

<u>I Introducción.....</u>	<u>1</u>
<u>II Desarrollo.....</u>	<u>3</u>
<u>1 El ingeniero.....</u>	<u>3</u>
<u>2 El criterio.....</u>	<u>4</u>
<u>3 Coherencia.....</u>	<u>5</u>
<u>4 El experimento.....</u>	<u>6</u>
<u>5 Duda.....</u>	<u>7</u>
<u>6 El concepto.....</u>	<u>8</u>
<u>7 El procedimiento.....</u>	<u>9</u>
<u>8 Sistemas complejos.....</u>	<u>11</u>
<u>9 Otras herramientas de la coherencia.....</u>	<u>11</u>
<u>10 El inconsciente.....</u>	<u>13</u>
<u>11 Los hábitos del ingeniero con criterio.....</u>	<u>14</u>
<u>III Resumen.....</u>	<u>15</u>

I Introducción

Todas las profesiones forman estereotipos (modelos de cualidades o conductas), y pocas generan uno tan preciso y característico como la ingeniería. El ingeniero es cuadrado, escéptico, pragmático, realista, poco soñador, no se caracteriza por su fina apreciación artística. El siguiente texto describe muy bien muchas de las características de este estereotipo:

Un Doctor y un Abogado / y además: un Ingeniero
que salieron de este mundo / con pasajes para el cielo
solicitaron entrada / todos tres a un mismo tiempo.
Recibiólos en la puerta / el encargado: San Pedro
que al escuchar la visita / se caló los espejuelos.

Tocó el turno al Abogado / que hizo un discurso muy bueno,
muy florido y convincente, / con argumentos de peso,
y al terminar entregó / un extenso documento
con mil y tantos por cuantos / y un por tanto, que San Pedro
sin más preguntas y encuestas / le abrió las puertas de cielo.

Y después del Abogado / tocóle el turno al Galeno,
que empezó de esta manera: / - "Yo soy el Doctor Veneno..."
No hizo más que comenzar / y le interrumpió San Pedro:
- "Con esto basta...Doctor... / a usted ya le conocemos,
me ha enviado mucha gente / y es muy justo, desde luego,
que su decidida ayuda / reciba su justo premio...."
y si mediar más palabras / entró también en el cielo.

El Ingeniero, que estaba / haciendo el turno tercero,
observando los detalles / de la bóveda del cielo,
fue interrumpido en su estudio / cuando le llamó San Pedro:
- "Y a usted, que se le ofrece..?" / y contestó el Ingeniero:
- "He venido por aquí / a ver si consigo empleo..."
- "Aquí no hay trabajo amigo, / vaya a buscarlo al infierno..."

Le sonó tan familiar / la respuesta al Ingeniero
que en seguida contestó: / - "Donde quiera yo lo acepto"

si he pasado en el mundo / por sitios peores que esos.."

Ante tal contestación / se quedó San Pedro lelo
y le preguntó en seguida: / - "Su profesión... caballero?"
- "Mi profesión?... si señor... / pues yo soy un Ingeniero..."
- "Ah bueno!.. San Pedro dijo, / ahora si ya le comprendo...
usted es de esos peritos...?" / - "No señor, mucho lo siento,
ingeniero simplemente... / no soy perito ni experto.."
- "Entonces, amigo mío.. / en verdad no le comprendo...
y... ¿Qué es lo que hace usted / para llamarse Ingeniero?..."

Y por fortuna en seguida / recordó sin gran esfuerzo
la definición que había aprendido / en otros tiempos:

*Los principios matemáticos aplico a los elementos para
utilizar las fuerzas latentes del Universo.*

"¡Pues vaya a aplicar sus cálculos / a las pailas del infierno!!..."
- "Bien, señor, fue la respuesta, / en verdad se lo agradezco
pues los trabajos difíciles / son siempre los que prefiero..."
Y terminó pues el diálogo / y el hombre se fue contento
y el Santo quedó admirado, / y más que admirado... lelo.

Después de este incidente / no transcurrió mucho tiempo
sin que algo anormal pasara / en el Reino de los Cielos.

Los que estaban en la Gloria / pedían pases a San Pedro
para fijar residencia / en terrenos del Infierno.

Los que venían de la tierra / después de ver ambos reinos
se decidían casi siempre / por el antro de los fuegos,
de donde ya no salían / los gritos de los internos.

Tales rumores llegaron / hasta oídos de San Pedro,
que se sorprendió al notar / que se le despoblaba el cielo.

Ante tal anomalía / comisionó a un mensajero
para investigar el caso / y dar un informe completo.

El informe deseado / llegó como al mes y medio
y éste se transcribe aquí / directamente del pliego:

"Infierno, a veinte de Mayo / del año mil novecientos...
A mi Buen Santo y Señor: / con el debido respeto:
Procedo a rendir a Usted / mi informe sobre el Infierno...
Pues bien, le debo informar / que llegó aquí, no hace tiempo,
un hombre a quien todos llaman / a secas... El Ingeniero.
Este hombre, si no es el Diablo, / esta bien cerca de serlo...
pues ha transformado todo / por arte de encantamiento;
en enormes artefactos / ha acorralado los fuegos,
y usa de ellos la energía / en máquinas e instrumentos
para crear luz y fuerza / y convertir ésta en hielo...
Ha hecho parajes fríos, / templados, húmedos, secos,
parajes de primavera / y otros de constante invierno...
Ha horadado las montañas, / ha contenido los vientos,
ha salvado los abismos / con puentes de extremo a extremo.
Ha construido ciudades / y jardines y paseos...
y es en fin, un Paraíso / lo que antes era el Infierno...

A tal punto que Señor: / ya no vuelvo para el Cielo,
le presento mi renuncia / y en el Infierno me quedo...

(tomado de <http://www.ruelsa.com/cime/boletin/b55.html>)

Muchas de las características del estereotipo al que me refiero se deben a la formación del ingeniero. Esta formación es la del profesionalista que se dedica a dominar y aprovechar la naturaleza utilizando la técnica, por algo el slogan del IPN es "la técnica al servicio de la patria".

En la vida del ingeniero existen algunas certezas: el progreso del que gozamos sólo es posible gracias al desarrollo tecnológico y los ingenieros son los encargados de aplicar la tecnología. Esa certeza guía su vida: su misión en el mundo es la transformación de la naturaleza en beneficio del ser humano. Su vida es la construcción o producción de bienes.

El ingeniero se inicia en la escuela, donde aprende la técnica y los valores de su profesión. Mientras cursa su carrera construye una clara visión de lo que será su vida: trabajo productivo empleando la técnica, jefe de familia con la responsabilidad económica, y una tranquila vejez cuidado por su agradecida descendencia.

Pero esa vida de certeza y sencillez limita algunos aspectos de la práctica profesional del ingeniero.

En este documento me propongo evidenciar por qué la carrera de ingeniero afecta profundamente el carácter de sus profesionistas y los beneficios y limitaciones que ese carácter tiene para el desarrollo de su profesión.

II Desarrollo

1 El ingeniero

La mayoría de los ingenieros comparten ciertas conductas y expectativas, y gracias a esto se ha formado un estereotipo de su personalidad. ¿Cuáles son las características de ella?

Pocas personas viven una exposición ante el poder predictivo de la ciencia como la que tiene el ingeniero. Él experimenta en carne propia la precisión matemática de la física: ve la barra de acero romperse en el momento preciso en que se le aplica la fuerza calculada, observa la cantidad de agua esperada fluir por el sistema de ensayo, ve con admiración la presa que contiene con la fuerza precisa el volumen esperado de agua. Ve también los beneficios de sus obras y son su fuente de confianza: los ingenieros construyeron las presas, las hidroeléctricas, las termoeléctricas, las máquinas. Gracias a los ingenieros es posible alimentar, vestir, alojar y ofrecer servicios adicionales a los más de 6 mil millones de humanos que habitamos el mundo.

La exposición ante el poder predictivo de la ciencia tiene varias consecuencias, pero creo que la más importante para formar su carácter es epistemológica¹ y consiste en la creencia (implícita en casi todos los casos) de que las teorías científicas son una fiel representación de la realidad objetiva. Esta creencia permite al ingeniero actuar sin dudar: la ley de Newton dice que los objetos caen con una aceleración de 9.8 m/s^2 , y cuando le pregunten a qué velocidad tocará el

suelo el objeto que cae desde el segundo piso responderá con un número, no con una idea o un concepto.

Al ingeniero nunca lo enseñan a dudar, ni con los conceptos teóricos que se le enseñan ni con el ejemplo que observa en sus maestros y superiores. Al ingeniero se le exige pragmatismo, soluciones viables. Sus herramientas son las más probadas de las teorías científicas pertenecientes a las ciencias exactas. Ante cualquier intento de duda o reflexión fuera del contexto del problema es reprimido por su maestro: se le enseña a solucionarlo sin salirse del cauce de pensamiento sistemático esperado.

El ingeniero resuelve problemas constructivos o productivos, no se espera de él que haga reflexiones de tipo filosóficas sobre éstos, se espera que diga el número y las especificaciones que permitirán continuar la producción o la obra. Esta expectativa es conocida por los maestros y aunque no forme parte del plan de estudios, las sutilezas de la relación maestro – alumno permiten su transferencia.

Cuando el ingeniero se ve acorralado en una situación de duda actúa como ha visto que lo hicieron sus maestros y sus superiores (otros ingenieros) en momentos semejantes: rechaza la duda por considerar su solución inútil o imposible y vuelve a pensar en números, especificaciones y procesos. Puede decir, por ejemplo “déjate de pendejadas y ponte a trabajar” (cita de un ingeniero amigo mío).

Sin embargo, existen algunas dudas que el ingeniero no considera y hacerlo podría mejorar su criterio.

2 El criterio

La definición de criterio que ofrece el diccionario Encarta es:

Criterio. m. lóg. Carácter o propiedad de una persona o cosa por el que podemos formular un juicio de valor sobre ellas: ~ de la verdad.

2 Juicio o discernimiento.

3 Opinión, ideas que una persona tiene sobre cualquier asunto.

La definición que propongo para este término cuando se aplica a una persona es: la persona con **criterio** ha reconocido algo que otros no ven, ha utilizado un concepto y con él ha hecho un juicio sobre algún problema. Hacer esto requiere saber aplicar el conocimiento.

Por ejemplo, ante la pregunta “¿cómo se cuecen más rápido los frijoles, con fuego bajo o con fuego alto?” muchas personas (incluidos ingenieros) responden “con fuego alto”. Si después se les pregunta a qué temperatura hierve el agua muchos responderán acertadamente que a 100 °C: tienen el conocimiento pero no lo aplican. Lo que sucede con los frijoles es que se cuecen con la misma rapidez porque el agua en ambos casos tiene la misma temperatura, la diferencia es que con fuego bajo la cantidad de líquido que se evapora es menor que en el caso de fuego alto.

Si el problema se presentara en una reunión y uno de los ingenieros presentes diera esa explicación para hacer el juicio que se cuecen con la misma rapidez, el grupo lo vería como una persona con criterio: vio algo que el resto no apreciaba, utilizó conceptos que el resto manejaba pero no supieron aplicar y con ellos emitió un juicio: se cuecen con la misma rapidez.

El criterio por lo tanto no requiere simplemente del conocimiento explícito de los conceptos (todos en el grupo sabían que el agua hierve a 100 °C), requiere saber aplicarlos.

El criterio se forma en personas con ciertos hábitos. La persona que lo tiene lo usa constantemente y es reconocida por ello. ¿Cómo se adquiere el criterio?

3 Coherencia

Antes de proseguir con el criterio creo conveniente analizar el hecho de que podemos tener conceptos que no utilizamos. ¿Cómo es esto posible?

¿Por qué podemos saber a que temperatura hierve el agua y no utilizar ese conocimiento para emitir un juicio sobre la rapidez con la que se cuecen los frijoles?

Esto es posible porque la mayor parte de nuestras actividades las realizamos en forma inconsciente. De hecho lo común es que no utilicemos conceptos para actuar y lo raro es que lo hagamos. Sólo basta con observar a un niño para reconocer que originalmente no usamos conceptos, ellos no los usan en su acción diaria, sólo con el tiempo y experiencia llegamos a hacerlo y sólo parcialmente. En el capítulo 9 trato un poco más el tema del inconsciente.

La mayoría de nosotros aprendió que el agua hierve a los 100 °C en la primaria, pero como casi todo lo que aprendemos ahí, fue una oración que tuvimos que repetir hasta memorizarla, sin visualizar la realidad que llevó a una persona a proponer el concepto de temperatura y una escala para medirla. Pero Celsius (1701-1744) no lo aprendió en la primaria.

Analicemos cómo fue que el astrónomo Anders Celsius propuso la escala centígrada para medir la temperatura. Este científico hizo observaciones importantes sobre la aurora boreal y utilizaba, como otros científicos, termómetros para medir la temperatura. Su trabajo principal no era pues sobre medición de temperatura, esa actividad era para él una necesidad de sus observaciones.

Los termómetros de esa época consistían de tubos de vidrio con alcohol que registraban la temperatura al medir la dilatación del líquido, no tenían escala y por lo tanto no había una referencia estandarizada para las mediciones que se hacían. En un artículo que fue publicado dos años antes de su muerte "Observations on two persistent degrees on a thermometer", Celsius propuso dos puntos fijos y una escala para un termómetro. Propuso que el punto indicado por el termómetro para el agua hirviendo fuera igual a 0, y para el agua congelada fuera igual a 100. Esto es, dividió el espacio entre estos dos puntos en 100 grados. Después de su muerte la escala fue invertida y es la que utilizamos actualmente.

Como lo indica el título de su artículo, Celsius observó que la temperatura a la que hierve el agua y a la que ésta se congela es fija, no varía de un lugar a otro y por lo tanto podía utilizarse como referencia para una escala².

La escala de Celsius indica que cuando la temperatura de un termómetro se iguala a la del agua hirviendo éste marcará el grado 100, y cuando se iguala a la del agua congelada éste marcará el grado 0.

Si en 1744, antes de que falleciera por causa de la tuberculosis, le hubiéramos preguntado a Celsius "¿cómo se cuecen más rápido los frijoles, con fuego bajo o

con fuego alto?”, ¿qué nos hubiera respondido? Inmediatamente nos habría dicho que en ambos casos la temperatura del agua es la misma y que por lo tanto se cuecen con la misma rapidez.

¿Cuál es la diferencia entre memorizar en la escuela primaria que el agua hierve a los 100 °C y el conocimiento de Celsius sobre esa escala?

La diferencia es que gracias a la experiencia que Celsius vivió, en cuanto se toca un tema sobre temperatura él recuerda y hace referencia a sus conocimientos del tema. La experiencia permite el recuerdo y la referencia al conocimiento.

En la primaria no nos deberían enseñar que “el agua hierve a 100 °C”, esta frase le otorga una importancia excesiva a la escala centígrada, da a entender que ésta existe previa e independientemente del agua. Nos deberían decir: hemos convenido que la temperatura de ebullición del agua sea representada por 100 grados.

Gracias a la escuela y al aprendizaje memorizado podemos ser incoherentes, podemos albergar conocimientos que no usamos y podemos actuar en forma diferente a como el conocimiento podría sugerir. Un ingeniero subiéndole el fuego a los frijoles para cocerlos más rápido es un ejemplo de incoherencia. Celsius no podría haberlo hecho, era coherente con ese conocimiento.

Coherencia es aplicar el conocimiento tal como lo haría la persona que lo generó, cuando utilizamos la escala centígrada como lo hubiera hecho Celsius somos coherentes.

No necesitamos vivir la misma experiencia que el investigador que creó el conocimiento para ser coherentes, es suficiente hacer lo que hemos hecho aquí: leer sobre los experimentos que realizó, vivir mediante la lectura la experiencia ajena (quizá esa debería ser la función de la escuela, no la de obligar a memorizar oraciones).

4 El experimento

Los experimentos científicos se documentan en artículos que son publicados en las revistas científicas. En esas revistas se encuentra todo lo que la actividad científica ha logrado, y consultando muchos de esos artículos se escriben los libros de texto de ingeniería y otras profesiones. En la escuela de ingeniería no se hace referencia a estas revistas, sólo se consultan los libros.

El ingeniero sale de la escuela sin conocer lo que es la ciencia, sólo sabe algunas de las consecuencias de ésta y puede aplicar esos conocimientos en algunos campos específicos, no en una forma general. Esto es, el ingeniero no tiene la coherencia de los investigadores que crearon el conocimiento que maneja.

Leer artículos científicos donde se detallan experimentos es de utilidad para obtener coherencia, y una persona con coherencia aplica adecuadamente los conceptos que maneja, esto es, tiene criterio. Pero este tipo de lectura no es la única actividad que se puede realizar para desarrollar coherencia y criterio, ¿qué tiene que hacer el ingeniero para tener criterio?

5 Duda

Los ingenieros con criterio que conozco tienen varios años de experiencia y después de trabajar con ellos y observarlos he llegado a la conclusión de que consiguieron coherencia porque en cada uno de los proyectos donde se vieron involucrados desarrollaron una pequeña investigación personal.

Estos ingenieros tienen un gran respeto por sus emociones de duda, cuando sienten curiosidad dejan lo que están haciendo y se dedican a saciarla. Es entonces cuando llevan a cabo sus mini proyectos de investigación y se comportan como los científicos experimentando.

Por ejemplo, el ingeniero Antonio Capella estaba dirigiendo el proyecto de sectorización de la red de agua potable del DF. Él coordinaba a cuatro empresas de ingeniería encargadas de una región de la red de agua cada una. El trabajo de las empresas era proponer sectores para aislar la red secundaria con el objeto de controlar la presión en ellos y así reducir la cantidad de agua que fuga. Este tipo de proyectos sólo se habían realizado en algunas partes del mundo (Brasil y el Reino Unido) y todo cuanto se hacía era nuevo, sólo una persona con criterio lo podía haber propuesto.

El ingeniero Capella era encargado del desarrollo conceptual de todo el proyecto y no esperaba que se ocupara de los detalles que realizó personalmente. Al observar su actitud comprendí que lo hacía sólo para satisfacer sus dudas, su curiosidad, y lo hacía para comprender.

Estando desarrollando el proyecto surgió la necesidad de identificar los micro medidores de agua que se encontraban en cada sector con el objeto de calcular el agua que ahí se consumía. La información de consumos estaba en una base de datos y para cada medidor existía el dato de las coordenadas donde estaba ubicado. Se pensó por lo tanto que si se definía un polígono que representara los límites del sector sería posible emplear un software para identificar los medidores que se encontraran dentro del polígono.

Como yo sabía algo de programación me di a la tarea de desarrollar el software, lo hice y posteriormente le informé al ingeniero Capella de mi trabajo y quedó de ir a verlo. El día siguiente llegó temprano con su propia versión del algoritmo para identificar medidores dentro de un polígono. Lo había desarrollado utilizando solamente una hoja de Excel, sin programación, y lo había hecho en el tiempo que pasó desde que yo le llamé al momento en que se presentó, esto es, en una noche. Me lo imagino despierto hasta tarde jugando con su hoja de cálculo, modificándola hasta conseguir el algoritmo que me mostró.

¿Por qué el ingeniero se desveló haciendo algo que 1) ya estaba hecho, y 2) él no tenía obligación de hacer?, su función era coordinar el proyecto, definir los criterios para sectorizar, encargarse de lo importante y no de esos detalles. Lo hizo porque le gusta resolver ese tipo de problemas, le gusta quebrarse la cabeza y aprender al hacerlo. Esa actitud provoca que experimente, que investigue (esto es, que lea sobre experimentos) y esa actividad realizada por años es lo que lo hicieron coherente. Y una persona coherente decide con criterio.

El criterio se forma gracias al hábito de aprender en toda oportunidad, de respetar el sentimiento de duda y curiosidad. Ese respeto es algo que no se le enseña al ingeniero, por el contrario, se le enseña a no dudar, a ser pragmático.

6 El concepto

El ingeniero coherente maneja conceptos importantes que constantemente revisa y modifica. Los conceptos que cada ingeniero maneje dependerán de su área de especialización, pero todos deberían manejar los relacionados con las principales leyes de la física y termodinámica.

Hay tres leyes que me parecen especialmente importantes y útiles para crear criterio. La ley de la conservación de la energía, la ley de la conservación de la masa y la 2ª ley de la termodinámica; que juntas podrían formar el concepto “no hay lonche gratis”.

Las leyes de conservación dicen que la energía y la masa no se crea ni se destruye, solamente se transforma. La 2ª ley de la termodinámica dice que toda la energía tiende a convertirse en calor y que los macro sistemas tienden a ser cada vez menos complejos, esto es, que todo se deteriora y que las máquinas necesitan mantenimiento.

No hay lonche gratis porque cada modificación que queremos hacer en la naturaleza requiere de trabajo: no podemos crear masa ni energía y para transformar energía calorífica en mecánica (que es la que nos es útil) tenemos que seguir un proceso contrario al natural y muy ineficiente. Cuando esa energía mecánica es utilizada se convertirá de nuevo en calor.

Cuando un proyecto de la impresión de que estamos obteniendo algo gratis, el concepto mencionado debería encender una alerta en nuestra mente, la alerta dice: revisa esto porque no hay lonche gratis.

Por ejemplo, hace poco participé en la elaboración del anteproyecto de una planta de tratamiento de aguas residuales de 1200 lps (litros por segundo) de capacidad. En el proyecto se proponían aireadores con una potencia de 120 hp para el reactor biológico. Yo estaba participando en el diseño hidráulico y no tenía responsabilidad del diseño de los procesos de tratamiento, pero cuando escuché ese valor inmediatamente se encendió una luz roja que hacía referencia al concepto “no hay lonche gratis”: ¿sólo 120 hp para una planta tan grande?

Después hice un balance de oxígeno en el reactor y me di cuenta que la cantidad suministrada por los equipos de aeración propuestos no era suficiente para las necesidades de remoción de materia orgánica. Lo que inició mi inquietud fue la aplicación adecuada de un concepto conocido por todos.

Es importante ponerle nombre a los conceptos, hacerlos explícitos. Esto permite discutir y escribir sobre ellos, al hacerlo los modificamos y mejoramos. Si no los hacemos explícitos nunca los vamos a modificar y permanecerán como nociones, como creencias implícitas. De este tipo de nociones tenemos muchas, arriba había mencionado la de pensar en las teorías científicas como una representación fiel de la realidad.

Ponerle nombre a los conceptos significa crear una definición de ellos. Normalmente utilizamos palabras que no podemos definir³, sólo cuando tenemos

algo de coherencia sobre el significante lo podemos definir con palabras. Por ejemplo, alguien puede emplear la palabra "líquido" sin poder definirla. Quizás dude en llamar o no líquido a la miel. Cuando conocemos su significado: estado de la materia que asume la forma del recipiente que la contiene, podemos hacer un juicio sobre el estado líquido de la miel.

Muchas definiciones de conceptos se auxilian de la experimentación. La definición de líquido es una visión del experimento de intentar usar un recipiente para almacenar materia. Otros utilizan la observación, como la definición de mamífero: Clase de animales vertebrados caracterizados por presentar glándulas mamarias que sólo son funcionales en las hembras y que utilizan para alimentar a sus crías. Estas dos actividades, experimentación y observación, son las que han creado el conocimiento científico. Esto es, la definición es la recreación de los resultados de la ciencia.

Por ejemplo, la definición de termómetro centígrado de Encarta: "aquel cuya escala ha sido graduada dividiendo en cien partes la distancia entre las señales correspondientes a la temperatura del hielo fundente y la del agua en ebullición" (Encarta, 1997), es la recreación del experimento de Celsius.

Quiero concluir esta sección aclarando las definiciones de los conceptos que he utilizado. La persona con criterio es aquella que ha reconocido algo que otros no ven, ha utilizado un concepto y con él ha hecho un juicio sobre algún problema. Esta definición de criterio implica un grupo ante un problema.

El **criterio** se puede dar de dos maneras: 1) **evidente**, cuando el concepto utilizado para emitir el juicio es conocido por todo el grupo y el valor del criterio radica en la aplicación del concepto, y 2) **novedoso**, cuando el concepto empleado es nuevo para el grupo.

El criterio evidente requiere de coherencia entre los conceptos y actos de la persona que lo emite. Esa coherencia se consigue mediante la comparación constante de actos y conceptos. A su vez, esa revisión es motivada por la duda, la curiosidad, emociones propias del espíritu científico.

No estoy proponiendo que el ingeniero debe cambiar su espíritu pragmático, propongo que en ciertas ocasiones debe dejarlo para dudar y rectificar.

7 El procedimiento

El ejercicio de comparar constantemente los actos (usualmente guiados por el inconsciente) y los conceptos se puede realizar con diferentes medios. Arriba ya mencioné que uno de ellos es el estudio de experimentos o revivir su experiencia mediante la lectura; otra forma es ponerle nombre a las ideas, esto permite mencionarlas, analizarlas, y modificarlas. La definición, como la experimentación, también es de utilidad en esta comparación porque recrea un flujo causal donde el concepto se relaciona con sucesos.

El procedimiento es también una forma de llevar a cabo el ejercicio comparativo mencionado. En el texto siguiente, cita del documento "El procedimiento", propongo la forma como se debe elaborar y usar esta herramienta para que con su uso se consiga coherencia.

En el último par de décadas el mundo empresarial ha atravesado por una etapa de cambio acelerado promovida por las modas de administración y liderazgo que los diferentes gurús del desarrollo empresarial han propuesto. Ese cambio se ha dado de forma muy diferente en los países del primer mundo, donde las ideas fueron generadas y llevadas a la práctica inmediatamente, y en los países en desarrollo, donde la producción de ideas fue y sigue siendo casi nula y la práctica de las modas primermundistas usualmente no producen buenos resultados al intentarse implementar en un ambiente empresarial tan diferente.

Una de las modas que tuvo más éxito fue la denominada "calidad total", y dentro de esta filosofía empresarial el desarrollo e implementación de procedimientos estandarizados para controlar procesos es una actividad que se ha considerado esencial para mejorar la calidad de productos y servicios. De todas las herramientas que las modas de desarrollo empresarial han desarrollado, el procedimiento estandarizado es la única que puede ser certificada por un organismo internacional. La certificación ISO-9000 se ha convertido en el sello de calidad máspreciado al que una empresa puede aspirar, y se basa en la implementación de procedimientos estandarizados para controlar todos los procesos que afectan la calidad del producto o servicio que la empresa ofrece.

¿Por qué se le ha dado tanta importancia al procedimiento?, ¿es en realidad tan importante? La mayoría de las empresas latinoamericanas siguen trabajando sin siquiera conocer lo que esto significa, ¿por qué entonces la obsesión con ellos?

El procedimiento consiste en describir paso a paso cómo se debe realizar una tarea. Cuando en una compañía se realizan las tareas siguiendo siempre un procedimiento, la producción se estandariza, se hace siempre de la misma forma y la calidad del producto siempre es la misma. Así descrito, el procedimiento suena más bien aburrido y deshumanizante para el que lo debe implementar. ¿Por qué entonces tanto alboroto por el procedimiento?

El procedimiento es útil siempre y cuando se utilice de forma adecuada. Analicemos con un poco de detalle cómo es que se debe elaborar un procedimiento. Supongamos que en un área de la empresa un grupo de trabajadores está desarrollando un proceso complicado. Esos trabajadores han aprendido a hacer su tarea de forma empírica, en un largo proceso de prueba y error, pero lo hacen muy bien. El procedimiento entonces debe hacerse siguiendo los pasos que esos trabajadores realizan, el documento debe captar toda la experiencia que existía antes sólo en la mente de esas personas.

El procedimiento así realizado es una valiosa información que puede otorgar a otras personas el conocimiento sobre cómo realizar esa tarea y hacerla bien. El conocimiento adquirido en años de práctica y prueba y error puede ser adquirido por otras personas en horas. Esa es la principal virtud del procedimiento.

Si el procedimiento lo elabora un ejecutivo que nunca ha realizado esa tarea, si no está soportado por la práctica, no estamos almacenando el conocimiento, estamos inventando una propuesta para hacer el trabajo y el factor experiencia no lo avala. Si obligamos a los trabajadores a seguir ese procedimiento entonces estaremos deshumanizando su trabajo y seguramente bajando su rendimiento.

El procedimiento debe ser utilizado como lo que es: un almacén de conocimiento. El seguimiento de éstos debe ser estricto, al pie de la letra, las primeras veces que se aplica, pero una vez que el trabajador ha adquirido el conocimiento que el procedimiento almacenaba, se le deberá permitir trabajar con libertad suficiente para que su creatividad e ingenio puedan agregar más conocimiento. Cuando eso sucede, el procedimiento debe cambiar para almacenar el nuevo conocimiento. En las etapas iniciales de la capacitación el trabajador sigue al procedimiento, pero cuando éste domina la tarea y puede aplicar las cualidades que todo ser humano necesita utilizar, como creatividad, voluntad, libertad, inteligencia, entonces el procedimiento deberá seguir al hombre, pues sólo éste crea el conocimiento.

La utilidad del procedimiento es almacenar y distribuir conocimiento, y bien empleado no tiene por que ser deshumanizante.

Por hacer explícito y almacenar el conocimiento de las actividades que realizamos, la elaboración y revisión de procedimientos es una actividad que nos permite crear coherencia entre nuestras ideas explícitas y nuestros actos.

8 Sistemas complejos

Arriba mencioné que el ingeniero aplica las más probadas de las teorías científicas pertenecientes a las ciencias exactas. Las ciencias exactas son las que estudian los sistemas menos complejos y gracias a esto tienen su poder predictivo. Las ciencias no exactas como la psicología, sociología, economía y otras, no tienen tanta capacidad de predicción porque los sistemas que estudian son complejos⁴.

Los sistemas biológicos son los prototipos de la complejidad, y las ciencias que los estudian son las no exactas. Pero el ingeniero también se enfrenta a sistemas que aunque no tienen la complejidad de una célula sí resultan complejos.

Es diferente controlar un sistema complejo y uno predecible. Esta diferencia ha sido reconocida por algunos investigadores que han estudiado el comportamiento de sistemas tan complejos como las plantas nucleares o los portaaviones nucleares. Kart E. Weick en su libro "Managing the unexpected. Assuring high performance in an age of complexity", distingue a las organizaciones que operan estos sistemas complejos como "high reliability organizations (HROs)" y explica que éstas no funcionan igual que el resto de las organizaciones. Básicamente su argumento es que no es lo mismo actuar para controlar un sistema complejo que uno predecible.

Las diferencias entre estos sistemas se manifiestan también en el uso del criterio. En los sistemas predictivos es posible realizar procedimientos, y el criterio se utiliza para elaborar esos procedimientos o en los aspectos más complejos de la operación. Pero en los sistemas complejos no es posible crear procedimientos, el sistema no es lo suficientemente predecible para permitir su estandarización.

Cuando se trabaja con sistemas complejos las acciones que se ejercen sobre éste deben ser de corto plazo, se tienen que ir pensando en el camino, se debe auxiliar de la experiencia del momento y considerar frecuentemente las respuestas del sistema. Usualmente involucra una actividad de prueba y error, el uso de conceptos y no de fórmulas.

Cuando se emplea el criterio en un sistema complejo (**SC**) éste usualmente es del tipo novedoso, esto es, involucra nuevos conceptos. En los sistemas predictivos ya existen los suficientes conceptos para resolverlos, en lo que somos deficientes es en su aplicación, problema que se resuelve con coherencia.

Debido a que no existe un consenso sobre cuáles son los conceptos novedosos que se pueden emplear en los SC, éste proceso es mucho más complicado que el criterio evidente. Es tema de otro documento, uno menos relacionado con la ingeniería.

9 Otras herramientas de la coherencia

Además del procedimiento tradicional existen otras formas para estandarizar nuestras actividades sobre sistemas predecibles y al hacerlo obtener coherencia. Es posible estandarizar la elaboración de documentos utilizando plantillas de los

procesadores de texto, es posible estandarizar la elaboración de memorias de cálculo usando formatos como el que aparece a continuación.

Interconexión Caja 2 sección Intermedia - Tanque de contacto con CI

N°	Datos						Resultados					
	Var	Descripción	Intervalo	Valor	Unidad	Ref.	Var	Descripción	Criterios	Valor	Unidad	Ref.
1	Q D	Flujo Diámetro interno de la tubería de interconexión		2.160 1524.0	m ³ /s mm		V	Velocidad en la tubería de interconexión	$\frac{Q}{\pi \frac{(D/1000)^2}{4}}$	1.18	m/s	
2	ν	Viscosidad cinemática		1.0E-06	m ² /s		Re	Número de Reynolds	$\frac{V \cdot D / 1000}{\nu}$	1.8E+06		
3	e	Coefficiente de rugosidad para Darcy		0.100	mm		er	Rugosidad relativa	e/D	6.6E-05	mm	
4							f	Coefficiente de fricción de Moody	Depende del número de Reynold y la rugosidad relativa	0.0123		
5		2 Codos a 45° Entrada de tubería a tpe Salida de tubería 3 Codos a 90°		0.384 0.500 1.000 1.080		CRANE	Kt	Coefficiente debido a los accesorios de tubería		2.964		
6	L g	Longitud de tubería recta Aceleración de la gravedad		76.000 9.810	m m/s ²		hf	Pérdida de carga en la tubería de interconexión	$\left(Kt + f \frac{L}{D/1000} \right) \frac{V^2}{2g}$	0.255	m	

CRANE División de ingeniería de CRANE. "Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías", McGraw-Hill, 1992

Figura 1. Ejemplo de formato para memoria de cálculo

La computadora permite estandarizar muchos procesos, y la programación de software es la actividad más precisa y poderosa para conseguir esto, sin embargo, es compleja y requiere de conocimientos muy especializados. El ingeniero usualmente prefiere la hoja de cálculo. Además, ahora es posible programar en las hojas de cálculo, y esto permite aprovechar los beneficios del desarrollo de software sin las complicaciones que se presentan al usar un compilador. He encontrado que el uso de las hojas de cálculo en lugar de la programación, cuando la capacidad de las hojas es suficiente, es siempre mejor por las siguientes razones:

- Las hojas de cálculo son ampliamente conocidas, en especial por los ingenieros.
- Aunque otro tipo de software podría ofrecer un ambiente más amigable, las hojas de cálculo son, para la mayoría de los ingenieros no especializados en computación, mucho más fáciles de usar y modificar que cualquier lenguaje de programación.
- Las hojas de cálculo hacen el proceso de cálculo completamente transparente, obligando al diseñador a involucrarse más a fondo con el detalle del cálculo. Con esto se promueve la comprensión de la metodología de cálculo y no su simple empleo mecánico, que pudiera conducir a cometer errores conceptuales en el diseño. Esto es, las hojas de cálculo permiten mayor coherencia en su aplicación.
- En las hojas de cálculo elaboradas en Excel 2000 se pueden incluir funciones programadas en Visual Basic. Esto permite crear herramientas de cálculo o procedimientos para facilitar el proceso, haciendo aún menos necesario la elaboración de un software amigable y especializado.

Todos estos procedimientos son de utilidad para obtener coherencia entre las actividades que realizamos y nuestros conceptos, pues nos obligan a hacer

explícito un comportamiento y esto nos permite tomar conciencia del mismo y reflexionar sobre su relación con los conceptos que manejamos.

Esa coherencia nos permite tener criterio del tipo evidente (porque empleamos conceptos familiares) cuando operamos en sistemas predecibles. Al actuar en sistemas complejos estas herramientas no nos son de utilidad. Para actuar en ellos es necesario el criterio tipo novedoso.

10 El inconsciente

Arriba mencioné que casi todas nuestras acciones las realizamos en forma inconsciente. Esta afirmación es algo increíble para un ingeniero, pero para los que se dedican al estudio de la conducta y la conciencia es un hecho. En el documento "Modelo humano" escribí sobre este tema más ampliamente, aquí sólo presentaré algunos argumentos con el objeto de despertar la curiosidad del lector en el tema.

Los ingenieros no recuerdan haber aprendido la teoría implícita que mencioné arriba, sobre la correspondencia exacta entre la teoría científica y la realidad. Tampoco recordamos haber estudiado para aprender a hablar. ¿Cómo aprendimos eso?

También es posible que no seamos capaces de hablar de las reglas de la sintaxis y sin embargo formar oraciones complejas (así lo hace un niño). Podemos no saber nada de física y ser capaces de arrojar una pelota hacia un punto con bastante precisión, podemos andar en bicicleta sin necesidad de conocimientos sobre inercia giroscópica. ¿Cómo lo hacemos?

Aprendimos todo eso de forma inconsciente y realizamos esas actividades sin necesidad de un conocimiento consciente de física, reglas de sintaxis, o teorías epistemológicas.

Muchos animales tienen capacidad de aprendizaje inconsciente, y sólo algunos, como los mamíferos y las aves, tienen la capacidad de la conciencia. El procesamiento inconsciente precede al consciente en la etapa evolutiva y en la ontogénica (la ontogenia se refiere al desarrollo del individuo desde su nacimiento hasta su muerte) y casi todo lo hacemos en forma inconsciente, de hecho, la conciencia es una de las creaciones del inconsciente.

Muchos de nuestros movimientos los hacemos inconscientemente: cuando manejamos, jugamos algún deporte o caminamos, no somos conscientes de cada uno de nuestros movimientos. Con la conciencia creamos el plan general y la ejecución se lleva a cabo con el inconsciente.

Cuando estamos en un ambiente social, en presencia de otras personas, también hacemos muchas actividades inconscientemente. No somos conscientes de cómo formamos las oraciones, cómo las articulamos, cómo interpretamos las oraciones de otros.

Pero hay mucho más. Estando en presencia de otras personas hacemos muchas actividades automáticas que van más allá del simple movimiento físico. Por ejemplo, en presencia de otras personas que conocemos por vez primera iniciamos una actividad inconsciente que consiste en calificarla, observamos cómo viste, su tono de voz, su apariencia fisiológica, sus ademanes. Después emitimos

un juicio sobre ella y quizás la cataloguemos en alguno de nuestros estereotipos. Todo esto en forma inconsciente.

Observarnos cuando hacemos estas actividades inconscientes no es sencillo, por el simple hecho de que no estamos conscientes de hacerlo. Es más fácil observarlo en otras personas. Por ejemplo, si estando acompañado de alguien a quien usted conoce le presentan a ambos a otra persona, preste atención al comportamiento de su amigo. Hacerlo es difícil porque es posible que usted también inicie el proceso de calificación de la persona presentada, pero si lo consigue podrá observar todas las acciones de calificación que su amigo realiza, y podrá apreciar que son inconscientes.

El lector interesado en el tema debería leer “Strangers to ourselves”, de Timothy D. Wilson.

Porque muchas de nuestras acciones son ejecutadas inconscientemente es que el conocimiento tiene dos componentes: el explícito, que incluye los conceptos, y el implícito, que incluye las reacciones automáticas que sólo se consiguen con práctica. Los conceptos por lo tanto requieren de práctica para poder relacionarlos a las acciones. Las herramientas que he mencionado son formas de realizar esta práctica: el procedimiento, la creación y revisión de conceptos, el experimento y revivirlos con la lectura de artículos científicos.

Hablando en forma metafórica me atrevería a decir que la práctica forma ligas entre el concepto y la acción. Esas ligas constituyen la coherencia.

11 Los hábitos del ingeniero con criterio

El ingeniero que tiene criterio lo tiene gracias a ciertos hábitos. Esos hábitos le permiten aprender de cada uno de los trabajos que realiza. Si existen personas que aprenden de cada experiencia y otras que no lo hacen, entonces con el tiempo llegarán a ser muy diferentes, y creo que eso es lo que sucede. La diferencia entre aquellos que tienen criterio y los que no lo tienen puede ser abismal, y la diferencia radica no en una inteligencia especial o superior, sino en el hecho de aprender de cada acción (un poco todos los días) o no hacerlo.

El hábito es la facilidad adquirida por la constante práctica de un ejercicio. Es una actividad que realizamos frecuentemente y automáticamente, sin necesidad de proponérselo intencionalmente. El desarrollo del hábito requiere de voluntad, pero cuando lo hemos formado opera en nosotros automáticamente.

Los hábitos que permiten al ingeniero crear coherencia y aprender en cada trabajo que realiza son:

- El ingeniero sigue siendo, en general, pragmático. La mayor parte del tiempo se atiene a los hechos y a lo práctico. Los ingenieros usualmente no tienen problema con esta faceta de su personalidad, pues es así como se les enseñan a ser.
- Pero constantemente reflexiona sobre lo que hizo y sobre sus dudas. A esto le llamo respetar las dudas y es esta la faceta que no está presente en muchos ingenieros. Requiere de soledad, reflexión y lo que he llamado espíritu científico. Involucra la lectura, la reflexión, escribir, hacer cálculos, en fin, quebrarse la cabeza.

- Las investigaciones individuales que hace el ingeniero Capella en cada uno de sus proyectos es ejemplo de este hábito.

Los hábitos del ingeniero con criterio lo deben llevar a realizar actividades pragmáticas y reflexivas frecuentemente. Realizar cada una de estas actividades requiere de actitudes y condiciones diferentes.

- Pragmático. Esta actitud se puede asumir en reuniones, al solucionar problemas presentes de la obra o la fábrica, en general cuando se tienen que cumplir plazos.

Esta actitud el ingeniero la asume automáticamente cuando se encuentra en un ambiente social, esto es, cuando está en presencia de otras personas. Creo que también se puede tener esta actitud estando solo, pero al estar acompañados siempre la tenemos.

El prototipo de esta actitud es la que asumimos bajo presión. En ese estado trabajamos decidiendo rápidamente utilizando el mejor criterio disponible, siempre con la idea del tiempo de entrega en la mente. Ese estado provoca emociones fuertes, que de hecho creo se pueden convertir en una especie de vicio. Existen personas tan acostumbradas a trabajar bajo presión que cuando ésta no se presenta no pueden actuar, se paralizan. Se hace un hábito en ellas descuidar el trabajo cuando no tienen el “tiempo encima” y posteriormente trabajar arduamente para terminar el proyecto oportunamente.

- Reflexivo. Esta actitud requiere soledad, y es la que se le dificulta al ingeniero.

El estilo pragmático es muy emocionante, el reflexivo no lo es. Para una persona acostumbrada a tomar decisiones importantes y a trabajar bajo presión asumir una actitud reflexiva no es sencillo, no tiene la tranquilidad que ésta demanda.

Yo en lo personal, después de trabajar bajo presión duro algunos días antes de poder retomar mis lecturas. El día siguiente de finalizar un proyecto donde estuve presionado no consigo la tranquilidad que necesito para permanecer sentado en silencio durante más de dos horas frente a un libro.

Estoy recomendando asumir frecuentemente dos actitudes encontradas. Por este motivo creo que el problema para obtener criterio es uno de hábitos. El ingeniero debe encontrar los momentos cuando puede ser reflexivo y aprovecharlos. Estos momentos se pueden dar en los días de tranquilidad después de los proyectos donde se trabajó bajo presión. O se puede buscar una hora del día para asumir esa actitud, creo que la más recomendable es al despertar.

III Resumen

El ingeniero es capacitado en la escuela y en sus trabajos para ser pragmático, mas no para ser reflexivo. En la escuela también recibió una gran cantidad de conocimientos simbólicos que sólo aplica limitadamente. Tomar coherencia con ese conocimiento requiere la reflexión como hábito.

La coherencia permite el uso de conceptos científicos para emitir juicios, esto es, el criterio. El ingeniero con criterio es el que tiene el hábito de reflexionar, y no sólo se dedica a “trabajar dejándose de pendejadas”.

¹ **Epistemología.**

(gr. epistémē, saber científico + -logía)

f. Disciplina filosófica que estudia los principios materiales del conocimiento humano. Es decir, mientras la lógica investiga la corrección formal del pensamiento, su concordancia consigo mismo, la epistemología pregunta por la verdad del pensamiento, por su concordancia con el objeto; la primera es la teoría del pensamiento correcto, la segunda la teoría del pensamiento verdadero. Por consiguiente, los principales problemas epistemológicos son: la posibilidad del conocimiento, su origen o fundamento, su esencia o trascendencia, y el criterio de verdad. (Encarta)

² Los dos puntos de temperatura fija a los que se refiere Celsius se dan cuando el agua se congela o cuando ésta hierve. Imaginemos que tenemos hielo a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y le aplicamos calor. Conforme lo hacemos la temperatura del hielo se incrementará en forma proporcional a la cantidad de calor aplicada. Pero cuando el hielo alcanza los $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ su temperatura dejará de incrementarse y empezará a derretirse, por cada unidad de calor que apliquemos una determinada cantidad de hielo pasará de estado sólido a líquido y la temperatura sólo se incrementará cuando la totalidad del hielo se haya derretido. A partir de este momento la temperatura del agua se incrementará proporcionalmente a la cantidad de calor aplicado, pero cuando el agua llegue a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ su temperatura dejará de subir. En el punto de ebullición el calor provoca que el agua pase de la fase líquida a la gaseosa, pero no incrementa su temperatura.

Esos son los dos puntos de temperatura constante que se pueden apreciar en el agua y que Celsius empleó para estandarizar una escala de medición de temperatura.

³ En el documento “Modelo humano” llamo a este tipo de significantes “sígnolo” para distinguirlo de un símbolo, que es el signifiante que sí podemos definir.

⁴ Aquí utilizo el concepto de complejidad desarrollado por autores como Stuart Kauffman (ver, por ejemplo, “Investigations”). Este tema lo desarrollo más ampliamente en el documento “Modelo humano” y también en “Sistemas de distribución de agua”, disponibles en www.arturotapia.com