

LA INGENIERIA DE SISTEMAS

*Alejandro Prenafeta Grlsar
Capitán de Navío*

¿Qué es la Ingeniería de Sistemas?

A diferencia del diseño de las partes, es el diseño del todo.

El Ingeniero de Sistemas armoniza, optimiza e integra subsistemas y componentes tales como máquinas, equipos, redes de comunicaciones, seres humanos y espacio, en canales de flujo interdependientes de información, masa y energía, para el logro de determinados objetivos en forma costo-efectiva.

Desde siempre, los fabricantes de una chalupa, pescante o aparejo deben al final dar debida consideración al todo, lo que en cierto sentido implicaría que todos son parcialmente Ingenieros de Sistemas. Pero cuando ese todo tiene demasiadas componentes con numerosas interacciones funcionales entre ellas se hace ineludible la Ingeniería de Sistemas real, como una disciplina intelectual.

En sistemas complejos, comúnmente domina una enorme cantidad de interacciones. Pero también resulta sorprendentemente significativo el efecto de una numerosa serie de pequeños factores en el rendimiento general. Es así que frecuentemente ocurre que un sistema integrado con componentes de alta confiabilidad redonda finalmente en un conjunto funcional altamente inconfiable. Similarmente, en sistemas conformados con equipos extremadamente precisos se obtienen como resultados inexactitudes inaceptables. Fenómeno análogo sucede con la estabilidad. Estas y otras peculiaridades similares de los sistemas hacen de la Ingeniería de Sistemas un verdadero desafío tecnológico de la actualidad.

¿Qué hacen los Ingenieros de Sistemas?

Conciben la arquitectura del sistema integrando las partes en forma tal de satisfacer los requerimientos funcionales en la forma más satisfactoria posible.

En este proceso incorporan variadas tecnologías necesarias para asegurar una congruencia con los objetivos del diseño final. Sus funciones se inician con un esfuerzo por comprender cabalmente el problema a solucionar, los medios y herramientas disponibles para resolverlo y todas las capacidades y limitaciones en la interacción de los diferentes parámetros asociados. Deben llegar a dominar los subsistemas y sus funciones implícitas, a un nivel de detalle suficiente para establecer y modelar sus características individuales.

En el desarrollo de un sistema, el Ingeniero ejecuta una secuencia de etapas bastante definidas. Estas se inician por conocer cabalmente lo que el usuario o comprador piensa que es deseable obtener. Frecuentemente ocurre que estas aspiraciones son difíciles y a veces imposibles de satisfacer en un marco de costo y tiempo razonables. Consecuentemente, el primer trabajo de un Ingeniero de Sistemas será el de modificar estos requerimientos a una solución de compromiso que posibilite un desarrollo práctico.

En el logro de lo anterior, frecuentemente se verá enfrentado al dilema de diseñar un sistema destinado a satisfacer determinado objetivo mientras simultáneamente se evalúa si este objetivo es realmente apropiado para el sistema. En muchas ocasiones resulta

simplemente imposible el establecimiento de objetivos finales para el sistema, sin antes tener claros antecedentes de la existencia de sistemas que puedan satisfacerlos.

En síntesis, la primera tarea que desarrolla el Ingeniero de Sistemas es una evaluación de la factibilidad de satisfacer los objetivos finales, desarrollada normalmente a través de una serie de pruebas empíricas repetitivas del tipo ensayo-evaluación.

Posteriormente, continúa con el diseño teórico propiamente tal y con la simulación en el computador de las diferentes opciones de configuración del sistema. Dependiendo del grado de complejidad y/o magnitud del sistema en diseño, el empleo del computador es de una importancia fundamental.

Idealmente se debieran concebir varias alternativas útiles y desarrollar las correspondientes investigaciones de mercado asociadas, a fin de ir gradualmente estableciendo la mejor solución al problema. En el desarrollo de estos estudios de optimización, la simulación en el computador es cada día más importante como metodología de trabajo

Cuando ya comienza a emerger la configuración óptima para el sistema se establecen las especificaciones a cumplir por los subsistemas y partes componentes, para el logro del rendimiento funcional deseado en el conjunto. Estas son expresadas en términos numéricos tales como peso, alimentaciones de poder, realimentaciones, tolerancias, probabilidad de error y tal vez, la más importante: costo.

Establecidas las especificaciones iniciales anteriores, éstas se constituyen en la base de referencia principal para la acción del Ingeniero de Sistemas a lo largo de su acción monitora del diseño, adquisiciones, desarrollo, fabricación, armado, pruebas y evaluación del sistema.

Es común que durante la fase de diseño del hardware se haga necesario un continuo ajuste de las especificaciones originales de los subsistemas y partes, debido a que algunas de éstas resultan bastante más difíciles o más fáciles de lograr que lo previsto. Lo anterior culmina con la evaluación de los resultados obtenidos en las pruebas y la verificación del rendimiento funcional integral del sistema.

Una fuente importante de complejidad adicional en el desarrollo práctico de sistemas la constituye la frecuente necesidad de ejecutar determinadas fases en forma concurrente, cuando idealmente debieran ser programadas en secuencia. Teóricamente, no se debiera iniciar ninguna actividad antes de completar la fase inmediatamente anterior, y con todos sus antecedentes disponibles.

Lamentablemente, la experiencia indica que por razones económicas es práctica común ordenar componentes y desarrollar prototipos antes de finalizar los estudios de diseño. También se inicia la producción antes de contar con los resultados y evaluación de las pruebas en los prototipos.

En circunstancias tales, la toma de decisiones correctas es uno de los principales desafíos prácticos en el desempeño del Ingeniero de Sistemas, ya que implican aceptar un riesgo que debe ser calculado.

Finalmente, el desgaste, malos usos y costumbres humanas en la operación y mantenimiento de algunos sistemas en servicio ocasionan una degradación tal en su rendimiento operativo general que hacen aconsejable, si no indispensable, una aproximación sistemática al problema a fin de diagnosticar estas deficiencias, para así restaurar y mantener su *performance* de diseño original.

Cuáles son las herramientas que emplea la Ingeniería de Sistemas?

Las principales herramientas son el cerebro humano, el computador electrónico y numerosas técnicas de análisis matemático

En los albores de la Ingeniería de Sistemas propiamente tal, el análisis matemático resultaba extremadamente tedioso y consumidor de tiempo, debido al desarrollo de operaciones manuales o con regla de cálculo. Actualmente, este análisis es ejecutado con computadores programados o personales de sencilla operación y respuesta extraordinariamente rápida.

La aproximación sistemática como actitud mental ha evolucionado a una poderosa disciplina intelectual en el mundo de hoy, principalmente como consecuencia del vertiginoso desarrollo de las herramientas que usa la Ingeniería de Sistemas en los últimos años.

Afortunadamente, este desarrollo ha sido consecuente con la acelerada demanda de este tipo de metodología en el manejo de muy complejos y onerosos programas de desarrollo en las Fuerzas Armadas.

Es así como el computador electrónico constituye hoy la herramienta más importante del ingeniero de Sistemas.

¿Cuál es el origen de la Ingeniería de Sistemas?

La Ingeniería de sistemas data de la construcción de las pirámides de Egipto (o tal vez antes). Todo esfuerzo en desarrollos importantes exige de algunos elementos de aproximación sistemática. Varios avances tecnológicos del siglo pasado y albores del presente constituyeron sistemas importantes. El ferrocarril, la generación y distribución de electricidad y la red telefónica son ejemplos típicos.

El advenimiento del radar y el empleo de la bomba atómica durante la Segunda Guerra Mundial requirieron de la Ingeniería de Sistemas, sin lugar a dudas. Asimismo el recurrir durante ese conflicto a ciertas técnicas de análisis, agrupadas bajo el título de Investigación Operacional destinadas a optimizar el rendimiento de un sistema por ajuste de sus parámetros componentes, proporcionaron útiles herramientas intelectuales al ingeniero de Sistemas, cuyo empleo se extiende persistentemente en la actualidad.

Sin embargo y pese a su pretérita aplicación espontánea, la Ingeniería de Sistemas no fue vastamente reconocida como importante rama de la ingeniería hasta el pasado reciente. Es así como los avances tecnológicos de la posguerra, particularmente el desarrollo de los sistemas de misiles superficie-superficie, superficie-aire y aire-aire intercontinentales y la posterior carrera espacial, con la extensa interacción de tecnologías implícitas, tanto del radar como de las comunicaciones, servocontrol, aerodinámica, estructurales, de propulsión, etc., obligaron a otorgar el rol de "esencial" a la Ingeniería de Sistemas moderna, como se entiende conceptualmente en la actualidad.

¿Hacia dónde va la Ingeniería de Sistemas?

Principalmente, existen dos tendencias. Primeramente, las capacidades de las herramientas analíticas de que dispone la Humanidad continuará creciendo. Los poderosos computadores centrales se emplean hoy con rutina progresiva. Los computadores personales reemplazan rápidamente a las calculadoras científicas. Estas últimas, a su vez, ya sustituyeron a las reglas de cálculo y calculadoras electro-mecánicas. La integración de

computadores personales a computadores centrales está en pleno desarrollo. Los progresos en las técnicas de *software* avanzan paralelamente con los desarrollos en *hardware*.

El desarrollo de las técnicas de inteligencia artificial promete una expansión adicional en las capacidades de las herramientas para la Ingeniería de Sistemas. Aunque no progresarán tan aceleradamente como para producir un Ingeniero de Sistemas Artificial en las próximas dos décadas, este campo tiende hoy hacia el establecimiento de una sociedad "hombre-computador", conducente a una especie de Ingeniero de Sistemas híbrido más rápido e inteligente.

La pregunta clave está en cómo separar el esfuerzo entre el "hombre y el computador". Desde antaño, tal vez siempre, el hombre instruido desarrolla mejor aquellas actividades que implican creatividad, juicio e interfase con otros humanos. En cambio, los computadores son superiores en el desarrollo de cálculos, recordar, presentar a requerimiento un cuantioso número de hechos y mantener constantemente actualizado un sinnúmero de relaciones.

Consecuentemente, en la empresa de llevar adelante la Ingeniería de Sistemas con la incorporación de la inteligencia artificial es de importancia capital el cuidadoso establecimiento de los roles y misiones óptimas para cada miembro en este binomio hombre-computador.

La segunda tendencia está en el aumento en complejidad de los sistemas actualmente en desarrollo. Se debiera anticipar un incremento en el espectro de aplicación de las técnicas de Ingeniería de Sistemas a una variedad de problemas nunca antes previstos.

A modo de ejemplo es interesante considerar el problema de ingeniería que implica la mejor solución en el vasto desarrollo de la red de informaciones que será necesario introducir en el país en el futuro próximo. Las naciones desarrolladas del mundo están actualmente combinando las técnicas de comunicaciones con la computación. La implementación de esta red combinada neutralizará todo posterior desarrollo del actual sistema telefónico y dará origen al establecimiento de cientos de millones de terminales que posibilitarán el intercambio de información en tiempo real entre personas, ya sea en el hogar, en el trabajo o en tránsito.

Asimismo, el diseño de un control de armas moderno significa el desarrollo de sistemas de información y control que faciliten las funciones de alarma y observación, evaluación, decisión y acción implícitas.

Desde un punto de vista filosófico, con el advenimiento de la "era de la computación", la Humanidad va adquiriendo conciencia que muchos procesos sociales que no eran abordados con un enfoque sistemático constituyen hoy verdaderos sistemas.

Por ejemplo, para satisfacer el imperativo de la seguridad nacional, el país debe cumplir variados objetivos concurrentes que guardan relación con el poder nacional: desarrollo económico, estabilidad social, alta moral y patriotismo, conciencia de los potenciales enemigos externos e internos y de las amenazas por efectos de la naturaleza; habilidad en la formulación de políticas interiores, exteriores y negociaciones con la comunidad internacional, amplia infraestructura industrial y disponibilidad de recursos consecuentes con la naturaleza de las diferentes hipótesis de guerra, estructura nacional adecuada para la aplicación de las estrategias de seguridad, herramienta militar consecuente con las amenazas, etc.

Una postura defensiva consistente exige integrar y equilibrar estos variados aspectos, lo que constituye una tarea sistemática, a la vez bastante compleja y muy necesaria.

Una sola componente, el desarrollo y mantenimiento de un poder militar adecuado, no solamente debe estar íntimamente relacionado con los restantes aspectos de la seguridad nacional, sino que demanda variados subrequerimientos específicos, que a su vez exigen un cuidadoso análisis no ausente de compromisos hasta abordar a la mejor solución.

El solo desarrollo de las capacidades bélicas implica sistemas de armas basados actualmente en una compleja tecnología. Para asegurar decisiones cuantitativa y cualitativamente acertadas en este aspecto, Chile necesita hoy la competencia de habilidades científicas y tecnológicas calificadas.

Asimismo, se deben adoptar las provisiones adecuadas para que a futuro se cuente con los recursos humanos capaces de enfrentar el acelerado desafío tecnológico que implican los modernos sistemas de armas.

Es así como el concepto de la seguridad nacional, desde las políticas hasta su ejecución, es un sistema integrado por un conjunto de subsistemas multidisciplinarios que concurren a la solución de un problema social global.

Los conceptos fundamentales de la Ingeniería de Sistemas, antes mencionados, mediante el progreso en el desarrollo de las capacidades del computador como su herramienta básica, incrementarán cada día más su apoyo para el manejo eficiente de problemas como los anteriores, y muchos otros adicionales.

CONCLUSIONES

- Comúnmente se tiende a asociar erróneamente a la Ingeniería con Sistemas de informática. La intención de este artículo ha sido evitar tal confusión.

- A diferencia del diseño de los componentes, la ingeniería de Sistemas se preocupa del "diseño del conjunto". En tal sentido, desarrolla la arquitectura de los sistemas, define sus criterios de evaluación y ejecuta los estudios de costo-efectividad necesarios a fin de optimizar las características de los subsistemas componentes en pro de la eficiencia del conjunto.

- Los Ingenieros de Sistemas emplean hoy al computador como importante complemento a su propia inteligencia.

- La Ingeniería de Sistemas tiene su origen en una vasta serie de desarrollo de proyectos mayores, particularmente, en el programa de diseño de los misiles y la carrera espacial. No obstante, su aplicación en la solución de los problemas de la Defensa ofrece un fértil campo para el desarrollo e incremento de las capacidades operativas de la nación.

- La mayor perspectiva de crecimiento futuro de la Ingeniería de Sistemas está en la mejora de las capacidades de sus herramientas y por ende, en la ampliación de su campo de aplicación.

- En los umbrales de la "era de la computación", Chile debe dar una adecuada consideración al desarrollo y mantención de una base de Ingeniería de Sistemas, para el manejo y solución costo-eficiencia de sus problemas.

BIBLIOGRAFIA

- BOOTON y S. RAMO "System Engineering", revista *Aerospace and Electronic Systems*, Julio 1984.
- L. VON BERTALANFFY *General Systems Theory*, Editorial G.Braziller, New York, 1968,
- *What's wrong with our Technological Society - and how to fix it*, Editorial McGraw-Hill, New York, 1983.