

Aunque la revista no acostumbra publicar traducciones, en este caso nos parece justificado incluir ésta, en la que un experto habla del entorno en el que la educación y la práctica de la ingeniería química se desenvuelve actualmente y se desenvolverá en unos cuantos años más.

Aspectos humanos: la redefinición del papel de los ingenieros químicos

*Arthur W. Westerberg**

El desarrollo acelerado de las computadoras transformará el diseño de plantas, su funcionamiento, la educación, así como la forma y el lugar en el que trabajarán los ingenieros químicos.

Abstract

Computer technology will transform all aspects of the chemical engineer's job by the year 2001. Already advances in computing and communications is making plant design and operation, as well as education and management, easier and safer, and more amenable to group work. Future developments in networking, usability, tool development, virtual reality, automation and simulation of processes, and so on, will allow chemical engineers to concentrate less on routine tasks and more on the key issues related to their jobs in the chemical industry.

*Westerberg actualmente ocupa la cátedra Swearingen en la Universidad Carnegie Mellon, Pittsburg PA (412/268-2344; fax 412/268-7139). Ha trabajado como director del Centro de Investigación en Diseño. Jefe del Departamento de Ingeniería Química y Director del Centro de Investigación en Diseño de Ingeniería en la misma universidad. Sus intereses en la investigación son diseño de ingeniería, particularmente síntesis de diseño —específicamente, sistemas de separación, análisis, optimización, ambientes de diseño y aplicación de sistemas expertos. Antes de incorporarse a la universidad en 1976, había trabajado para Control Data Corporation, y había formado parte del cuerpo docente de la Universidad de Florida. Recibió su BS de la Universidad de Minnesota, un MS de la Universidad de Princeton y un PhD del Imperial College de Londres, todos ellos en ingeniería química. Es miembro del AIChE. Ha recibido varios premios de instituciones, así como un premio de la Asociación Americana para la Educación en Ingeniería. Ha presidido numerosas sesiones en las reuniones del AIChE, ha sido jefe del área de programación, y ahora es jefe del Comité de Premiación. Es también miembro de la Academia Nacional de Ingeniería de los Estados Unidos.

Publicado en *Chemical Engineering Progress*, p. 60-66, noviembre de 1993.

Traducción: Bertha Figueroa López; **Revisión:** Gloria Pombo Gordillo y Eduardo Bravo de la Fuente, y Martín Bonfil Olivera.

Para el año 2001, casi todo lo que hasta hoy está impreso estará disponible electrónicamente. Existirán decenas de miles de herramientas de computación. Una red electrónica de amplia cobertura nos permitirá trabajar con una computadora que se encuentre al otro lado del mundo, tal como si estuviera sobre nuestro escritorio —para ver gráficas, imágenes de video, películas y demás. Sin duda alguna, la forma en la que trabajará el ingeniero químico cambiará. En este artículo enfocaremos cómo diferirá el diseño de procesos del actual, pero también exploraremos la evolución de las operaciones de plantas y de la educación. Las predicciones nos señalarán más en qué dirección vamos, que a la velocidad con la que lleguemos. Después de todo, aunque los cambios nos parecen lentos cuando los experimentamos, debemos recordar que solamente han pasado diez años desde que aparecieron las computadoras personales.

Con el incremento acelerado en la capacidad de las computadoras disponibles a principios del próximo siglo resolveremos grandes problemas en forma rutinaria. Podremos considerar una amplia gama de alternativas, por ejemplo cuando estemos diseñando procesos químicos. Los ingenieros utilizarán cómputos basados en principios primarios para comprobar el comportamiento de las moléculas. La mejor computación de los transportes, permitirá la predicción del comportamiento del equipo, reduciendo la necesidad de estudios de planta piloto. Uniendo estos dos tipos de computación, entenderemos cómo sintetizar esquemas complejos de separación de moléculas que no han podido ser vistas.

Las computadoras portátiles, en contacto por radio con otras, podrán perfectamente representar la siguiente revolución en cómputo. Equipadas con transmisión verbal, estas computadoras portátiles serán la siguiente generación en comunicación telefónica. Las computadoras portátiles de tiempo real serán sensibles al cambio en su medio ambiente. Sabrán dónde se encuentra alguien y aun podrán detectar situaciones peligrosas. Tales máquinas nos proveerán con mapas e instrucciones que necesitemos, obtenidas de otras computadoras. Utilizando instrucciones orales nuestras manos estarán libres y podremos ir manejando un automóvil.

Las cuestiones relacionadas con dos temas —redes interconectadas y la utilidad de herramientas— dominarán nuestra forma de interactuar con las computadoras.

Redes de interconexión

La interconexión de las computadoras en redes puede ofrecer las posibilidades más interesantes para su uso diario. Genéricamente, enfrentamos dos puntos importantes en la interconexión: encontrar cosas y utilizarlas.

Debido a que las redes de interconexión computacional nos ofrecerán una enorme riqueza de información (por ejemplo, escritos, libros, catálogos, tesis de doctorado, artículos periodísticos, anuncios, dibujos, películas, grabaciones sinfónicas, cartas personales), necesitamos estructuras para organizar las diversas bases de información. Necesitamos un "lenguaje común" para tener acceso a ellas. Necesitamos mecanismos de búsqueda lo suficientemente rápidos para proporcionar información que pueda utilizarse efectivamente cuando se le necesite. Necesitamos programas que puedan resumir automáticamente asuntos —una idea que nos lleva al reconocimiento de formas, el cual es actualmente un tema crucial de investigación en varias áreas: resumir textos, encontrar formas de objetos geométricos, etc. Necesitamos métodos para almacenar información actualizada.

Hay muchos posibles mecanismos para la búsqueda de cosas. Uno de ellos es que el usuario rastree información en una estructura informativa que puede estar distribuida en diferentes computadoras. Otro es que el usuario envíe un mensaje describiendo aquello que desea. El *software* recoge el mensaje, localiza la información y alerta al usuario instruyéndolo sobre cómo tener acceso a ésta. El envío de mensajes permite una búsqueda más amplia, pero también requiere que el usuario primero describa lo que busca para que pueda encontrarse.

Las redes permiten a la gente trabajar unida aunque esté geográficamente separada. Por ejemplo, ya se utiliza interesante *software* como ayuda en la realización de reuniones. La sala de juntas está equipada con una red de computadoras. Los participantes pueden ver un documento común que todos ellos pueden editar simultáneamente. Una variante sería que se garantizaran las contribuciones anónimas (a menos que un supervisor inseguro mirara por encima del hombro del participante). Algún participante que normalmente no expresa sus ideas, puede ahora contribuir. Se sentirán libres para criticar otras ideas aunque éstas sean las de su jefe. Debido a que las discusiones se hacen en paralelo, las reuniones se llevarán a cabo con mayor rapidez. Todo esto contribuirá a discusiones más sanas y mejores decisiones.

Facilidad de uso de herramientas

La facilidad de uso es un punto importante. Los creadores de tecnología y sus fuentes de financiamiento, reconocerán su importancia hasta la siguiente década. El uso incluye varios puntos —por ejemplo, documentación, interfases, recuperación luego de un error, persistencia y estabilidad (si algo funcionó ayer, funcionará hoy del mismo modo) y formas de comunicación (orales, escritas, señales manuales, mecanografiadas y otras), y mucha

investigación actualmente se centra en lo que hace que a un sistema de computación (arquitectura y paquetería) sea fácil de usar. La cuestión se "reblandece" porque se está tratando con la forma en la cual los seres humanos reaccionan ante un sistema de información complejo. Asuntos tan simples como el uso de una palabra o la colocación de un ícono en pantalla juegan un papel importante. El nivel del usuario es crucial —ya sea que se trate de un neófito o de un experto.

Los enfoques actuales de la facilidad de uso se fundan en mezclar ideas obtenidas de las bases de datos, hipertexto, presentaciones multimedia, gráficas de tiempo real, acceso a los mismos objetos al mismo o a diferentes tiempos, programación orientada a objetos, herencia basada en conjuntos o en ejemplos para la estructuración de la información, y demás.

El requerimiento de facilidad de uso requerirá que aquellos que desarrollen tecnología compleja creen los medios para hacerla llegar a quienes puedan beneficiarse con ella. Ésta es una de las hipótesis que sustenta la creación del Centro de Investigaciones de Ingeniería, creado por la Fundación Nacional de Ciencia de los Estados Unidos. Los propios investigadores se beneficiarán grandemente con esta actividad y crearán una mejor tecnología. Este enfoque centrado en la facilidad de uso nos animará a pensar acerca de cómo dar a conocer una tecnología desde el inicio mismo de su desarrollo. También obligará a los investigadores a observar más detenidamente qué es lo que realmente hacen los usuarios para resolver un problema. Esto se debe a que generalmente los usuarios informan de manera lacónica lo que hacen —y le añaden racionalidad a sus informes. Los investigadores también tienen que abordar un asunto clave en la facilidad de uso: dar a los usuarios la confianza de que saldrán adelante a pesar de los errores que cometan.

Para lograr todo esto, es crítico que los inventores dispongan de herramientas adecuadas para crear mecanismos de entrega. Si le preguntamos a las personas que le tienen miedo a las computadoras (y a otros que no) qué es lo que más temen, nos dirán que a que la computadora se detenga y a no saber qué hacer.

Avances en la facilidad de utilidad

Un estudio de caso de la facilidad de uso es nuestro sistema ASCEND (Sistema Avanzado para Computación en Diseño de Ingeniería) para modelaje basado en ecuaciones de procesos complejos. En el pasado, nos preocupábamos de cómo resolver numéricamente conjuntos muy grandes de ecuaciones no lineales. Estábamos preocupados por incluir tales modelos dentro de un marco de optimización. A mediados de los ochenta se nos convenció de que los métodos newtonianos, usando métodos matriciales distribuidos, nos permitiría resolver dichos modelos confiablemente y que enfoques tales como la programación cuadrática secuencial no haría la optimización computacionalmente más costosa que simplemente resolver ecuaciones. Sabíamos que se necesitaría mucho más trabajo para robustecer estos

métodos, pero estábamos convencidos de que tales desarrollos llegarían pronto.

Entonces, nos preguntamos cómo un ingeniero experimentado podría crear, depurar, y resolver modelos que van de cientos a decenas de miles de ecuaciones. Primeramente desarrollamos un lenguaje basado en conceptos orientados a objetos para expresar modelos complejos.

A continuación, se trabajó en la presentación de dicho modelo a un usuario para su depuración y solución. Creemos firmemente que estas actividades requieren de una entrada interactiva de información del modelador. Además de eliminar los errores obvios y no tan obvios al formular el modelo, frecuentemente se tiene que aprender cómo resolver miles de ecuaciones, y con mucha frecuencia esto requiere del conocimiento del comportamiento físico de lo que está modelando esa persona. Nuestra depuración y método de solución tenía que permitirle ir avanzando en la solución del modelo, resolviendo primero una versión simple, añadiendo complejidad, resolviendo y así sucesivamente.

Para mejorar la facilidad de uso del sistema, se monitoreó en video a varios modeladores utilizando ASCEND en sus propios problemas en sus lugares de trabajo. Cuando los modeladores se detuvieron mientras depuraban, se les preguntó la razón. Las respuestas nos proporcionaron nuevas herramientas de análisis tales como las que nos llevaron a descubrir si las ecuaciones mencionadas son localmente singulares y, si ése era el caso, cuáles ecuaciones causaban la singularidad. También descubrimos que los usuarios se detienen porque el nombre de una herramienta tal como se da en un conjunto de herramientas (una a dos palabras) no les logró transmitir el propósito de la herramienta. Por lo tanto, se renombra a la herramienta o se le relocaliza en un conjunto diferente de herramientas.

Estos puntos son importantes y corresponden a disciplinas fuera de la ingeniería química. Ciertamente, el segundo autor del artículo ASCEND (Piela, 1992) es uno de los miembros de nuestro Departamento de Diseño en la Escuela de Bellas Artes.

La diferencia en facilidad de uso de la primera versión de la interfase ASCEND y la actual es drástica.

Realidad virtual

La realidad virtual nos ofrece interesantes oportunidades para aumentar la facilidad de uso. Hará accesible la tecnología geométrica compleja para usuarios inexpertos. También les permitirá "jugar" con objetos geométricos mientras la computadora lleva a cabo cálculos de procesos de diseño. Por ejemplo, utilizando la realidad virtual los diseñadores modificarán un plano de diseño de procesos introduciéndose en el diseño y moviendo el equipo físicamente. Por ejemplo, serán capaces de "empujar" una pieza de equipo para que no estorbe otra. Serán capaces de aumentar el diámetro de una columna "tomándola" y agrandándola. Estudios de operabilidad y riesgo incluirán entrar en un proceso

virtual y causar el mal funcionamiento de una bomba al mismo tiempo que los colegas observan en el cuarto de control virtual, manipulando y monitoreando el equipo y añadiendo sensores, si son necesarios, para observar las consecuencias.

El diseño de procesos en el año 2001

¿Cómo cambiará la ingeniería química en el año 2001 si nuestras predicciones se hacen realidad? Echemos un vistazo al diseño de procesos del futuro. Esto nos dará pistas de los cambios que podemos esperar.

Las etapas en el desarrollo de una planta química prototipo incluyen:

1. Análisis de mercado.
2. Determinar el diseño de procesos (decidir cosas como el organigrama, los miembros del equipo, las actividades involucradas y el apoyo computacional requerido).
3. El diseño de procesos químicos incluyendo el desarrollo del diagrama de flujo del proceso.
4. Obtener datos importantes de diseño que fueron omitidos, si son necesarios, por ejemplo mediante una planta piloto.
5. Convertir el diagrama de flujo del proceso en un diagrama de tubería e instrumentación (DT&I).
6. Pedido del equipo y pedido preliminar de la tubería.
7. Construir una visualización tridimensional del proceso, para establecer los planos y las rutas de la tubería.
8. Pedido final de la tubería.
9. Establecimiento de procedimientos de operación.
10. Construcción de la planta.
11. Depurar y arrancar la planta.
12. Operar la planta y, finalmente,
13. Entrega formal de la planta.

Podemos añadirle otros puntos a esta lista, dependiendo de lo que se desee incluir.

Cada una de estas etapas involucra el trabajo coordinado de muchas personas. Muchas de las etapas avanzan en forma secuencial, proporcionando documentos que permiten a otro equipo humano continuar con el proyecto. Un grupo trabajando en las últimas etapas del proyecto frecuentemente cambiará el diseño que le han dado debido a las restricciones que dicho diseño no puede manejar. La información que el equipo actual tenga disponible para comprender las decisiones anteriores afectará qué tan rápida y seguramente pueda hacer estos cambios.

Varios temas se relacionan con la forma en que se realiza este proceso —y muestran cómo lo impactarán los sistemas de cómputo. Veamos primero la ingeniería concurrente.

Ingeniería concurrente

Este término tiene diferentes significados para diferentes personas.

Para algunos significa empezar simultáneamente las activi-

dades anteriormente descritas. Por ejemplo, una compañía puede formar un equipo para crear el diagrama de tubería e instrumentación al mismo tiempo que reúne a otro grupo para formular el diagrama de flujo del proceso. Para esa compañía ingeniería concurrente es la coordinación de estas dos actividades.

Para otros, es la creación de un equipo diverso, que incluye gente experimentada en las últimas etapas del diseño y operación de un proceso, para generar el diagrama de flujo del proceso. El equipo de diseño de tubería e instrumentación, empezará sus actividades solo hasta que el equipo de diagrama de flujo del proceso (DFP) haya completado su trabajo. La concurrencia ocurrirá porque los expertos en operación, por ejemplo, estarán siempre observando el proceso que se está diseñando y señalarán dónde puede haber problemas.

El primer enfoque es un desperdicio de recursos humanos, porque las decisiones tomadas por el equipo DFP frecuentemente inutiliza el trabajo realizado por el equipo DT&I. Aún más, las decisiones tomadas por el equipo DT&I limitan aspectos de diseño y restringen alternativas que el grupo DFP pueda hacer. Este primer enfoque puede utilizarse sólo en el caso en el que el tiempo apremie y el costo no sea un problema.

En lo que todos están de acuerdo es en que la ingeniería concurrente es también la coordinación de actividades que deben realizarse en paralelo.

El proceso de diseño es una actividad social, especialmente cuando requiere de una gran cantidad de personas para su ejecución. La realización de los cálculos es generalmente una pequeña parte de esta actividad. Una actividad de diseño exitosa agrupa varias personas de diferentes disciplinas. Una actividad importante dentro del equipo es la de llegar a un acuerdo sobre el vocabulario, decisiones e interpretación de la información existente. A medida que el proyecto avanza, los miembros del equipo desarrollan un vocabulario y una interpretación del diseño comunes. Otro asunto muy importante es el intercambio oportuno de información relevante entre miembros del equipo, así como también simultáneamente con los miembros de otros equipos. Los sistemas computacionales del futuro impactarán significativamente las negociaciones y el intercambio de información.

Dónde ocurrirá o no la automatización

El proyecto irá creciendo a medida que va pasando a través de sus etapas de diseño y construcción; por ejemplo, para crear el diagrama de flujo del proceso (DFP) pueden requerirse cinco personas, pero cuando el proyecto desarrolle su visualización tridimensional y se ordene el equipo probablemente docenas de personas ya estarán involucradas.

Las decisiones iniciales tienen un enorme impacto en la economía del proyecto final. Por ejemplo, utilizar una ruta química alterna puede alterar radicalmente el diseño de un proceso. Los estudios realizados han demostrado que en los primeros

10-15% de esfuerzo, se consumen el 50-80% de los costos para crear un nuevo producto o proceso. Actividades subsecuentes tales como convertir un diagrama de flujo del proceso (DFP) en un conjunto de diagramas de tubería e instrumentación (DT&I), aunque requieren de más esfuerzo, tienen un impacto reducido en los costos del proyecto. Frecuentemente, para estas decisiones finales, el equipo tiene que escoger una alternativa adecuada (digamos, seleccionar a un proveedor entre varios que pueda suministrar una bomba aceptable y a un costo efectivo para resolver el problema de transferencia de fluido que se tiene a mano). Las decisiones posteriores también deben ser buenas; no deseamos que nuestra planta se pare ni que ocurra una catástrofe sólo porque la bomba no nos proporcione el servicio adecuado.

Las decisiones rutinarias de bajo impacto que requieren grandes esfuerzos humanos son ideales para la automatización. Por lo tanto, una compañía automatizará primero las últimas etapas —tales como la creación de visualizaciones tridimensionales para planos, y después la generación de diagramas de tubería e instrumentación.

Automatizar estas etapas también puede ayudar en las etapas anteriores. Por ejemplo, supongamos que con sólo presionar un botón puede crearse en una hora un aceptable diseño del programa de tubería e instrumentación y los planos generales de la planta, para un diagrama de flujo de proceso dado. Tal anticipación ayudaría significativamente al equipo de diagrama de flujo del proceso cuando compare alternativas. Nosotros, sin embargo, jamás automatizaremos los aspectos creativos de un diseño, particularmente aquellos (como la generación de ideas) que necesiten pensamiento colateral, la creación de analogías no muy claras, etcétera. Éstas son las actividades que los seres humanos desarrollan muy bien, y que las computadoras no. Experimentalmente se ha demostrado que estas actividades se realizan mejor en grupo que en forma individual. El papel de las computadoras en este aspecto es el de ayudar a las personas, no el de reemplazarlas.

Y el diseño requerirá siempre tales actividades. Después de todo, si una actividad es totalmente rutinaria, con el tiempo cualquiera puede hacerla. Una compañía no puede ganar dinero por largo tiempo haciendo algo que cualquier otra puede hacer tan bien como ella. La competencia bajará los precios muy cerca del costo real para permitir una utilidad adecuada. La compañía deberá tener una ventaja competitiva ya sea en su proceso o en su producto para obtener un margen de utilidad decente. Por lo tanto, los diseñadores de procesos químicos siempre serán necesarios —para proporcionar la innovación que mantenga una ventaja competitiva. Por supuesto que muchas actividades se automatizarán hasta el punto de que ciertas clases de procesos químicos serán diseñados automáticamente. Pero esas actividades automatizadas se volverán las herramientas que los ingenieros usen en el diseño de nuevos procesos.

Recopilando un "diseño"

Un aspecto importante en el proceso de diseño es la recopilación del mismo (Levy, 1993). Para algunos, el diseño es el documento final que un equipo produce describiendo los planos para el proceso o producto. Definitivamente el diseño también incluye información acerca de las decisiones, el por qué fueron hechas, y demás. Uno de los activos más valiosos de una compañía es su base de conocimiento. Esto incluye información recopilada y creada de ciertas cosas (por ejemplo, las propiedades físicas de los componentes con los que trabaja, y la clase de experimentos que puede llevar a cabo en el laboratorio); capturados en herramientas y manuales internos para resolver cierta clase de problemas (tales como un sistema experto para seleccionar la clase de intercambiador de calor necesario, o el modelo de comportamiento para una unidad de fraccionamiento catalítico; y, no debe olvidarse, detalles básicos sobre cómo hacer las cosas hasta llegar a la política y procedimientos de la compañía.

Los futuros ambientes computarizados de manejo de información permitirán la recopilación, organización y el intercambio de mucha más información acerca de un proyecto, que la que se hace actualmente. Esta información se referirá a cosas y a procesos. La interconexión en red permitirá su distribución en todo el globo. Y se establecerán conexiones capaces de proporcionar una red de información distribuida y altamente interconectada —gente, proyectos, reportes de investigación, trabajos efectuados, simulación de entradas y salidas y demás— acerca del proyecto. Desde tal red de información, un equipo de diagrama de flujo del proceso tendrá un archivo mucho mejor de su proyecto para que otros lo usen después. Por ejemplo, esta red proveerá suficiente información para que el equipo de diagrama de tubería e instrumentación entienda que una capa de nitrógeno está ahí para proporcionar tanto presión como seguridad a un tanque de almacenamiento y que no puede ser reemplazada por aire.

Esta red total, aumentada por un análisis posterior con conexiones e información adicionales, permitirá a una compañía obtener la comprensión necesaria para mejorar sus herramientas de diseño, sus datos, y las políticas y procedimientos utilizados para ejecutar un diseño. La compañía puede desarrollar herramientas de automatización para tipos bien definidos de objetos que están conectados usando un vocabulario bien definido (como se hace actualmente para sistemas apoyados en bases de datos). Las redes de información también deben permitirle a los usuarios la exploración de nuevos vocabularios. Los equipos de diseño negociarán estos nuevos vocabularios probándolos, discutiéndolos, y modificándolos mediante inducción (razonamiento que va de lo específico a lo general), que es el camino típico por el que aprendemos a crear nuevas cosas. Por tanto, los ambientes futuros de diseño deben impulsar a sus usuarios a mejorar vocabularios ya existentes y diseñar nuevos. Los actuales sistemas de bases de datos no lo hacen.

Los miembros del equipo de diseño están constantemente revisando su trabajo. Para recopilar un diseño, un sistema de diseño debe anotar las revisiones y mostrar cómo se relacionan entre sí. Por ello es necesaria la gerencia de revisión. Actualmente, las bases de datos frecuentemente sólo capturan la versión más actualizada de cualquier información que tengan —en efecto, esto es lo mismo que considerar solamente al documento final como el diseño. Las razones para tomar las decisiones se pierden. Borrar la información anterior impide usar esa información para desarrollar una nueva opción y repetir un cálculo anterior.

Manejo de herramientas

La mayoría de las personas pueden convertirse en expertos en el manejo de cuando más cuatro o cinco herramientas importantes de cómputo. Los sistemas futuros integrarán herramientas de tal manera que para el usuario el manejo sofisticado de una herramienta será transparente. Los programas de cómputo que funcionen como planeadores seleccionarán la herramienta o serie de herramientas para llevar a cabo un trabajo requerido, reemplazando automáticamente unas herramientas por otras más efectivas cuando se introducen en el sistema. Estos planeadores incluso pueden aprender acerca de la eficacia de la herramienta para facilitar su proceso de toma de decisiones para futuras requisiciones.

La integración de herramientas es posible a varios niveles. El más sencillo es proporcionar a los usuarios una interfase que muestre imágenes para varias herramientas diferentes. Señalando una imagen y accionando con el ratón como se hace hoy en una computadora *Macintosh* o cuando se usa *Windows*, la herramienta empieza a operar. Toda la subsecuente entrada o salida de información se dirige a la herramienta. Un segundo nivel de integración permite al usuario alimentar información dentro de una forma especial presentada en la pantalla, y entonces utilizar una o más herramientas con dicha información de entrada. La información de salida de cada herramienta es capturada y mostrada en formas especiales, gráficas, o algo parecido que pueda ser común a varias herramientas. Un usuario que sólo conozca un protocolo de entrada y un protocolo de salida puede utilizar estas herramientas. Rutinas de traducción hechas a la medida transforman la información de entrada al formato necesario para cada herramienta, y la información de salida de cada herramienta al necesario para la presentación.

Un tercer nivel de integración permite a varias herramientas trabajar juntas. Rutinas de traducción convierten información de salida de una herramienta en la información de entrada necesaria para otra. Una variante pone toda la información de entrada de una herramienta dentro de una base de datos de la cual las herramientas subsecuentes la extraen. En estos dos últimos casos, un grupo de expertos decide sobre el formato para toda la información de entrada y salida para las herramientas. El usuario sólo puede llenar formas y no puede integrar herramientas que no hayan sido acopladas previamente.

Los futuros sistemas de diseño permitirán al usuario definir relaciones entre los objetos almacenados en el sistema. También permitirán al usuario explorar nuevos caminos para integrar herramientas. Tal integración será fácil de hacer, porque el sistema proporcionará herramientas útiles para ello. Otra dimensión para la integración de la herramienta es si tiene o no que ser modificada para integrarla al sistema. Actualmente muchos ambientes de integración requieren de la escritura de códigos de traducción especiales para convertir la de entrada y salida de las herramientas a formas adecuadas. Una herramienta altamente interactiva como nuestro sistema ASCEND no puede incorporarse sino en la forma más elemental a estos sistemas. Los ambientes futuros impondrán requerimientos a herramientas para asegurar que se integren.

Equipos de diseño conectados en red

En el futuro, los miembros de un equipo de diseño no trabajarán necesariamente en el mismo lugar. Los miembros se comunicarán vía redes de información. Para actividades que requieran interacción grupal, los equipos trabajarán simultáneamente sobre objetos mostrados en sus pantallas; las imágenes de los miembros del equipo aparecerán ahí también. Serán capaces de comunicarse oralmente mientras están trabajando.

Si el grupo necesita nueva información, preparará una requisición que será difundida por la red informática. El equipo recibirá en respuesta resúmenes y entonces, si lo desea, información detallada en forma textual, dibujos, grabaciones de audio, películas, hologramas y demás.

Cualquier documento que el equipo envíe para distribución pasará a través de un programa para extraer sus características clave e incluirlas en las bases de información. Los documentos textuales se caracterizarán por palabras clave, frases y la frecuencia de uso, así como por sinónimos apropiados. Programas especiales también analizarán diseños, encontrando frecuentemente características no descritas originalmente por sus creadores. Si se le pide, el sistema comparará el objeto nuevo con otros para encontrar cualquiera que tenga características similares —alertando entonces automáticamente al equipo hacia trabajo relacionado.

Las compañías operarán como proveedoras de servicios en la red. Cuando alguien requiera un servicio, la compañía proveedora de paquetería responderá automáticamente como un primer paso en la negociación de un contrato. Como ejemplo, un grupo de diseño que desea un análisis de elementos finitos, preparará un pedido para tal servicio y lo enviará por la red informática, obteniendo respuestas de cualesquiera compañías que consideren que pueden proporcionar dicho servicio. Y algunas compañías operarán como intermediarias de esos servicios. Una implicación interesante de todo esto es que las compañías pequeñas serán capaces de encontrar y utilizar dichos servicios tan rápidamente como las compañías muy grandes, eliminando una ventaja que

ahora las grandes compañías pueden disfrutar.

La traducción automática de pedidos y contestaciones en otros idiomas (japonés, alemán, francés, etcétera) harán el intercambio de información menos dependiente del lenguaje. Tendremos programas adecuados de traducción de idiomas disponibles en los próximos años para permitirnos, por ejemplo, sostener una conversación telefónica con alguien cuya lengua no entendemos. Una computadora traducirá simultáneamente.

Operación de planta

¿En qué medida será diferente el futuro para los ingenieros químicos involucrados en la operación de plantas? Primero, todos los que se encuentren en operación de planta estarán mucho mejor entrenados. Simuladores que reproduzcan el cuarto de control permitirán a todos los involucrados en operación de planta simular su funcionamiento incluyendo sus etapas inseguras. Estos tipos de simuladores ya existen. El asunto en el futuro es cómo establecerlos rápidamente para nuevas plantas —a diferencia de hoy, los ingenieros y no los especialistas en paquetería jugarán un importante papel en esto.

La programación de las etapas de un proceso, las operaciones de mantenimiento y similares también serán fáciles. Para el año 2001 existirán algoritmos de programación mejorados. Para problemas bien planteados, las compañías serán capaces de encontrar rutinariamente los programas óptimos. Pero todavía requerirá de esfuerzo plantear adecuadamente los problemas. De nuevo el asunto más importante será la recopilación y el manejo de la información.

Las computadoras ya juegan un papel muy importante en las funcionamiento de procesos. Arrancan y detienen procesos automáticamente, monitorean y decodifican el significado de sucesos para decidir si algo ha funcionado mal.

¿El subsecuente crecimiento en las capacidades de la computadora permitirá a las compañías reducir significativamente el número de ingenieros químicos involucrados en operación de procesos? La producción de productos químicos "rutinarios" por procesos "rutinarios" estará totalmente automatizada. Aun así habrá fallas no anticipadas que requerirán que ingenieros químicos las diagnostiquen y las reparen. Por tanto, simplemente por seguridad y habilidad para continuar la producción, las compañías necesitarán ingenieros químicos que entiendan cada uno de sus procesos a profundidad. Los ingenieros químicos también serán necesarios para trabajar en el mejoramiento del proceso.

Sin embargo, descubrir que algo puede mejorarse, es sólo el comienzo para implementarlo. Alguien debe verificar la seguridad del cambio, rastrear y poner al día toda la documentación, registrar el cambio, etcétera. Si existe una red de información que describa la planta actual, los ingenieros serán capaces de rastrear a través de esta red para descubrir más rápidamente las implicaciones del cambio. El sistema los alertará acerca de todos los

documentos en la red que dependan de aquellos que están siendo revisados, ayudando en la programación de cambios en la documentación. Si se desea, será capaz de encontrar a aquellas personas que tomaron decisiones basadas en la planta existente y comunicarles que alguien está haciendo cambios en los cuales ellos pueden estar interesados. Se verificará que existan las aprobaciones para el cambio y que alguien haya constatado la seguridad del mismo antes de permitir que se lleve a cabo.

Educación

¿Será diferente la educación en el año 2001? Si el pasado predice el futuro, la respuesta de alguna forma es "no". Los ingenieros químicos aún necesitarán aprender la misma información fundamental. Deberán aprender los detalles de la termodinámica, la cinética, el cálculo y demás. Aunque, de otra manera, la respuesta es "sí". Todos los estudiantes aún hoy tienen que aprender a usar computadoras. Pero muchos maestros se muestran tímidos ante ellas porque carecen de tiempo para aprender cómo usarlas o porque las máquinas han sido "poco amistosas". Las computadoras, sin embargo, están siendo amistosas (esto es, más fáciles de usar). Y la prometedora tendencia de diseñar las computadoras para que parezcan ser una extensión de una cosa con la cual el usuario está familiarizado, como el teléfono o el proyector, ayudará.

Los educadores tendrán que introducir a los estudiantes a proyectos de equipo donde los miembros provengan de diversas disciplinas. Por ejemplo, entender un diseño de proceso requiere un equipo que involucre ingeniería química, ingeniería ambiental, pericia en negocios y demás. Todo juega un papel crucial en la determinación de la forma del diseño final.

La computadora ayudará en el proceso de enseñanza. Los libros serán diferentes. Estarán disponibles electrónicamente, y no serán simples documentos seriados. Al contrario, se convertirán en redes de información enlazadas a otros libros, artículos, simuladores, etcétera. Los estudiantes con computadoras portátiles serán capaces de buscar en la base de información mundial desde cualquier punto en el que se encuentren. Los maestros crearán material especialmente hecho a la medida, incluyendo exámenes para cursos que integren documentos multimedia para que los estudiantes los vean fuera y dentro de clase. Si los estudiantes necesitan correr un simulador, serán capaces de hacerlo a distancia (después de localizarlo y saber cómo usarlo). Podrán conectar sus computadoras a aquéllas utilizadas por otros, permitiendo interacción grupal en la interpretación de lo que están observando.

¿Desaparecerán los maestros? No, ellos deberán ser los líderes para el desarrollo de nuevas perspectivas acerca de la información que presenten a los estudiantes —perspectivas que ninguna computadora descubrirá. Para el año 2001 muchos cursos rutinarios vendrán "enlatados" y presentados en una forma divertida, llena de secuencias de videos, simulaciones, diagramas interactivos y demás. La computadora automáticamente desarrollará

y calificará tareas y exámenes para esos cursos. Sin embargo, tiene que haber cursos que los estudiantes tomen más allá de lo que está "enlatado". La requerida innovación en el desarrollo de estos cursos es lo que mantendrá competitivos a las universidades y los países.

Lugares de trabajo

La red informática modificará dramáticamente el lugar donde la gente se encuentre cuando trabaje. Actualmente las casas de bolsa han permitido a sus empleados trabajar desde sus casas. Las personas que viven en los bosques en Montana Occidental, pueden funcionar como si estuvieran sentados en la oficina central en Nueva York, porque pueden unirse al flujo de información que está saliendo de Wall Street tan rápido como quienes están sentados en la oficina central. Los ingenieros pueden examinar un proceso en Texas desde su oficina en Nueva Jersey. Actualmente ya pueden observar datos de un sensor en línea usando la computadora sobre su escritorio.

Para el año 2001, serán capaces de tomar parte a distancia en el funcionamiento de un proceso, consultando varias personas en línea de tal manera que se puedan tomar decisiones grupales cuando sean necesarias. Los equipos no necesitan reunirse para trabajar juntos tan frecuentemente como lo hacen ahora. Pero los miembros del equipo aún necesitarán el contacto personal para establecer confianza mutua.

En conclusión

Hemos estado especulando acerca de cómo el ambiente computarizado del año 2001 cambiará lo que los ingenieros químicos estarán haciendo. Una motivación importante para esta especulación es la existencia de redes de información superpuestas a objetos que pueden ser guardados en cualquier parte del mundo. Como una biblioteca de referencia donde unos artículos nos remiten a otros, esta red de información interconectará electrónicamente artículos, herramientas, dibujos, secuencias de video, grabaciones de audio y demás, en formas que hoy no resultan posibles. Esta será la documentación conservada para los proyectos, y los libros del futuro; evolucionarán continuamente. Otro acierto es el uso de la red informática que unirá a las personas en cualquier lugar del mundo, de tal manera que puedan trabajar simultáneamente sobre un objeto que cada uno puede ver y modificar. Si recordamos que la computadora personal tiene sólo diez años, bien podremos alcanzar a ver todos los cambios sugeridos aquí, y algunos otros, para el año 2001.

Bibliografía

- Levy, S.N., Subrahmanian, E., Konda, S.L., Coyne, R., Westerberg, A.W. y Reich, Y., "An Overview of the *n-dim* Environment", *Eng. Des. Res. Ctr.*, Carnegie Mellon Univ., Pittsburgh PA, 1993.
- Piela, P.C., McKelvey, R.D. y Westerberg, A.W., "An Introduction to ASCEND: Its Language and Interactive Environment", *J. Man. Info. Sc.* 9(3), 91-121 (invierno 1992-93). ■