

El Ingeniero cibernético

He participado en el proceso de formación de los Ingenieros Químicos que egresan de la Universidad Nacional de La Plata por un lapso que ronda el medio siglo. Obviamente, en todo ese largo tiempo transité por vivencias enriquecedoras y por otras que no lo fueron tanto. Todas ellas dejaron un sustrato y estoy convencido que reflexionar sobre esas experiencias constituye un aporte de cierto valor en la tarea, permanentemente inconclusa, de enseñar y de aprender.

En ese proceso, debe tenerse en claro **que** es lo que se debe enseñar, **cómo** debe hacerse y **para que** se lo enseña. Estas son las cuestiones sobre las que vamos a hablar en esta charla.

Un punto de partida que podríamos considerar es que nuestra primera actitud como docentes pasa por comunicar aquello que nos fue enseñado del mismo modo en el que nos fue transmitido. Este comportamiento es natural: tendemos a formar a los demás como fuimos formados nosotros.

Pero esta estrategia flaquea cuando se producen modificaciones sustanciales en los conocimientos a impartir o en los recursos disponibles para aplicarlos o en ambos campos simultáneamente.

Y algo de esto es lo que ha sucedido en el transcurrir de este medio siglo que va desde mi ingreso como alumno en la Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas hasta esta actualidad de docente jubilado de la Facultad de Ingeniería.

Esas modificaciones no están referidas, en lo fundamental, a los contenidos, más allá de los cambios naturales que se producen en cualquier actividad técnica, modificaciones que podríamos denominar “menores”.

En Ingeniería Química un “sacudón” conceptual ocurrió en 1915 cuando el Prof. Little del MIT introdujo la noción de **operaciones unitarias**, como aquellas unidades funcionales básicas en las que es posible descomponer cualquier planta de procesos químicos. El otro gran momento fue en 1960, cuando se publica el libro “Transport Phenomena”, un estudio integrado de los fenómenos de transporte de energía, materia y cantidad de movimiento en sistemas ingenieriles. Este libro es el resultado de los trabajos que Bird, Steward y Lightfoot habían desarrollado durante la década del 50 en la Universidad de Wisconsin.

Sobre estos dos grandes pivotes, el proceso de formación de los ingenieros químicos se fue trasladando desde un enfoque descriptivo y enfático en el detalle de cada industria a otro centrado en los equipos, con independencia de donde estuviesen funcionando.

Yo alcancé a conocer el tramo residual de la primera de las visiones antes de su desaparición, y así fue que tuve que estudiar las industrias inorgánicas, la petrolera y la petroquímica, junto al análisis de las operaciones unitarias a la luz de los fenómenos de transporte.

Esto nos lleva hacia el segundo punto de enfoque que habremos de considerar en esta charla: el diseño de unidades de proceso. O, para ser coherente con lo anterior, lo atinente a su enseñanza y allí nos preguntaremos sobre el *que*, el *cómo* y el *para que* se enseña.

En este sentido, ya dentro del enfoque moderno, a nosotros se nos formaba como depositarios tanto de los algoritmos que debían aplicarse para dimensionar los equipos como de los datos o las fuentes de donde recabar la información necesaria para realizar el cálculo: manuales, tablas, gráficos...

Éramos, si se me permite el término, *ingenieros receptáculos*, con la suficiente autonomía funcional como para desarrollar nuestra actividad aislados del mundo, si fuese necesario, siempre que pudiésemos tener algunos pocos libros a nuestra disposición.

En el proceso de diseño utilizábamos la regla de cálculo, una suerte de computadora analógica de escalas móviles, con la que, por interpolación visual, alcanzábamos a estimar entre 3 y 4 cifras significativas.

Otra alternativa, de uso casi exclusivamente profesional, eran las calculadoras mecánicas, capaces de realizar las cuatro operaciones fundamentales, máquinas que constituían distintas variantes del aritmómetro creado por Leibniz a fines del siglo XVII.

Resulta obvio que, con capacidades de cálculo tan restringidas, los algoritmos que manejábamos con mayor frecuencia eran los estructuralmente más simples: el método de los trapecios para resolver integrales definidas, el de aproximaciones sucesivas para la determinación de la raíz de una ecuación o el método de Euler para tratar ecuaciones diferenciales ordinarias.

Estos algoritmos, muchas veces trabajosos aunque simples, presentaban ciertas deficiencias en cuanto a exactitud y estabilidad numérica, defectos que, cuando se los detectaba, debían ser corregidos sobre la marcha.

Hagamos ahora una pequeña digresión para referirnos al tipo de cuestiones que se abordan en el campo de la Ingeniería. Debemos admitir que la gran mayoría de esos problemas tienen, en realidad, soluciones múltiples. Es única –al menos en el plano conceptual- cuando se fija un criterio (máximo beneficio, mínimo tiempo,...) pero, aún así, lo que normalmente se puede asegurar es que la alternativa que se propone es mejor que muchas otras, es decir, se trata de un subóptimo del universo de soluciones posibles.

Para que existan soluciones múltiples es preciso que el problema esté planteado de modo tal que tenga **grados de libertad**, esto es, que el número de variables exceda al de las relaciones que las vinculan.

En lo anterior subyace una cuestión básica que conviene explicitar: los ingenieros, a diferencia de otras profesiones, como los médicos o los veterinarios, no trabajan, en general, sobre objetos reales sino sobre modelos que los representan, modelos que

se ajustan en base a la experiencia para que esa representación sea lo más fiel posible.

Para poder resolver esos modelos es preciso darles valor a un número de variables igual a los grados de libertad que tiene el problema. Cada conjunto de valores nos conduce a una de las tantas soluciones que podemos proponer para el caso, en teoría, infinitas; un número enorme, en términos prácticos.

Cuando se le impone un determinado criterio es posible plantear una búsqueda que requiere estudiar -y desechar- una cantidad importante de soluciones, todas inferiores a la finalmente elegida.

Volviendo a la época de los algoritmos simples, la regla de cálculo y el trabajo manual, ¿cómo abordar este problema de dimensiones inabarcables? Aún si adoptásemos una estrategia de búsqueda evolutiva, guiada por criterios heurísticos relativamente simples, el esfuerzo que demandaría el volumen de trabajo involucrado obligaría a claudicar en el intento.

Por aquellos tiempos acudíamos a otra línea de acción, en la que hacíamos uso de los llamados “valores aconsejados” por la buena práctica profesional, hasta eliminar por completo los grados de libertad y obtener, entonces, una solución única, aunque después de adoptarlos no siempre lo que restaba por hacer fuese sencillo.

Esto continuó siendo así aún cuando con la aparición de las calculadoras electrónicas, con las operaciones básicas primero y las llamadas “científicas”, después.

No podía ser de otro modo ya que lo único que sucedía era el cambio de la regla de cálculo por un instrumento más preciso y con mayores posibilidades, sin modificar quien estaba a cargo de las operaciones que exigía la aplicación el algoritmo.

En el plano de la actividad profesional, esta situación no se modificó, sustancialmente, por la aparición de las calculadoras programables o la disponibilidad, en ámbitos universitarios, de procesadores centrales o mainframes.

En ambos casos se requería realizar un trabajo de programación, lo que no constituía una capacidad extendida en los profesionales de la ingeniería.

Sin embargo, el acceso en los claustros a recursos potentes de cálculo automático iba a producir, más temprano que tarde, un cambio en los paradigmas.

En 1968 Motard y Henley de la Universidad de Houston presentaron CHESS (CHemical Engineering Simulation System), el primer simulador de procesos de Ingeniería Química. Con el correr del tiempo este prototipo permitiría en 1988 el nacimiento de la empresa Chemstation, encargada de transformar CHESS en ChemCAD, el primer simulador de procesos comercial con el que pude trabajar.

Entre 1976 y 1981 se gestaría el nacimiento de otro prototipo, ASPEN (Advanced System for Process ENgineering), fruto del trabajo de un grupo de investigadores del MIT liderados por el Dr. Evans, prototipo que, a su vez, daría lugar, en 1982, a la

aparición de la compañía ASPENTECH presidida por Evans que comercializó una versión mejorada del simulador bajo el nombre ASPEN Plus.

Una historia similar es la del simulador de procesos con una de cuyas variantes trabajé en mis últimos años como docente universitario, Hysys, producto comercializado en principio por Hyprotech, un spin-off de la Universidad de Calgary, Canadá, donde fuera desarrollado originalmente.

En todos los casos podemos ver un trabajo inicial realizado en ámbitos universitarios que concluye en un emprendimiento comercial, muchas veces a cargo de los mismos investigadores que participaron en los desarrollos.

Por esos años, en el Departamento de Ingeniería Química de la UNLP se creó un grupo de trabajo que comenzó a utilizar las computadoras en el análisis y diseño de equipos de proceso, lo que entonces era visto como una verdadera singularidad para el plano profesional.

Yo me uní a ese grupo desde mi graduación en 1968, casualmente el año de la presentación pública de CHESS.

Teníamos un manejo fluido de FORTRAN, un lenguaje de programación de alto nivel de propósito general, apto para aplicaciones científicas y de ingeniería. Nuestro trabajo se realizaba utilizando un costoso equipamiento – se rumoreaba que una de las computadoras había costado alrededor de US\$ 1000000 de aquellos años.

Teniendo en cuenta la realidad puntual de aquellos tiempos, se entiende lógico que esa iniciativa se mirase como una extravagancia académica. La historia demostró, como muchas veces nos ha pasado, que era una mirada de corto plazo.

Sin embargo, las señales estaban allí aunque no las supiéramos leer. Pero no fuimos los únicos.

En 1976 Jobs y Wozniak habían creado Apple y al año siguiente lanzaron al mercado, con un éxito notable, la computadora Apple II. En setiembre de 1977 Commodore anuncia y comienza la comercialización de la Commodore PET, la primera computadora personal “todo en uno”. Paralelamente, la Tandy Corporation, para competir con la Commodore PET, presenta la TRS-80, cuyo intérprete BASIC estaba desarrollado por Microsoft, una empresa muy nueva en el mercado.

En 1981 Osborne Computer Corporation revolucionó el mercado de las computadoras con la Osborne 1, una protonotebook de alrededor de 11 kilos de peso que incluía un paquete de software con Wordstar, SuperCalc y dBase II. Fue la primera computadora que tuvo nuestro Departamento de Ingeniería Química.

El mismo año de la Osborne I IBM introduce la IBM PC, en cuya fabricación la mayoría de componentes se compraba a proveedores externos, en lugar de producirlos en la propia empresa. La arquitectura era abierta, de modo que terceros fabricantes podían proveer periféricos y software compatible sin que se requiriese la compra de licencias. Asimismo la empresa publicó un manual de referencia con información detallada de la ingeniería y la programación del equipo. La idea era

participar en el negocio de las computadoras hogareñas sin poner en riesgo el papel que IBM tenía en el mercado, en una rama del negocio que se consideraba, sin dudas, de menor importancia.

Para este nuevo producto no desarrolló un sistema operativo propio, sino que lo tercerizó. En un primer intento trató de comprometer a Digital Research, que era la creadora del más exitoso sistema operativo de ese tiempo. La empresa no lo consideró conveniente y el trabajo terminó recayendo en otra, no tan conocida, que había provisto un intérprete BASIC para Altair 8800, una computadora que los usuarios podían armar a partir de un kit, así como otros desarrollos similares: Microsoft Co. IBM le permitió que se reservase la propiedad del sistema operativo, con lo que pudo vender la licencia a otros fabricantes. Estos, usando las mismas partes que IBM, así como la información que se había publicado, pudieron colocar en el mercado versiones propias de la PC.

No creo que haga falta repasar la historia que siguió, que todos conocemos, aunque sí quisiera enfatizar un aspecto trascendental de todo ese proceso: la amplia disponibilidad de hardware posibilitó el crecimiento exponencial del software: prácticamente, no quedó actividad humana sin un programa que ayudase a realizarla más rápido y en forma más eficiente. Por supuesto, esto también ocurrió en el campo profesional de la Ingeniería.

En este sentido es interesante considerar una cuestión que se vincula con la formación de los Ingenieros químicos frente a explosión de la informática en el último tramo del siglo pasado.

La sigla CACHE, por Computer Aids for Chemical Engineering, corresponde a una organización que promueve la cooperación entre las universidades, la industria y el gobierno en Estados Unidos en el desarrollo y distribución de ayudas educativas para la formación de los ingenieros químicos, basadas en el uso de computadoras y otros medios tecnológicos.

Periódicamente realiza encuestas en medios académicos e industriales para relevar la opinión de esos sectores respecto de aquello que se estima necesario que contenga el corpus de conocimientos a transmitir o aquello que, por el contrario, no resulta relevante.

En 1985 las escuelas de Ingeniería Química consultadas planteaban, entre otras cuestiones, la necesidad de que los graduados estuviesen familiarizados con, al menos, un sistema operativo y un lenguaje de programación apto para cálculos científicos, además de principios de análisis numérico como convergencia, estabilidad y otros.

Contemporáneamente, el sector de industrias de proceso recomendaba, para el proceso de formación de los ingenieros químicos, hacer un uso intensivo de la computadora y del software más nuevo disponible, aplicando estos recursos al diseño de equipos. Consideraban conveniente el cálculo manual sólo en aquellos casos donde esa práctica tuviese un valor conceptual concreto.

También insistía en la importancia de desarrollar en los estudiantes la capacidad de analizar los procesos como sistemas interactuantes más que como un conjunto de elementos aislados.

En un estudio sobre el uso de la computadora por parte de los ingenieros de proceso de la industria realizado 1993 también por CACHE, se detectaba que la mayor parte de los ellos ocupaban entre el 20 y 40 % de su tiempo laboral frente a una computadora y un tercio lo hacía entre un 40 y un 60%. Los usos fundamentales eran la comunicación (89%), presentaciones (80%) y la planilla de cálculo (74%).

El sector académico, en cambio, estimaba que el 70 % de los profesionales que trabajaban en la industria utilizaban la computadora, como máximo, un 20% de su tiempo laboral.

Pero esta no era la única divergencia. Una mayoría abrumadora de los encuestados declararon que en su tarea cotidiana rara vez -o nunca- habían utilizado algún lenguaje de computación o una rutina de un paquete matemático. Más aún, muchas de las compañías que los empleaban aconsejaban a sus ingenieros no realizar desarrollos de software por la insuficiencia en la documentación y la dificultad del mantenimiento posterior de ese tipo de programas.

Estos resultados nos permiten hacer varias consideraciones, ayudados por la distancia temporal que nos separa de los momentos en que se realizaron las compulsas.

La primera de ellas tuvo lugar cuando estaba despuntando la expansión de las computadoras personales, produciendo un incremento en la disponibilidad del hardware que no había tenido, aún, su correlato en la del software.

Resultaba lógico que se capacitase a los futuros ingenieros en el manejo y la programación de computadoras que, prácticamente, salían al mercado equipadas con el sistema operativo y algún lenguaje de propósito general.

El sector industrial, en tanto, visualizaba los nuevos recursos como un modo de mejorar el diseño de los equipos, reemplazando el impreciso cálculo manual. Éste debería reservarse para afianzar el proceso de aprehensión conceptual de los conocimientos.

El sector también percibía la posibilidad de modificar el alcance del análisis, pasando de la consideración de los elementos en forma aislada a una visión sistémica, con estas unidades interactuando entre sí.

Pero también debemos notar que si bien desde el punto de vista educativo ejercitar a los estudiantes en las tareas de programación era –y sigue siendo- extremadamente interesante, debido a que incentiva las habilidades de pensamiento abstracto, las características de los desarrollos “artesanales” que se conseguían distaban mucho de poder ser consideradas satisfactorias o peor aún, útiles.

Para principios de los 90 los ingenieros se habían transformado en usuarios de utilitarios comerciales: procesadores de textos, planillas de cálculo, programas de

diseño, etc. Los programas estaban dando respuesta a las necesidades de distintos sectores, todos ellos provistos de computadoras personales.

Este software era el producto de una tarea profesional donde se cuidaba integralmente la calidad de las prestaciones: no sólo se elegía el algoritmo más eficiente sino que su programación también lo era: la robustez de la operación incluía tanto al cálculo como el comportamiento frente a condiciones de error, todo ello acompañado de una documentación adecuada.

Parte de mi trabajo docente consistió en el desarrollo de programas para utilizar como apoyo en la enseñanza de distintos temas de Ingeniería de Procesos. Doy fe de que, más allá de la eventual originalidad que pudieran contener, el mayor volumen de trabajo y, por cierto, el menos creativo era preparar la validación de los datos que ingresaban los usuarios así como la documentación necesaria para que pudieran utilizarse.

Y aquí estamos: en pleno siglo XXI donde los Ingenieros Químicos cuentan, para su trabajo profesional, con hardware y software que les permite la realización de la mayor parte de su trabajo de diseño de sistemas complejos con una precisión y velocidad impensadas poco tiempo atrás.

En el mundo profesional nuestros estudiantes de Ingeniería Química se han de desempeñar rodeados de computadoras disponiendo, además de procesadores de texto o planillas de cálculo, de un conjunto de programas utilitarios capaces de abordar el diseño de casi la totalidad de los equipos clásicos de las industrias de proceso.

Es en este marco donde debemos reflexionar sobre **qué** es lo que se debe enseñar en la formación de esos ingenieros, **cómo** debe hacerse y **para que** se lo enseña.

Queda claro que resulta anacrónico continuar con la construcción de un *ingeniero receptáculo*, aquel que era el depositario del esquema de cálculo y de los datos para su ejecución: cualquier software al que tienen acceso los ingenieros químicos en el siglo XXI contiene una amplia base de datos específica para el problema que se aborda así como de sofisticados algoritmos de gran precisión. La velocidad con la que se lleva a cabo el cómputo permite el planteo de distintos escenarios alternativos, lográndose, de este modo, una visión ampliada de la posible solución.

Pero no sólo se logra un panorama más amplio sino que, gracias a que se dispone de potentes herramientas y se puede manejar una enorme cantidad de información, las soluciones que se está en condiciones de proponer son de una calidad muy superior a las que se hubiese llegado por los caminos que nos mostraron hace ya bastante tiempo.

Hoy, el ingeniero químico ya no necesita realizar personalmente el cálculo –es más, no conviene que lo haga- sino que lo debe conducir; esto es, estructurarlo primero y administrarlo después.

Permítanme que utilice un término que –creo- caracteriza con justeza esta situación: aquel viejo modelo receptáculo en el que fuimos formados ha mutado al de un **ingeniero cibernético**.

El vocablo *cibernética* proviene del griego Κυβερνήτης (kybernētēs) voz con la que se designaba al piloto o timonel de una nave, el hombre que sabía leer el rumbo más seguro en las estrellas del cielo y un profundo conocimiento de los vientos y las corrientes del mar.

Claro está que ahora en lugar de vela, timón y remo nos sentamos frente a nuestra computadora que guarda un poderoso software de cálculo y extensas bases de datos.

Este nuevo paradigma debe tener su correspondencia con el proceso formativo, el que, el cómo y el para qué se enseña. Pero antes de comentar algunas de las experiencias personales en la formación de los ingenieros químicos en la Universidad Nacional de La Plata quisiera puntualizar algo que entiendo crucial en ese proceso.

Si alguna vez nos llegásemos a la plaza de Azoguejo en la ciudad de Segovia seguramente nos deslumbraría la estructura monumental del acueducto romano que cruza la depresión donde se ubica el paseo.

Está allí desde el siglo I dC o principio del siguiente. Al acercarnos a las arquerías podríamos advertir que las piedras están unidas sin argamasa alguna. Por allí se condujo el agua de las sierras cercanas al alcázar de la ciudad desde su erección hasta principios del siglo XX, cuando el envejecimiento del granito y los daños medioambientales aconsejaron desafectarlo del servicio y reservarlo como Patrimonio cultural de la Humanidad.

Junto a otra plaza, la della Rotonda, en Roma, se alza majestuoso el Panteón de Agripa, reconstruido por el emperador Adriano a principios del siglo II dC, tras la destrucción por un incendio del edificio original ordenado por el yerno de Augusto. En su momento estaba dedicado a todos los dioses del imperio romano pero hoy está consagrado al culto cristiano, la iglesia de Santa María de los Mártires. La bóveda es la más grande de hormigón de la historia y su diámetro fue superado recién a mediados del siglo XV por el de la catedral de Florencia, Santa María del Fiore.

Podríamos seguir enumerando otros ejemplos de grandes obras de ingeniería del pasado, todas ellas realizadas sin el auxilio del “conocimiento científico”, tal como lo entendemos hoy en día.

Por ejemplo, recién en 1678 Robert Hooke enuncia su ley sobre las deformaciones elásticas.

En 1747 se crea la Escuela Nacional de Puentes y Calzadas de París, lo que podríamos considerar como el inicio de los estudios sistemáticos de Ingeniería Civil.

Sería admisible preguntarnos sobre la necesidad de aplicar ciencia en el diseño de estos emprendimientos, habida cuenta de que muchos de ellos llevan más 15 siglos prestando servicios en forma eficiente.

Pero en la pequeña consideración anterior no hemos tenido en cuenta los recursos materiales, el esfuerzo humano y el tiempo demandado por esas obras. Cualquiera de estos recursos es un bien escaso y, por lógica, su uso debe ser optimizado.

En todo diseño, el factor de sobredimensionamiento es la manifestación de nuestra ignorancia y ese factor será tanto mayor cuanto menos sepamos sobre la naturaleza de lo que estamos haciendo.

Nuestra falta de conocimiento nos obliga a un gasto suplementario de los bienes puestos en juego, gasto que debemos tratar de reducir tanto como sea posible.

El trabajo ingenieril lleva ínsito el concepto del uso económico de todo lo utilizado. Esta cuestión es tan central que no puede sino ser enfatizada explícitamente en el proceso de formación de los futuros profesionales.

La cuestión económica –entendiendo por tal la administración de todo tipo de recursos, tangibles o no- es una de las herramientas que permiten el abordaje de las situaciones abiertas, donde necesariamente habrá que considerar distintas alternativas de solución.

Debemos puntualizar que estas posibles variantes no se refieren solamente a las características de un equipo -separación por destilación en torre de platos o rellena,...- sino también al proceso en sí -separación por destilación, por absorción, a través de membranas,...- o al orden en la secuencia de las operaciones, antes o después de. Estos últimos aspectos tienen directa incidencia sobre el comportamiento del sistema del que forma parte la etapa que se está analizando, lo cual obliga a considerar el conjunto como una totalidad, teniendo en cuenta permanentemente las relaciones entre las partes.

Digámoslo una vez más: el viejo paradigma del ingeniero receptáculo no puede abordar el problema del diseño con esta amplitud. Necesariamente se debe acudir al auxilio de las computadoras y del software profesional que se dispone para trabajar con ellas.

La formación de lo que hemos dado en llamar el ingeniero cibernético requiere que se vayan incorporando esas herramientas de modo de completar el núcleo básico con el que trabajar luego a nivel profesional.

Oportunamente en la cátedra de Diseño Óptimo adoptamos la planilla de cálculo para conformar el ámbito de trabajo específico en la asignatura y el simulador de procesos como la herramienta más poderosa de análisis, presuponiendo que nuestros alumnos ya tenían un manejo adecuado de procesadores de texto y software de presentación.

Debemos aclarar que aunque tanto la planilla como el simulador tienen posibilidades de realizar desarrollos propios para satisfacer requerimientos específicos, cuando se

propuso algún trabajo en ese sentido fue con un alcance extremadamente modesto.

Aquí debemos volver sobre una cuestión esbozada con anterioridad. La opinión recogida en los trabajos de la CACHE era que los ingenieros de proceso no debían realizar programas de computadora *como parte de su trabajo profesional*, por razones muy válidas y absolutamente entendibles.

Sin embargo, nadie puede poner en duda el valor formativo que tiene esta actividad al obligar a quien la realiza a una sistematización de los posibles escenarios y la subsiguiente planificación de acciones de respuesta, todo ello mediante un esfuerzo de abstracción. Y si hay algo que es básico a reforzar en la formación de un ingeniero es la capacidad de previsión, de considerar conceptualmente, las posibles acciones y los subsecuentes efectos.

El ejercicio de la programación va en el mismo sentido que las asignaturas de Ciencias Básicas que se integran en el primer ciclo de cualquier carrera de Ingeniería. Allí, además de suministrar un conjunto de herramientas fundamentales para el ejercicio profesional, se “prepara la mente” para un modo de enfrentar los problemas.

El futuro médico estudia Anatomía porque su aprendizaje es, básicamente, un ejercicio de memoria y será la memoria lo que usará para reconocer los síntomas de una enfermedad y administrar correctamente la medicación que la alivia.

En el caso del ingeniero sucede algo diferente. La solución de los problemas que deba resolver le exigirá un esfuerzo de abstracción al combinar saberes científicos y prácticos para lograr el objetivo buscado.

El proceso es una aplicación razonada de conocimiento y experiencia, sumada a una cierta cuota de ingenio en aquellos casos en los que se produce una innovación tecnológica. Esta forma de trabajo, que podríamos denominar “el método ingenieril”, empieza a gestarse en los primeros años de la carrera, en el ciclo de Ciencias Básicas, donde la disciplina de las matemáticas no sólo suministra herramientas de cálculo sino que –y quizás lo más importante- moldea la actitud profesional frente a los problemas.

El esfuerzo de programación contribuye a reforzar este universo actitudinal y no se debería prescindir de él, siempre teniendo en claro cuál es el objetivo que se persigue, que no es, por cierto, un futuro ingeniero capaz de estructurar sus propios programas para realizar los complejos cálculos que requiere un diseño.

Una vez más, en el proceso de formación nunca debemos perder de vista para que enseñamos lo que enseñamos.

Quisiera, por fin, exponer algunas de las estrategias que hemos desarrollado en nuestra tarea docente para colaborar en la formación en el campo de la Ingeniería Química de este *ingeniero cibernético* del que hemos hablado. Es preciso aclarar

que estas estrategias se han formulado sobre la base de problemas donde se requiere definir un cierto número de variables, de distinto tipo, para que se pueda determinar una posible solución; es decir, se trata de problemas en cuya formulación existen grados de libertad.

Empecemos por analizar el trabajo con las planillas de cálculo. Debemos reconocer que ellas son una de las utilidades de uso más frecuente en el ejercicio de la Ingeniería, por lo que su manejo durante el grado no es otra cosa que una capacitación más para la futura tarea profesional. Las planillas que se disponen en la actualidad tiene un potencial notable, no sólo por la existencia de las funciones típicas de una calculadora científica sino también por facilidades de mayor complejidad que permiten efectuar, por ejemplo, estudios de regresión, simulación de procesos aleatorios o resolver problemas de optimización. Esto sin contar con las capacidades de agregar nuevas funciones y rutinas mediante el lenguaje de programación con el que cuentan.

En nuestras propuestas docentes, si bien en algunos casos se planteaba algún desarrollo para la resolución de un determinado problema, el mismo era relativamente simple, siendo el esfuerzo de programación más importante la estructuración del cálculo en la planilla: la definición de los datos, la especificación de las variables y sus relaciones, las restricciones, los objetivos...

Era habitual que a los alumnos se les proveyera de complementos para agregar a la planilla donde trabajaban. Estos agregados permitían abordar problemas de cierta complejidad como la estructuración de redes de intercambiadores de calor o la integración de ciertos equipos o conjunto de ellos de acuerdo a las disponibilidades energéticas de la planta de proceso de la que forman parte.

En el primer caso se trata de establecer cuáles son las corrientes que intercambian calor en cada equipo, hasta donde lo hacen y como son las interrelaciones entre los distintos intercambiadores. El resultado es un diagrama de proceso, un flowsheet, que pretende lograr un objetivo, el menor costo total anual estimado.

Aquí se planteaba un trabajo en dos etapas. La definición de la estructura se realizaba haciendo uso de ciertas consideraciones económicas de índole general y adoptando, además, algunos valores típicos, siguiendo una estrategia similar a lo hacíamos nosotros en nuestros primeros trabajos de diseño.

Pero existe una diferencia sustancial. La solución a la que se llega de este modo es una primera etapa; habrá, luego, una segunda donde se remueven esos valores y se plantea la búsqueda del óptimo por medios más rigurosos.

La modernidad, decía Umberto Eco, primero destruye al pasado, para volcarse, luego, a la abstracción, a lo conceptual y, si siguiese en ese proceso, finalmente se toparía con la nada. La respuesta posmoderna es admitir que, habida cuenta de la imposibilidad de destruir el pasado, lo que se puede hacer es volver a él, pero sin ingenuidad.

En este sentido, podríamos decir que la utilización en el diseño de valores aconsejados es una actitud posmoderna: sabemos que no constituyen la solución pero es un buen punto de partida para salir a buscarla.

Otros trabajos con complementos para planilla de cálculo desarrollados en la cátedra permitían analizar las posibilidades de integrar térmicamente distintos equipos a una planta de proceso. Aquí la idea era poder analizar la influencia de las condiciones operativas o la estructura de las unidades para el aprovechamiento integral de los excedentes de energía globalmente disponibles. En todos los casos, el ahorro conseguido se comparaba con el incremento de inversión que se generaba.

En un plano más complejo, para poder considerar las relaciones que se establecen entre los distintos equipos que se integran en una unidad productiva es preciso acudir al auxilio de los simuladores de proceso. No existe en la actualidad otro modo de analizar la cuestión dentro de parámetros razonables de esfuerzo y tiempo.

Nuestra tarea con los simuladores de proceso siempre tuvo una fuerte impronta en lo educativo. Los utilizamos en cursos de grado y posgrado, en forma presencial y a distancia.

Comenzamos a trabajar con desarrollos propios, en base a funciones de usuario elaboradas para ser usadas con la planilla Excel.

Obviamente, las posibilidades de lo que se podía hacer con ellas eran muy limitadas. Sin embargo, se podían tratar, sobre casos simples, cuestiones básicas como la propagación de información a través de las distintas etapas de proceso y la realimentación que introducen los reciclos de materia.

La biblioteca de equipos que habíamos establecido (columna de destilación o absorción, intercambiador de calor,...) incluía algoritmos de dimensionado rápido y las expresiones necesarias para estimar la inversión que demandaría cada equipo, de acuerdo a un particular parámetro de tamaño.

En el trabajo con estos desarrollos la búsqueda de las condiciones operativas óptimas se simplificaba al poder usar el complemento que tiene Excel para realizar este tipo de estudios, lo que demuestra, una vez más, la potencialidad del utilitario.

Después de estas funciones para planilla de cálculo comenzamos a trabajar sobre un simulador de código abierto, Sim42, en lenguaje Python, cuyos autores pertenecían a un grupo de investigación de la Universidad de Calgary, en Canadá. Este programa permitía trabajar en forma remota, lo que resultó de suma utilidad en cursos a distancia, cuando los alumnos carecían de acceso a un simulador.

Por supuesto que esta nueva utilidad superaba –y por mucho- nuestros modestos desarrollos en planilla de cálculo; pero el problema es que carecía de funciones de estimación de costos de inversión de los equipos, del dimensionado de algunos de ellos y, por supuesto, de una rutina de optimización.

Esto nos dificultaba aplicarlo a la formación del nuevo paradigma, nuestro ingeniero cibernético, toda vez que al no poder estimar costos –el criterio más simple de

evaluar- el análisis de alternativas carecía de un parámetro objetivo para realizar la selección.

Nos pusimos a trabajar y agregamos el código necesario para incorporar las funciones de estimación y una rutina de optimización para problemas restringidos, como son todos los problemas de Ingeniería.

Adicionalmente, agregamos otra rutina que les permitía a los alumnos evaluar, de una manera muy rudimentaria, la influencia de las distintas variables independientes sobre el valor de la función objetivo planteada. De este modo era posible reducir la dimensionalidad del problema manejando sólo aquellas variables para las que se manifestaba una mayor sensibilidad.

Los restantes grados de libertad se consumían, como siempre, con la posmodernidad de los valores aconsejados.

El trabajo docente de la última época fue sobre un simulador de proceso comercial. Aquí no teníamos problema con el dimensionado de los equipos ni con las rutinas de optimización. Sin embargo el programa adolece de funciones de estimación de costo pero estas se pueden estructurar en la planilla de cálculo que posee el simulador o, en un paso más avanzado y de un modo más general, mediante el agregado, a cada uno de los módulos, de las funciones respectivas. En los cursos de grado y posgrado que dictamos se usó la primera de las alternativas por ser la más sencilla de instrumentar.

Con este simulador, gracias a una interfaz muy amigable, resultaba sencillo resolver problemas donde, antes de hacerlo, se debía agregar al diagrama de proceso los equipos necesarios para cumplimentar las condiciones establecidas en determinados puntos, así como también analizar los efectos de integrar o no determinadas operaciones. A esto es lo que nos referíamos al hablar de análisis de variantes en la formación del ingeniero cibernético.

Esto es, palabra más, concepto menos, de lo que quería conversar. Todo esta charla no es sino una historia más o menos larga de una serie de intentos por concretar una idea, a veces con cierto éxito, otras con la necesidad de volver a intentar.

No he sido original, por cierto. Esta forma de trabajo –prueba y error- se podría rotular con el pomposo nombre de estrategia evolutiva, que no es otra cosa que el modo como se ha generado cualquier conocimiento humano, desde el descubrimiento del fuego hasta esta actualidad atravesada por Internet.

En el Eclesiastés, se supone que Salomón acuñó una frase que ha hecho carrera en la historia: "nada nuevo hay bajo el sol". Pero a mí me encanta la vuelta de tuerca que le dio Ambrose Bierce: "No hay nada nuevo bajo el sol, pero cuantas cosas viejas hay que no conocemos".

Lo de Salomón me parece una resignación desesperanzada; en cambio, las palabras de Bierce no son otra cosa que una invitación a seguir buscando. Y estoy convencido de que ese es un esfuerzo que vale la pena.