Si las diferencias entre un producto adaptado para la corriente 120VAC en Estados Unidos y la corriente 220VAC en Europa estuvieran asociadas a varios componentes distribuidos a través del producto (por ejemplo, cable de corriente, interruptor de energía, transformador, rectificador, etc., todo en diferentes componentes), no habría manera de retrasar la diferenciación del producto sin hacerlo también con el ensamble de estos diversos componentes. (Véase la figura 9-11, arriba.) Sin embargo, si la única diferencia entre estos dos modelos es un solo componente que contiene un cable y un "transformador" de corriente eléctrica, entonces la diferencia entre las dos versiones del producto requiere diferencias en un solo componente y una operación de ensamble. (Véase la figura 9-11, abajo.)

**2. El proceso de producto y de producción debe ser diseñado para poder agregar un componente de diferenciación cerca del final de la cadena de suministro.** Incluso si las características que distinguen al producto corresponden a un solo componente, el aplazamiento puede no ser posible. Esto se debe



**FIGURA 9-11** Para dar lugar al aplazamiento, los atributos de diferenciación del producto deben estar concentrados en uno, o en algunos componentes. En el caso que se encuentra arriba, el suministro de corriente está distribuido a través del cable, cubierta y de la tarjeta lógica. En el caso inferior, la corriente de energía está confinada al cable y al "transformador" de suministro de energía.

a que las limitaciones o restricciones del proceso de ensamble o de diseño pueden requerir que este componente sea ensamblado en una etapa temprana de la cadena de suministro. Por ejemplo, se podría contemplar el empaque de la impresora (es decir, la caja impresa) como un componente de diferenciación primario, debido a los requisitos del idioma para los diferentes mercados. Si el transporte del producto de la fábrica al centro de distribución requiriera que la impresora se ensamblara dentro de esta caja, entonces sería imposible posponer la diferenciación del producto con respecto a tipo de empaque. Para evitar este problema, Hewlett-Packard ideó un esquema de empaque inteligente, en el cual se utilizaron charolas moldeadas para colocar varias docenas de impresoras ensambladas en cada una de las diversas capas de una gran pila de embarque, que después puede ser envuelta con una película de plástico y cargada dentro del contenedor de embarque. Este enfoque permite que la diferenciación de la caja se dé después de que las impresoras han sido transportadas al centro de distribución y se haya instalado el suministro de energía apropiado.

## Planeación de la plataforma

Hewlett-Packard suministra productos DeskJet a clientes con diferentes necesidades. Para propósitos de ilustración, imagínesse a estos clientes como parte de estos tres segmentos del mercado: *familia, estudiante, y pequeña oficina/oficina en casa (SOHO)*. Para atender a estos clientes, Hewlett-Packard podía desarrollar tres productos diferentes, ofrecer sólo un producto a los tres segmentos, o diferenciar estos productos a través de elementos establecidos en un subconjunto de los componentes de la impresora. (Véase el capítulo 3, Planeación del producto, para consultar el análisis de las decisiones relacionadas con lo anterior.)

Una propiedad de la arquitectura del producto es que permite a una compañía ofrecer dos o más productos muy diferenciados, y que de hecho, comparten una fracción sustancial de sus componentes. El conjunto de activos, incluyendo los diseños del componente que estos productos comparten se llama *plataforma del producto*. La planeación de la plataforma del producto implica manejar un equilibrio básico entre la capacidad de diferenciación y su capacidad de compartir características comunes. Por un lado, existen beneficios del mercado al ofrecer diversas versiones distintivas de un producto. Por otro lado, existen beneficios de diseño y manufactura para elevar al máximo el grado al cual estos productos diferentes comparten componentes comunes. Hay dos sistemas simples de información que permiten al equipo manejar este equilibrio: el *plan de diferenciación* y el *plan de capacidad de compartir* características comunes.

### Plan de diferenciación

El plan de diferenciación representa de manera explícita las formas en las que múltiples versiones de un producto serán diferentes en la perspectiva del cliente y del mercado. La tabla 9-1 muestra un ejemplo del plan de diferenciación. El plan consiste de una matriz con filas para los atributos de diferenciación de la impresora, y con columnas para las diferentes versiones o modelos del producto. Al mencionar *atributos de diferenciación*, se hace referencia a las características del producto que son importantes para el cliente, y que están destinadas para que sean diferentes entre todos los productos. Los atributos de diferenciación por lo general se expresan en el lenguaje de las especificaciones, tal como se describe en el capítulo 5, Especificaciones del producto. El equipo utiliza el plan de diferenciación para codificar sus decisiones, sobre en qué serán diferentes esos productos. Sin restricciones, el plan de diferenciación equipararía de manera exacta las preferencias de los clientes en los segmentos de mercado objetivo por cada producto diferente. Desgraciadamente, dichos planes implican por lo general productos que son prohibitivamente costosos.

| Atributos de diferenciación          | Familia                                   | Estudiante                              | SOHO (Pequeña oficina, oficina casera)    |
|--------------------------------------|---|---|---|
| Calidad de impresión en negro        | Calidad 300 dpi "casi láser"              | Calidad "láser" 600 dpi                 | Calidad "láser" 600 dpi                   |
| Calidad de impresión en color        | Calidad "casi foto"                       | Equivalente a DJ600                     | Equivalente a DJ600                       |
| Velocidad de impresión               | 6 páginas/minuto                          | 8 páginas/minuto                        | 10 páginas/minuto                         |
| Pie de impresión                     | 360 mm de profundidad por 400 mm de ancho | 340 mm de profundidad por 3 mm de ancho | 400 mm de profundidad por 450 mm de ancho |
| Almacenaje de papel                  | 100 hojas                                 | 100 hojas                               | 150 hojas                                 |
| Estilo                               | "consumidor"                              | "consumidor joven"                      | "comercial"                               |
| Conectividad a la computadora        | USB y puerto paralelo                     | USB                                     | USB                                       |
| Compatibilidad del sistema operativo | Macintosh y Windows                       | Macintosh y Windows                     | Windows                                   |

**TABLA 9-1** Un ejemplo de un plan de diferenciación para una familia de tres impresoras.

| Componentes              | Núm. de tipos | Familia  | Estudiante                     | SOHO (Pequeña oficina, oficina casera) |
|--------------------------|---------------|--|--------------------------------|--|
| Cartucho de impresión    | 2             | Cartucho "Manet"                                   | Cartucho "Picasso"             | Cartucho "Picasso"                     |
| Mecanismo de impresión   | 2             | Serie "Aurora"                                     | Serie angosta "Aurora"         | Serie "Aurora"                         |
| Charola de papel         | 2             | frente-entra<br>frente-sale                        | frente-entra<br>frente-sale    | frente más alto-entra<br>frente-sale   |
| Tarjeta lógica           | 2             | Tarjeta "siguiente generación" con puerto paralelo | Tarjeta "siguiente generación" | Tarjeta "siguiente generación"         |
| Cubierta                 | 3             | Estilo casero                                      | Estilo juvenil                 | Estilo oficina sencilla                |
| Software del controlador | 5             | Versión A-PC, y A-Mac                              | Versión B-PC, y B-Mac          | Versión C                              |

**TABLA 9-2** Un ejemplo del plan de capacidad para compartir características comunes para una familia de tres impresoras.

### Plan de capacidad de compartir características comunes

El plan de capacidad de compartir características comunes representa las formas en las que las diferentes versiones del producto son las mismas pero no físicamente. La tabla 9-2 muestra un plan de capacidad de compartir características comunes para el ejemplo de la impresora. El plan consiste en una matriz con filas que representan los componentes del producto. La tercera, cuarta, y quinta columnas, corresponden a las tres diferentes versiones del producto. La segunda columna indica el número de los diferentes tipos de cada componente que el plan incluye. El equipo llena cada celda en las columnas restantes con una etiqueta para cada versión diferente de un componente que será utilizado para manufacturar el producto. Sin restricciones, la mayoría de los ingenieros de manufactura elegirían quizás utilizar sólo una versión de cada componente en todas las variantes del producto. Desgraciadamente, esta estrategia daría como resultado productos no diferenciados.

### Manejo del equilibrio entre la diferenciación y la capacidad de compartir características comunes

El reto en la planeación de la plataforma es resolver la tensión entre el deseo de diferenciar los productos, y el de que estos productos compartan una fracción sustancial de sus componentes. El examen del plan de diferenciación y el de capacidad de compartir características comunes, revela diversos equilibrios. Por ejemplo, la impresora de un estudiante tiene el potencial de ofrecer una impresión pequeña, que es probable que

sea importante para los estudiantes universitarios que están conscientes del espacio que utilizan en una impresión. Sin embargo, este atributo de diferenciación implica que la impresora del estudiante requeriría un componente diferente del mecanismo de impresión, que es probable que se agregue de manera sustancial a la inversión requerida para diseñar y producir la impresora. Esta tensión entre el deseo de adaptar los beneficios de un producto al segmento de mercado objetivo, y el de reducir al mínimo la inversión se ve magnificado cuando el equipo intenta hacer que el plan de diferenciación y el de capacidad de compartir características comunes sean consistentes. Aquí se ofrecen varios lineamientos para manejar esta tensión.

- **Se deben informar las decisiones de planeación de la plataforma mediante cálculos cuantitativos de las implicaciones en cuanto a costo e ingreso:** El cálculo de la contribución de las utilidades, considerando el incremento de un punto porcentual en cada acción del mercado, es un análisis de mercado útil contra el cual se puede medir el incremento potencial en costos de manufactura y de la cadena de suministro de las versiones adicionales de un componente. Para calcular los costos de la cadena de suministro, se debe considerar el grado al cual es posible posponer la diferenciación que implica el plan, o si debe ser creada en una etapa más temprana dentro de la cadena de suministro.
- **La iteración es benéfica:** Los equipos toman mejores decisiones cuando realizan varias iteraciones basadas en la información aproximada, que cuando existe angustia por los detalles durante iteraciones relativamente menores.
- **La arquitectura del producto dicta la naturaleza del equilibrio entre la diferenciación y la capacidad de compartir características comunes:** La naturaleza del equilibrio entre la diferenciación y la capacidad de compartir características comunes no es fija. Por lo general, las arquitecturas modulares permiten que se comparta una proporción más elevada de componentes que las arquitecturas integrales. Esto implica que cuando se confrontan con un conflicto insuperable entre la diferenciación y la capacidad de compartir características comunes, se deben considerar enfoques alternativos de arquitecturas para mejorar la diferenciación y la capacidad de compartir características comunes.

Para el ejemplo de la impresora, la tensión entre la diferenciación y la capacidad de compartir características comunes se puede resolver mediante un compromiso. Los beneficios redituables de una impresora para estudiantes ligeramente más angosta no excede los costos asociados de crear un mecanismo de impresión más angosto y por completo diferente. Los costos de los distintos mecanismos de impresión tienen la probabilidad de ser muy altos, dado que el mecanismo de impresión implica inversiones sustanciales en herramienta. Además, debido a que el mecanismo de impresión es creado en una etapa temprana en la cadena de suministro, el aplazamiento de la diferenciación sería menos factible si se requieren diferentes mecanismos de impresión. Por estas razones, el equipo quizás elegiría un solo mecanismo de impresión común y continuar con los posibles beneficios de un pie de impresión más angosto de la impresora para el estudiante.

## Problemas de diseño relacionados a nivel sistema

El método de cuatro pasos para establecer la arquitectura del producto guía las actividades anticipadas de diseño a nivel sistema, pero persisten muchas actividades que deben ser detalladas. Aquí se analizan algunos de los problemas que surgen con frecuencia durante las actividades de diseño a nivel sistema posteriores, y sus implicaciones para la arquitectura del producto.

### Definición de sistemas secundarios

El diagrama esquemático de la figura 9-6 muestra sólo los elementos fundamentales del producto. Existen muchos otros elementos funcionales y físicos que no se muestran, algunos de los cuales serán concebidos y

detallados conforme evolucione el diseño a nivel sistema. Estos elementos adicionales conforman los sistemas secundarios del producto. Entre los ejemplos se incluyen los sistemas de seguridad, de energía, los monitores de estado, y los soportes estructurales. Algunos de estos sistemas, tales como los sistemas de seguridad, abarcarán muchos componentes. Afortunadamente, los sistemas secundarios por lo general implican conexiones flexibles, como el cableado y entubado, y pueden ser considerados después de que se han tomado las decisiones arquitectónicas principales. Los sistemas secundarios que atraviesan las fronteras de los componentes presentan un reto de administración especial: ¿Se debería asignar un solo grupo o persona para diseñar un sistema secundario, aun cuando el sistema esté conformado por componentes que residen en diversos componentes diferentes? O ¿el grupo o los individuos deberían ser los responsables de los componentes, que a su vez son responsables de coordinarse entre sí para asegurarse que los sistemas secundarios funcionarán como se requiere? El enfoque anterior es el más típico, y se asignan personas específicas o subequipos para enfocarse en los sistemas secundarios.

### Establecimiento de la arquitectura de los componentes

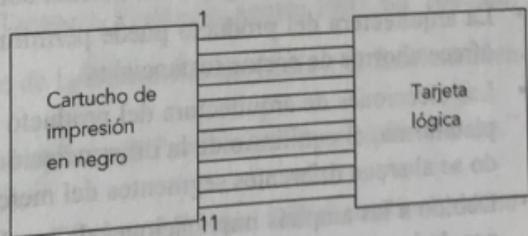
Algunos de los componentes de un producto complejo pueden ser sistemas muy complejos en sí mismos. Por ejemplo, muchos de los componentes en la impresora DeskJet involucran docenas de partes. Cada uno de estos componentes puede tener su propia arquitectura, en un esquema en el cual se divide en componentes más pequeños. Este problema es en esencia idéntico al reto arquitectónico planteado al nivel del producto entero. Es tan importante la consideración cuidadosa de la arquitectura de los componentes como la creación de la arquitectura del producto en general. Por ejemplo, el cartucho de impresión consiste de las subfunciones *almacenar tinta* y *suministrar tinta* para cada uno de cuatro colores de tinta. Son posibles diversos enfoques arquitectónicos para este componente, incluyendo, por ejemplo, el uso de recipientes reemplazables de manera independiente para cada color de tinta.

### Creación de las especificaciones detalladas de la interfaz

Conforme progresa el diseño a nivel sistema, las interacciones fundamentales indicadas por líneas en el diagrama esquemático en la figura 9-6 están especificadas como grupos de señales, flujos de materiales, e intercambios de energía mucho más detalladas. Conforme ocurre esta depuración, también se debe aclarar

**FIGURA 9-12**  
Especificación de la interfaz entre el cartucho de impresión en negro y la tarjeta lógica

| Línea | Nombre | Propiedades |
|-------|--------|-------------|
| 1     | PWR-A  | +12VDC, 5mA |
| 2     | PWR-B  | +5VDC, 10mA |
| 3     | STAT   | TTL         |
| 4     | LVL    | 100KΩ-1MΩ   |
| 5     | PRNT1  | TTL         |
| 6     | PRNT2  | TTL         |
| 7     | PRNT3  | TTL         |
| 8     | PRNT4  | TTL         |
| 9     | PRNT5  | TTL         |
| 10    | PRNT6  | TTL         |
| 11    | GND    |             |



la especificación de las interfaces entre los componentes. Por ejemplo, la figura 9-12 muestra un panorama general de una posible especificación de una interfaz entre un cartucho de impresión color y una tarjeta lógica para una impresora. Dichas interfaces representan los “contratos” entre los componentes y, con frecuencia, están detalladas en los documentos de la especificación formal.

## Resumen

La arquitectura del producto es el esquema mediante el cual sus elementos funcionales están dispuestos en componentes físicos. La arquitectura del producto se establece durante las fases de desarrollo de concepto y de desarrollo de diseño a nivel sistema.

- Las decisiones de la arquitectura del producto tienen implicaciones de gran alcance, y afectan aspectos tales como el cambio y la variedad del producto, la estandarización de los componentes, el desempeño del producto, la capacidad de manufactura, y la administración de desarrollo del producto.
- Una característica fundamental de la arquitectura del producto es el grado al cual ésta es modular o integral.
- Las arquitecturas modulares son aquellas en las cuales cada componente físico pone en marcha un conjunto específico de elementos funcionales, y tiene interacciones bien definidas con los otros componentes.
- Existen tres tipos de arquitecturas modulares: ranura-modular, bus-modular, y seccional-modular.
- Las arquitecturas integrales son aquellas en las cuales la implementación de los elementos funcionales se distribuye a través de los componentes, dando como resultado interacciones indefinidas entre dichos componentes.
- Se recomienda un método de cuatro pasos para establecer la arquitectura del producto:
  1. Crear un diagrama esquemático del producto.
  2. Agrupar los elementos del diagrama esquemático.
  3. Crear un bosquejo geométrico simple.
  4. Identificar las interacciones fundamentales e incidentales.
- Este método conduce al equipo a tomar decisiones arquitectónicas preliminares. Las actividades siguientes de diseño de detalle y a nivel sistema contribuirán a la evolución de los detalles arquitectónicos.
- La arquitectura del producto puede permitir el aplazamiento: la diferenciación tardía del producto, que ofrece ahorros de costos sustanciales.
- Las elecciones de arquitectura del producto están relacionadas de manera íntima con la planeación de la plataforma, el equilibrio de la diferenciación, y la capacidad de compartir características comunes cuando se abarcan diferentes segmentos del mercado con versiones distintas de un producto.
- Debido a las amplias implicaciones de las decisiones sobre la arquitectura del producto, las contribuciones de las áreas de comercialización, manufactura y diseño son esenciales en este aspecto del desarrollo del producto.

## Referencias y bibliografía

Existen recursos actuales disponibles en internet mediante:  
[www.ulrich-eppinger.net](http://www.ulrich-eppinger.net)

En este artículo, se desarrollan y analizan los conceptos básicos de la arquitectura del producto y sus implicaciones.

Ulrich, Karl, "The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm", *Research Policy*, vol. 24, 1995, pp. 419-440.

Muchos de los problemas involucrados en el establecimiento de la arquitectura del producto se tratan desde una perspectiva diferente en la literatura de ingeniería cibernética. Hall ofrece un panorama general, junto con muchas referencias importantes. Maier y Rechtin analizan la arquitectura de sistemas complejos.

Hall, Arthur D., III, *Metasystems Methodology: A New Synthesis and Unification*, Pergamon Press, Elmsford, NY, 1989.

Maier, Mark W. y Eberhardt Rechtin, *The Art of Systems Architecting*, 2a. ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 2000.

Pine analiza el vínculo entre la variedad del producto y la arquitectura del mismo, en el contexto de personalización en masa o la manufactura con una variedad muy elevada.

Pine, B. Joseph, II, *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*, Harvard Business School Press, Boston, 1992.

Clark y Fujimoto analizan la práctica de las interacciones del proveedor de la "caja negra" en su libro sobre desarrollo del producto en la industria automotriz. En este caso, el fabricante especifica sólo la función e interfaz de un componente, y el proveedor maneja todos los problemas de la implementación detallada.

Clark, Kim B., y Takahiro Fujimoto, *Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry*, Harvard Business School Press, Boston, 1991.

Alexander y Simon se consideran los primeros autores que analizan la partición de un sistema en componentes que actúan de manera mínima.

Alexander, Christopher, *Notes on the Synthesis of Form*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1964.

Simon, Herbert, "The Architecture of Complexity", in *The Sciences of the Artificial*, 3a. ed., MIT Press, Cambridge, MA, 1996. (Basado en un artículo que apareció originalmente en 1965.)

Eppinger ha desarrollado métodos basados en matrices para ayudar a analizar las arquitecturas del sistema basadas en la documentación de las interacciones entre componentes y los equipos que los implementan.

Eppinger, Steven D., "A Planning Method for Integration of Large-Scale Engineering Systems", *International Conference on Engineering Design, ICED 97*, Tampere, Finlandia, agosto 1997, pp. 199-204.

En la obra de Lee y sus colegas, se podrá consultar el detalle de la diferenciación tardía y el funcionamiento de la cadena de suministro.

Lee, Hau L., "Effective Inventory and Service Management through Product and Process Re-Design", *Operations Research*, vol. 44, núm. 1, 1996, pp. 151-159.

Lee, Hau L., y C. Tang, "Modeling the Costs and Benefits of Delayed Product Differentiation", *Management Science*, vol. 43, núm. 1, enero 1997, pp. 40-53.

Lee, Hau L., Cory Billington, y Brent Carter, "Hewlett-Packard Gains Control of Inventory and Service through Design for Localization", *Interfaces*, agosto 1993, pp. 1-11.

El método de planeación de plataforma que se presenta en este capítulo, se deriva en parte de un análisis más completo de Robertson y Ulrich.

Robertson, David, y Karl Ulrich, "Planning for Product Platforms", *Sloan Management Review*, vol. 39, núm. 4, verano 1998, pp. 19-31.

## Ejercicios

1. Dibuje un diagrama esquemático para un reloj de pulso utilizando sólo elementos funcionales. (Sin considerar ningún principio o componente de funcionamiento físico en particular.)
2. Describa la arquitectura de una navaja Swiss ARMY. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de esta arquitectura?
3. Separe por partes un pequeño producto electromecánico (que se esté dispuesto a sacrificar si es necesario). Dibuje un diagrama esquemático, incluyendo los elementos funcionales esenciales. Identifique dos o tres agrupamientos posibles de estos elementos en componentes. ¿Existe alguna evidencia para sugerir cuál es la arquitectura elegida por el equipo de desarrollo?

## Preguntas de análisis

1. ¿Los productos de servicios, como cuentas bancarias o pólizas de seguros tienen arquitectura de producto?
2. ¿Una empresa puede lograr una alta variedad del producto sin una arquitectura de producto modular? ¿Cómo (o por qué no)?
3. El argumento para la arquitectura de la motocicleta que se muestra en la figura 9-5 es que permite que una motocicleta más ligera tenga una mayor alternativa modular. ¿Cuáles son las otras ventajas y desventajas? ¿Cuál es el enfoque que tendrá la probabilidad de tener un costo de manufactura más bajo?
4. Existen miles de decisiones arquitectónicas que se deben tomar en el desarrollo de un automóvil. Considérense todas las probables interacciones fundamentales e incidentales que cualquier elemento funcional (es decir, restricciones de seguridad) tendría con los otros. ¿Cómo se utilizaría la documentación de dichas interacciones para guiar la decisión sobre cuál es el componente en el que se colocará este elemento funcional?
5. El diagrama esquemático que se muestra en la figura 9-6 incluye 15 elementos. Considérese la posibilidad de asignar cada elemento a su propio componente. ¿Cuáles son las fortalezas y debilidades de dicha arquitectura?

