

## ALGUNAS ANALOGÍAS ENTRE LOS SISTEMAS DE INGENIERÍA Y LOS SISTEMAS ADMINISTRATIVOS (SEGUNDA PARTE)

### RESUMEN

En el presente artículo se continúan recopilando algunas analogías entre los sistemas mencionados, por lo cual se puede afirmar que en los sistemas administrativos se presentan relaciones de funcionalidad muy similares a las encontradas en la Naturaleza misma.

**PALABRAS CLAVES:** Conductores de costos, Contabilidad de costos, costos de producción, costos indirectos, volumen de producción, costeo basado en actividades (abc), estándar ISO 9000:2000, portafolio, riesgo, rentabilidad, covarianza, líquidos inmiscibles, presión de vapor, punto de ebullición, teoría de restricciones, cuellos de botella, Estequiometría, Ley de Conservación de la Masa, propiedades molares parciales.

### ABSTRACT

*In this piece, the authors go on describing some other analogies between engineering and managerial systems; it can be stated that in the latter there exist a number of functional relationships which are very similar to those found in Nature itself.*

**KEYWORDS:** Cost drivers, costs accountability, production costs, overhead, throughput, activity based costing (abc), ISO 9000:2000 standard, portfolio, risk, return, covariance, immiscible liquids, vapor pressure, boiling point, theory of constraints, bottlenecks, stoichiometry, law of conservation of mass, partial molar properties.

### 1. INTRODUCCIÓN

En un artículo anterior [1] se describieron algunas analogías entre los sistemas administrativos e ingenieriles, tales como las que existen entre los costos explícitos y el calor sensible y los costos implícitos y el calor latente, entre las alianzas estratégicas y los enlaces químicos covalentes, entre el control de inventarios y la Ley de Conservación de la Masa, y finalmente los que pueden ser los significados de las palabras “commodities” y “specialties” en la Administración. “Dado que las analogías son muy buenos comunicadores” [2] y que éstas se constituyen en herramientas poderosas en manos de los expertos [3], en el presente artículo continuamos con la tarea de establecer otras comparaciones que existen entre el mundo físico real y el mundo administrativo, señalando de paso la dificultad propia de la misma.

### 2. COST DRIVERS

Sea lo primero referirnos nuevamente a los costos. En la Contabilidad de Costos tradicional, los costos de producción se calculan a partir de la materia prima (costo mejor conocido hoy por hoy como totalmente variable [4]), la mano de obra directa (definida como “la que toca al producto”), y los costos indirectos u “overhead”, en los

### LUIS GUILLERMO RÍOS A.

Ingeniero Químico, M. Ing., MBA.  
Profesor Asistente  
Facultad de Tecnología  
Universidad Tecnológica de Pereira  
luis@utp.edu.co

### YAMAL MUSTAFA IZA

Ingeniero Mecánico, M. Ing.  
Profesor Asistente  
Facultad de Ingeniería Mecánica  
Universidad Tecnológica de Pereira  
yamal@utp.edu.co

cuales son agrupados los restantes ítems necesarios para obtener un producto, entre los que podemos citar la mano indirecta y sus correspondientes prestaciones, la depreciación de los equipos y del edificio de la planta, los servicios industriales, el mantenimiento, los seguros de vida del personal, los seguros de la planta y de los equipos, etc.

El sistema de costeo tradicional establece que el “driver” para distribuir el total de los costos indirectos entre los distintos productos que se fabrican, es el porcentaje de la mano de obra directa, MOD, asignado a cada producto. Esta metodología se encuentra muy cuestionada actualmente dado que se considera que la mano de obra directa no representa el grueso de las actividades de las empresas de los distintos sectores industriales, donde la mayor parte de éstas se llevan a cabo en equipos de alto volumen de producción (throughput) merced a su alto grado de automatización. Hoy por hoy se considera que los mejores ordenadores ó “drivers” para repartir los costos indirectos entre la mezcla de productos de una empresa son las propias actividades, enfoque que ha generado un revuelo en la Contabilidad, hasta el punto en el cual solo se acepta el ya muy difundido “costeo abc” (activity based costing, por la sigla en inglés). Hay que señalar que es posible encontrar márgenes de rentabilidad por producto dramáticamente diferentes al comparar los

calculados con base en el sistema de costeo tradicional con los calculados vía el sistema de costeo abc.

Pasando a otros campos de esa ciencia social (ó mejor práctica social) denominada Administración, nos encontramos con otros “drivers” ó conductores ó impulsores ú ordenadores. Es el caso de los sistemas de gestión de calidad según la norma ISO 9000:2000, en la cual los procesos administrativos agrupados en el capítulo 5 bajo el título “Responsabilidad de la Dirección”, parten de la siguiente premisa: “La alta dirección es la fuerza conductora (driving force) que está asociada con una implementación exitosa del sistema de calidad” [5].

Bueno, pero qué relación tiene esta situación administrativo-financiera con otras instancias de la ciencia? Para contestar esta pregunta debemos recurrir a las Ciencias de la Ingeniería, en particular a los Fenómenos de Transporte, donde encontramos los procesos de transferencia de momentum, calor y masa, los cuales son forzados ó conducidos respectivamente por cambios ó gradientes en los potenciales mecánico (presión), térmico (temperatura), y químico (ó másico), los dos primeros medibles experimentalmente y el tercero calculado a partir de los anteriores. En gracia de la discusión podemos decir entonces que la presión, la temperatura, y el potencial químico son los drivers de los procesos de transferencia mencionados.

Al cotejar las tres (3) situaciones planteadas anteriormente, encontramos un común denominador en éstas, ó un driver, ítem que hace posible los procesos reales tanto físicos como administrativos; lo anterior también podría ser extrapolado a otros campos de las Ciencias Sociales tales como la Economía, donde el driver es el mercado, aquel escenario macroeconómico virtual donde confluyen la oferta agregada y la demanda agregada de bienes y servicios.

### 3. PORTAFOLIOS DE INVERSION

Continuando con el tema financiero, hemos de recordar que la curva de rentabilidad contra riesgo de una inversión tiene una pendiente positiva, cumpliéndose la premisa económica que establece que “no hay almuerzo gratis”. De otro lado, el conocimiento común enseña de manera un poco gallinística, que “no se deben poner todos los huevos en la misma canasta”, lo cual traducido al lenguaje financiero moderno tiene un significado muy claro: diversificación. Al diseñar el portafolio mas sencillo, el formado por dos (2) inversiones la primera de alta rentabilidad y alto riesgo y la segunda de baja rentabilidad y de menor riesgo, se combinan éstas en distintos porcentajes, obteniéndose para cada mezcla una rentabilidad del portafolio calculada como la sumatoria de la rentabilidad de cada inversión multiplicada por el porcentaje correspondiente en el portafolio. Sin embargo, el riesgo del portafolio puede ser mucho menor que el promedio ponderado de las desviaciones estándar

de las dos inversiones, siempre y cuando la correlación esperada entre éstas, ó covarianza, sea baja. Lo anterior conlleva a un resultado inesperado según el cual al componer un portafolio es posible disminuir el riesgo y aumentar la rentabilidad de la inversión de baja rentabilidad si ésta se combina en la proporción adecuada con la inversión mas riesgosa pero mas rentable.

Un fenómeno análogo al descrito lo encontramos en el comportamiento físico de una mezcla de dos (2) líquidos inmiscibles, en la cual cada componente se comporta como si el otro no estuviera presente, es decir, como si ambos estuvieran puros, por lo cual cada uno aporta la presión de vapor del líquido puro @ la temperatura de la mezcla, a la presión total del gas por encima de ésta. En estas condiciones, la temperatura a la cual la presión total del gas alcanza el valor de la presión atmosférica local, mejor conocida como punto de ebullición de la mezcla, es menor que la temperatura de ebullición de cualquiera de los dos líquidos inmiscibles puros, y se mantiene constante en el curso de la separación de dichos componentes por destilación. Este comportamiento es tenido en cuenta en las industrias químicas para recuperar líquidos orgánicos que presentan altos puntos de ebullición, temperaturas a la cuales éstos se pueden descomponer ó caramelizar.

Cotejando las dos (2) situaciones planteadas, encontramos en el primer caso una inversión de bajo riesgo que es extrañamente “apalancada” y diversificada por una segunda de alto riesgo, y en el segundo “un líquido que extrañamente ayuda a otro a destilarse” [6]. Es de resaltar que en el primer caso, el riesgo del portafolio estudiado es menor que el riesgo de las dos inversiones que lo componen, y que en el segundo caso, la temperatura de ebullición de la mezcla de dos (2) líquidos inmiscibles @ la presión barométrica, es menor que la de los líquidos puros @ dicha presión.

### 4. TEORÍA DE RESTRICCIONES

Desde la pasada década de los noventas las propuestas formuladas bajo esta denominación por parte del físico israelí Eliyahu M. Goldratt, han sido estudiadas y debatidas en las universidades y aplicadas con éxito en muchas empresas extranjeras y nacionales. Tales propuestas tienen aplicación no solo en la programación de la producción de una fábrica tal como fueron conocidas inicialmente, sino en otros campos administrativos tales como la contabilidad, las finanzas, los proyectos, el mercadeo, las ventas, el comportamiento humano, y la estrategia. En las plantas de producción la consigna ha sido la de ir en busca de Herbie (nombre dado en el libro “La Meta”<sup>1</sup> [7] a un niño excursionista que llevaba el equipo más pesado, por lo cual era el que

<sup>1</sup> Uno de los autores del presente artículo ha empleado este libro como complemento para los cursos de Administración que ha impartido en las Facultades de Ingeniería Industrial y de Tecnología de la U.T.P., con muy buenos resultados.

marchaba mas despacio) ó cuello de botella, entendiéndose éste como el equipo de menor capacidad dentro de una línea de producción de una empresa manufacturera <sup>2</sup>. Hace énfasis el autor Goldratt en igualar la demanda actual del mercado con el flujo de producción por el equipo cuello de botella, aclarando de esta forma que no se trata simplemente de un problema estático de capacidad de un equipo, sino de otro dinámico que tiene que ver con el manejo adecuado de la capacidad del equipo más desbalanceado de la línea de producción, en el tiempo. Lo anterior se obtiene, usando sus propias palabras, “colocando a Herbie al frente”, es decir, caminando todos al ritmo del mas lento, después de quitar de sus hombros todas las cargas innecesarias que pueda llevar a cuestras, lo cual llevado a la planta de producción, significa concentrar todos los esfuerzos de la organización alrededor del cuello de botella así:

- Régimen de producción: este equipo debe mantenerse permanentemente en operación y a esta etapa del proceso deben estar asignados los mejores operarios y supervisores, y el personal de mantenimiento más competente.
- Control de calidad: éste debe llevarse a cabo de una forma preventiva, o sea aguas arriba inmediatamente antes del cuello de botella, y no aguas abajo del mismo.
- Normas ó especificaciones técnicas de producción: es imperativo descongestionar el flujo de producción en proceso por esta pieza de equipo verificando la necesidad de la aplicación de las mismas en las distintas etapas del proceso de fabricación de la mezcla de productos actual.
- Proyectos: la prioridad en este campo consiste en incrementar la capacidad de producción y la eficiencia del cuello de botella mediante la adquisición de más unidades de este tipo.
- Outsourcing: puede buscarse la participación de fabricantes pares para aumentar la capacidad restringida de esta etapa del proceso productivo.
- Y, por último, en términos de compromiso de todo el personal, dado que el cuello de botella debe ser el foco de atención de todos y cada uno de los empleados, desde el de rango mas alto hasta el de rango mas bajo,

toda vez que lo que allí se está manejando es el mismísimo *flujo de dinero*.

En suma, podemos decir que el libro “La Meta” presenta una amalgama de contenidos administrativos con enfoques modernos; allí encontramos temas tales como empresas familiares, estrategia, calidad, productividad, competitividad, mejoramiento continuo, liderazgo, trabajo en equipo, mercadeo y ventas, etc. Lo aprendido por medio de este libro lo podemos resumir en muy pocas palabras: en el campo administrativo no se debe actuar con un criterio de optimización local sino con un criterio de balance de fuerzas. Cabría entonces en medio de una discusión como la presente sobre las analogías entre los sistemas administrativos y los ingenieriles, formularse la siguiente pregunta: ¿De dónde viene o cómo se concibe el libro “La Meta” que da origen a la Teoría de Restricciones de Goldratt ó, en otras palabras, por qué razón se habla de cuellos de botella en las fábricas?

Consideramos que el verdadero origen, el origen científico, de los cuellos de botella encontrados por Goldratt en las organizaciones manufactureras <sup>3</sup> está en la Estequiometría <sup>4</sup> de las reacciones químicas, ó sea, en las leyes que gobiernan el cambio químico. Como es de común conocimiento, en una reacción química “a moles de la especie A pura reaccionan con b moles de la especie B pura, obteniéndose c moles de la especie C pura y d moles de la especie D pura” según la siguiente ecuación química balanceada ó estequiométrica:



donde las especies químicas A y B son los reactivos ó reaccionantes, mientras que C y D son los productos; las letras minúsculas son los respectivos coeficientes estequiométricos.

Hasta este punto no existe ningún problema, solo que en la reacción real es necesario tener en cuenta las masas ó cantidades de A y B que se van a suministrar, las cuales, a fin de que la reacción pueda completarse, no corresponden con las que indican los coeficientes estequiométricos que aparecen en la ecuación (1) <sup>5</sup>. De este hecho se deriva el concepto de “reactivo límite ó limitante”, que se define como aquel suministrado en cuantía inferior a la establecida por la ecuación estequiométrica, por lo cual éste impone una restricción a la cantidad de reactivos que se pueden descomponer en productos, convirtiéndose en el “cuello de botella” de la reacción; de esta forma los productos C y D que se pueden obtener, dependen del reactivo límite que se alimenta a la reacción. Obviamente el otro reactivo está

<sup>2</sup> Un ejemplo de un cuello de botella lo podemos encontrar en la línea de envase de una fábrica de bebidas, la cual consta de los siguientes equipos: depaletizadora, desempacadora, transportadores de envases, lavadora, inspectores de botellas, llenadora, pasterizadora (se utiliza dependiendo del tipo de bebida), etiquetadora (se utiliza dependiendo del tipo de envase), empacadora (en canastas), y paletizadora. La eficiencia de la línea se determina tomando como referencia el equipo de menor capacidad; en algunas plantas la capacidad limitante corresponde a las lavadoras de botellas, mientras que en otras, la capacidad limitante la establece la envasadora. En este último caso el criterio de diseño consiste en instalar equipos con una capacidad incremental con respecto a esta máquina tanto en dirección aguas arriba como aguas abajo de la misma. De otro lado, hay que indicar que los transportadores de envases entre un equipo y otro, pueden llegar a constituir un cuello de botella cuando no han sido diseñados correctamente.

<sup>3</sup> Cuellos de botella que fueron extrapolados posteriormente a las organizaciones en general y a otros campos administrativos, convirtiéndose en la conocida “Teoría de Restricciones”.

<sup>4</sup> Palabra derivada del griego “stoikeion” que significa elemento y “métron” que significa medida; la Estequiometría no es mas que la Aritmética de la Química.

<sup>5</sup> Según la Ley de Conservación de la Masa, para la ecuación estequiométrica se cumple que la masa de A puro mas la masa de B puro es igual a la masa de C puro mas la masa de D puro.

presente en exceso, siendo este el caso de reacciones tales como las de combustión, donde siempre se suministra un exceso de oxígeno ó aire, para garantizar que el carbono, reactivo límite, se consuma completamente. Hay que señalar que la conversión de la reacción se calcula con base en el reactivo límite que se transforma en productos, y que no en todos los casos éste reacciona completamente.

Finalmente, al contrastar las situaciones planteadas en el presente numeral, hemos de ver que si aplicáramos los conceptos esenciales de la Estequiometría a las organizaciones manufactureras en general, podríamos encontrar los cuellos de botella que se allí se presentan, haciendo simplemente los correspondientes balances de masa, los cuales están sustentados en la ley conservativa del mismo nombre.

## 5. COMPORTAMIENTO HUMANO

Finalizamos el presente artículo citando al profesor japonés Yu Takeuchi, de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, donde enseñó por espacio de varias décadas, quien hace mas de quince años calificaba la capacidad de trabajo en grupo de los colombianos de la siguiente forma [8]: “Individualmente la capacidad de los colombianos es muy buena. Si aquí traemos a un colombiano y a un japonés y me preguntan ¿quién es más capaz? Yo diría que el colombiano es superior. Sin embargo si traemos a dos colombianos y a dos japoneses, entonces el grupo de dos japoneses es superior al grupo de dos colombianos. Si aquí traemos diez colombianos y diez japoneses, la diferencia es inmensa. Aquí son muy capaces pero como un grupo, son muy malos...” La pregunta que nos podemos formular es la siguiente: ¿Por qué razón los colombianos somos tan malos para trabajar en grupo como lo afirma Takeuchi? Responder esta pregunta adecuadamente no es una tarea fácil, sin embargo, no puede afirmarse que el comportamiento descrito sea una característica propia de los seres humanos. Hemos de ver por ejemplo, que en un sistema de bombeo compuesto por dos bombas centrífugas idénticas operando en paralelo, se obtiene un aumento del caudal bombeado menor que el doble del caudal que suministra cada una de las bombas trabajando independientemente, siendo ésta una situación antisinérgica del mismo tenor que la encontrada por Takeuchi con los grupos formados por colombianos. Con respecto al sistema de bombeo mencionado, habría que analizar en cuales casos se justifica la operación de estos equipos en paralelo, desde el punto de vista del consumo de energía.

Otro caso como el anterior lo encontramos en la Termodinámica de las soluciones, para lo cual citamos el siguiente ejemplo [9]: “Si se tiene un volumen dado de agua y se adiciona un gmol de agua mas, el volumen aumentará en 18 mL; esa cantidad, 18 mL/gmol, es el volumen molar del agua pura. Si se adiciona un gmol de agua a un volumen dado de etanol, el volumen aumenta

solo en 14 mL. La razón de un incremento más pequeño es que el volumen que ocupa un número determinado de moléculas de agua depende de la naturaleza de las moléculas que le rodean. Como hay mucho etanol presente, cada molécula de agua estará rodeada de etanol puro y el empaquetamiento de las moléculas que resulta ocupa sólo 14 mL. La cantidad 14 mL/gmol es el volumen molar parcial de agua en etanol. Los volúmenes molares parciales de los componentes de una mezcla se requieren debido a la no aditividad de las propiedades extensivas en los sistemas reales, y varían con la composición debido a que el entorno de cada tipo de molécula cambia cuando la composición pasa de agua pura a etanol puro”.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se había anticipado en la primera parte de esta serie, se puede concluir que existen muchas analogías entre los sistemas ingenieriles y los sistemas administrativos, tal como se evidencia en el desarrollo de los numerales anteriores, por lo cual se reafirma que en los sistemas administrativos se presentan relaciones de funcionalidad similares a las encontradas en la Naturaleza misma. Sin embargo, lo anterior no significa que la Administración se ocupe exclusivamente de problemas de naturaleza técnica, tal como lo sugiere la metáfora de la máquina planteada por Gareth Morgan [10]. En el presente artículo se ha dicho que la Administración es una práctica social, y mal haríamos al afirmar que esos entes sobre los cuales se ejerce la misma, mejor conocidos como organizaciones, sean ó se parezcan a una máquina, desconociendo completamente el papel del talento humano. Desde el punto de vista de la Ingeniería la metáfora de las organizaciones como máquinas presenta las fortalezas “estáticas” asociadas con el buen funcionamiento de los equipos tales como eficiencia, productividad, consumo de servicios industriales solo cuando están en operación, no sindicalización, etc. pero, al mismo tiempo, las debilidades “dinámicas” asociadas al ignorar la capacidad de las personas lo cual se traduce necesariamente en bajos niveles de creatividad e innovación.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] RIOS A., Luis Guillermo y MUSTAFA IZA, Yamal. “Algunas Analogías entre los Sistemas de Ingeniería y los Sistemas Administrativos”. En: *Scientia et Technica*, Pereira: Universidad Tecnológica, No. 25, 2004, pp. 175-178.
- [2] GOYAL, Om P. “Add Depth to Technical Training”. En: *Hydrocarbon Processing*, Houston: Gulf Publishing Co. November 2003, pp. 85-91.

- [3] DYKSTRA, Clifford E. "Physical Chemistry: A Modern Introduction". Upper Saddle River: Prentice- Hall, 1997, p.26.
- [4] GOLDRATT, Eliyahu M. "Eli Goldratt Via Satélite": Manual del Participante, 1999, Sesión 2.
- [5] SHAH, G. C. "Strategic Business Elements of ISO 9001: 2000". En : Hydrocarbon Processing, Houston: Gulf Publishing Co, September 2003, pp. 109-110.
- [6] URQUIZA, Manuel. "Experimentos de Fisicoquímica" Primera Reimpresión. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México, División de Ciencias y Humanidades, Departamento de Química, 1989, pp.51-53.
- [7] GOLDRATT, Eliyahu M. y COX, Jeff. "La Meta" Segunda Edición Corregida. Monterrey, México: Ediciones Castillo, 1995, 408 pág.
- [8] MOCKUS, Antanas. "La rara virtud de no hablar paja". En: Lecturas Dominicales de El Tiempo, 17 de Septiembre de 1989, pp. 6-7.
- [9] GARGALLO G., Ligia y RADIC F., Deodato. "Termodinámica Química" Segunda Edición. México D.F.: Alfaomega-Ediciones Universidad Católica de Chile, 2000, p. 217.
- [10] MORGAN, Gareth. "Images of Organization". Newburg Park, CA: Sage Publications, Inc., 1986, Chapter 2.