

Utilización de la teoría de las restricciones en el análisis de la duración efectiva de los estudios de ingeniería

José Ángel González, Carlos Mataix, Javier Carrasco, Vicente Riveira

Unidad de Ingeniería de Organización y Logística de la ETS Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid. C/ José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid. jagonzalez@etsii.upm.es, carma@ingor.upm.es, javier.carrasco@upm.es, vicente.riveira@upm.es

Resumen

Desde la analogía entre los sistemas productivos y los sistemas educativos, esta comunicación aborda la duración efectiva de los estudios de ingeniería utilizando herramientas propias del análisis del flujo de materiales a lo largo del sistema productivo. La teoría de las restricciones de Goldratt permite abordar la problemática del tiempo de permanencia de los alumnos en las escuelas de ingeniería a través de la detección de aquellas asignaturas que juegan decisivo en su alargamiento. Mediante un sencillo modelo de simulación, es posible determinar la posible influencia de algunos cambios a realizar en determinadas asignaturas que componen los estudios de ingeniería, para acercar las duraciones teóricas y efectivas de estos estudios. La comunicación pretende facilitar una herramienta que, partiendo del análisis de los factores influyentes en la duración de los estudios, ayude en el diseño de las posibles líneas de mejora que tengan como objetivo una mayor eficiencia en la utilización de los recursos docentes.

Palabras clave: Teoría de las restricciones, Goldratt, Eficiencia de los recursos docentes, Duración de los estudios de ingeniería.

1. Introducción

Existen fuertes analogías entre los planteamientos propios de un sistema productivo y los relativos a un centro educativo. De forma simplificada, un sistema productivo se alimenta de un conjunto de materias primas que, tras un proceso más o menos complejo de transformación, dan lugar a una serie de productos finales que van a ser ofrecidos a sus clientes reales y potenciales.

Para una Escuela de Ingeniería, la materia prima está compuesta por las personas que han optado por ese centro para recibir determinada formación. En el símil con el sistema productivo, las transformaciones en la producción equivaldrían a la formación recibida durante el tiempo de permanencia de cada persona en el centro educativo. De esta forma, el producto final estará compuesto por las personas que, tras finalizar su proceso de formación, reciben su titulación, en este caso de Ingeniería, que les permite ejercer determinadas funciones o trabajos. En esta comparativa, los clientes serían aquellas organizaciones que demandan los servicios que pueden ejercer dichas personas gracias a los conocimientos adquiridos en su formación.

Por otra parte es evidente que las diferencias entre las organizaciones que componen los sistemas productivos y las Escuelas, como centros de formación, son múltiples, lo que implica cierta cautela a la hora de sacar conclusiones. Entre las principales diferencias destaca la

naturaleza del flujo que atraviesa cada uno de los sistemas. Mientras que en los sistemas productivos está formado, en su gran mayoría, por material no animado, el sistema educativo lo componen personas, dotadas de una voluntad propia para decidir autónomamente su comportamiento en cada momento, lo que hace en este caso aumentar la complejidad del sistema.

Sin embargo, las características que prestigiosos analistas de los sistemas productivos (Ballou, 2004; Hans, 1987) asignan a las organizaciones que los componen son fácilmente extrapolables a los centros educativos. Como ejemplo de algunas de estas características se pueden citar: la necesidad de trabajar con objetivos comunes, la división funcional del trabajo, el imprescindible alto grado de comunicación, la adaptación permanente a un entorno dinámico, etc. Como consecuencia de esta analogía, surge la posibilidad de utilizar los métodos, técnicas y planteamientos de análisis de las organizaciones que componen los sistemas productivos a los centros docentes que constituyen los sistemas educativos.

En esta comunicación el interés se centra en la duración efectiva de los estudios de ingeniería. Asumiendo la analogía con los sistemas productivos, esta duración equivaldría al tiempo de permanencia de los materiales dentro del proceso productivo de una organización concreta. En este sentido, la duración de los procesos de transformación de los materiales es una variable de gran interés, ya que es un indicador de la eficiencia con la que se están utilizando los recursos de la organización, en el proceso de transformación desde las materias primas a los productos finales. Este mismo indicador se puede utilizar para los centros educativos. La duración de la permanencia de los alumnos en determinado centro educativo para obtener ciertos conocimientos, habilidades y capacidades que les permita habilitarse para ejercer funciones concretas, refrendadas por el título académico obtenido, es un claro indicador de la eficiencia de ese centro educativo, ya que mide el grado de optimización en la utilización de sus recursos.

2. Teoría de las restricciones de Goldratt

Durante la década de los ochenta Goldratt y Cox (1984) introducen el concepto de “cuello de botella” como elemento característico de la denominada teoría de las restricciones, con la que pretenden determinar la capacidad de un sistema productivo. Si el objetivo de una organización pasa por incrementar su capacidad productiva, al tiempo que minimiza el inventario contenido en su trabajo en curso, Goldratt y Cox consideran que el foco de atención ha de centrarse en los puestos de trabajo o máquinas que están provocando el efecto de cuello de botella sobre el flujo productivo (Figura 1). Estos puestos de trabajo son los que determinan el ritmo de producción, así como el nivel de stock en curso del proceso.

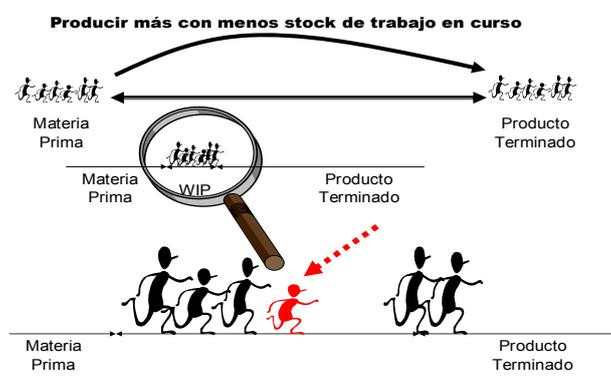


Figura 1. Papel de los cuellos de botella en los sistemas productivos

Según los principios de la teoría de las restricciones, la capacidad productiva de una organización viene fijada por sus cuellos de botella, ya que influyen directamente en el flujo productivo desde su ubicación hasta el producto final. En este sentido, se puede afirmar que una hora perdida en un cuello de botella es una hora perdida por todo el proceso, mientras que una hora ganada en un recurso con holgura no tiene ninguna repercusión en la producción final. El problema reside, por tanto, en la detección y localización de los cuellos de botella en cada uno de los sistemas productivos.

Otro de los factores que introduce Goldratt en la teoría de las restricciones es la consideración de las fluctuaciones estadísticas en el comportamiento de diferentes puestos que componen el proceso de transformación en las organizaciones productivas. Estas fluctuaciones, unidas a la condición de sucesos dependientes (ya que el paso por los puestos sigue una determinada secuencia), incrementa el papel decisivo que juegan los cuellos de botella en la determinación de la capacidad productiva de una organización.

La teoría de las restricciones está siendo utilizada en procesos de análisis y mejora de múltiples y diferentes sistemas productivos. En una breve revisión literaria puede observarse que esta teoría ha sido aplicada en procesos de fabricación concretos como son productos alimenticios (Kuo, Chang y Huang, 2007) u oleoductos (Rerick, 1997) o en la gestión de proyectos (Wei, Liu y Tsai, 2002; Rand, 2000).

Sin embargo, los principios básicos que conforman la teoría de las restricciones formulada por Goldratt son también aplicables a los procesos de formación en los centros educativos. Existe, por una parte, una dependencia formal entre asignaturas: la superación de determinadas asignaturas es condición necesaria para el acceso a otras asignaturas. Pero además se da otra dependencia, que se podría catalogar de implícita: para poder comprender los conocimientos de determinadas asignaturas es necesario haber comprendido los conocimientos de asignaturas anteriormente impartidas. Finalmente también existe una tercera vinculación, de carácter temporal, ya que el tiempo de estudio de un alumno es una variable, cuyo máximo está sujeto a evidentes restricciones, que ha de ser distribuido entre las distintas asignaturas en las que está matriculado en un determinado período del curso académico.

Finalmente el carácter aleatorio en el comportamiento de los sucesos también se produce en el sistema educativo. El porcentaje de alumnos aprobados en cada asignatura varía de convocatoria a otra. El profesor que imparte una asignatura no puede asegurar, a priori, el número de alumnos que se van a presentar a examen ni cuantos de los que lo hagan lo van a superar. Por tanto, existe una cierta aleatoriedad en la respuesta y en los resultados de los alumnos ante cada convocatoria. Sin embargo, esta aleatoriedad depende de algunos factores que controla el propio sistema educativo. La complejidad de una asignatura, el diseño de su currículo y la dificultad de los ejercicios incluidos en los exámenes son variables que pueden ser modificados desde el propio sistema educativo, ya que son competencia de los profesores responsables de la formación.

3. Aplicación de la teoría de las restricciones al sistema educativo

Llegado este punto, la cuestión es cómo aplicar la teoría de las restricciones al análisis del funcionamiento académico de una escuela de ingeniería en particular o de un centro educativo en general, e incluso, una vez aplicada, qué tipo de información se puede obtener relativa a la eficiencia del trabajo realizado con los recursos disponibles en el centro. Siguiendo con la analogía propuesta, los puestos de trabajo de una determinada organización en un sistema

productivo quedan reemplazados por las asignaturas que componen el plan de estudios de una determinada titulación en un sistema educativo.

Los cuellos de botella de un centro docente serían aquellos que dificultasen en mayor medida el flujo de los alumnos a través de las diferentes etapas del sistema educativo. Son varias las posibilidades que se prestan en este punto para la detección de los cuellos de botella. Una de las opciones más atractivas es la utilización de un indicador del sistema de calidad establecido por el Consejo de Coordinación Universitaria, basado en la medida de la denominada Tasa de Eficiencia. Este indicador de eficiencia se obtiene como el cociente del número de alumnos aprobados dividido por el número de alumnos matriculados, utilizando en el cálculo del denominador un coeficiente de ponderación, que será uno si el alumno se matricula por primera vez, dos por segunda vez y tres si es por tercera o sucesivas veces.

La figura 2 incluye la fórmula de la citada tasa de Eficiencia así como los resultados obtenidos de la aplicación de esta tasa en cada de las asignaturas que componen la titulación de Ingeniero Industrial, en la especialidad Organización, en la Universidad Politécnica de Madrid durante el curso 2004/05. En el eje horizontal se sitúan las diferentes asignaturas, troncales y obligatorias, del plan de estudios, identificadas a través de sus códigos mientras que en el eje vertical indica el valor de la citada tasa.

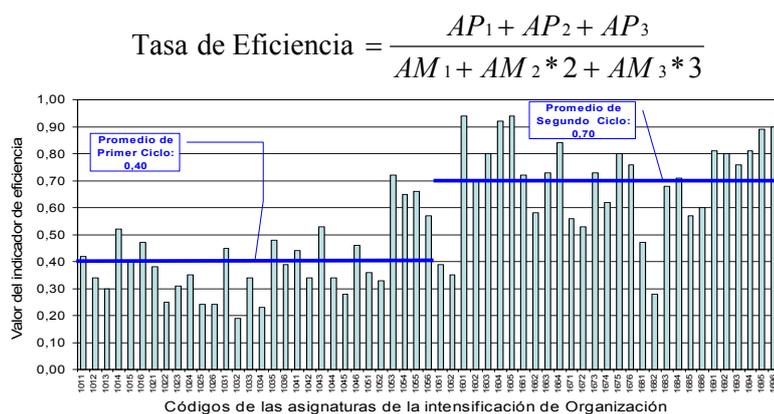


Figura 2. Tasa de Eficiencia en las asignaturas de Ingeniero Industrial especialidad Organización en la UPM

Una de las primeras observaciones es la gran diferencia existente, salvo puntuales excepciones, entre las asignaturas del primer ciclo, cuya tasa de eficiencia media ronda el valor 0,4 y las del segundo ciclo, cuyo valor es de 0,7. Esto indica la fuerte brecha existente entre los dos ciclos e invita a plantear la pregunta si esta forma de proceder es la más eficiente para conseguir los mismos resultados en la menor cantidad de tiempo.

Se puede afirmar que, desde la perspectiva del proceso de formación, cada una de estas tasas es un buen reflejo de la complejidad que encuentran los alumnos para superarlas, lo que lleva a una reiteración de matrícula hasta la superación del correspondiente examen. Parece, por tanto, razonable considerar cuellos de botella a aquellas asignaturas con menor tasa de eficiencia.

Una de las ideas que esta comunicación quiere aportar es la posibilidad de modificar al alza estas tasas de eficiencia sin perjudicar la calidad del producto final. Es decir, la hipótesis planteada es la posible existencia de formas alternativas de racionalizar los conocimientos aportados en cada asignatura de la titulación para conseguir disminuir el tiempo de

permanencia de los alumnos en el centro educativo, focalizando este proceso de racionalización en los cuellos de botella.

No se trata, por tanto, de modificar el promedio global de la tasa de eficiencia, sino modificar la distribución de esta tasa de eficiencia entre las diferentes asignaturas. En este supuesto, el alumno ha de tener los mismos conocimientos al final de su proceso formativo. Lo cuestionable es la distribución de los conocimientos impartidos a lo largo de las diferentes asignaturas que componen el currículo de cada titulación en cuestión.

Algunos autores ya han abordado el análisis de estos cuellos de botella y su influencia en la duración de los estudios. González (2006) y Riveira, Mataix y Carrasco (2006) proponen un modelo estadístico para analizar el caso de los estudios de ingeniería industrial en la especialidad de Organización en la UPM. Aunque son más de sesenta asignaturas las que componen el plan de estudios en esta titulación, el foco de atención se centra en diez asignaturas concretas, que son aquellas que, por su tasa de eficiencia y su situación en el camino crítico del proceso de formación, están condicionando decisivamente la duración de la permanencia de los alumnos en el centro. Estas diez asignaturas tienen una media de cuatro convocatorias para ser superadas. Según el citado modelo, si la media fuera de tres en estas diez asignaturas, la duración de los estudios se vería disminuida en un año. Este análisis coincide plenamente con los planteamientos de Goldratt: la capacidad de un sistema productivo viene definido por el comportamiento de sus cuellos de botella.

4. Modelo de simulación para analizar la influencia de los cuellos de botella en la duración efectiva de los estudios de ingeniería

Para explicar las consecuencias de la combinación de los sucesos dependientes y las fluctuaciones estadísticas, Goldratt propone un juego sencillo que le permite más adelante presentar una serie de estrategias para abordar el equilibrio dentro del sistema productivo.

Una variante del juego de Goldratt es el presentado a continuación y servirá, en esta comunicación, de base para la creación de un modelo de simulación que permita el análisis de diferentes escenarios que traten de representar distintas formas de afrontar el problema de la duración efectiva de los estudios de ingeniería.

El juego tiene como objetivo el paso de un conjunto de objetos o unidades a través de una serie de etapas, dando como resultado un número de unidades que pasan por todas ellas. En la variante aquí presentada se van a considerar cinco etapas encadenadas. A cada una de estas etapas se le asigna un número entero aleatorio comprendido entre 1 y 10, ambos inclusive. Este número indica las unidades que van a poder pasar a la etapa siguiente siempre y cuando la etapa anterior se las haya facilitado. En caso de pasar a la etapa siguiente menos unidades de las facilitadas por la etapa anterior, se almacenan las cantidades sobrantes para el siguiente ciclo. Con los datos de la figura 3 se pretende ejemplificar el mencionado “juego”.

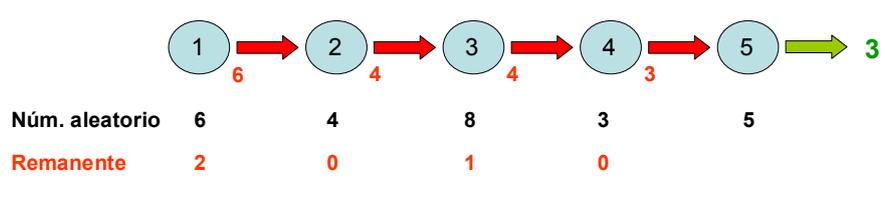


Figura 3. Ejemplo del “juego” de las cinco etapas encadenadas propuesto en esta comunicación

En la figura 3, los círculos representan cada una de las cinco etapas encadenadas, a las que se asignan sus correspondientes números enteros aleatorios entre 1 y 10. La cifra situada en la parte inferior izquierda de cada círculo indica la cantidad facilitada por cada etapa a la siguiente etapa, mientras que la fila inferior indica la parte no utilizada de esta cantidad y que quedará como remanente para el siguiente ciclo.

Utilizando el ejemplo incluido en la figura 3, el número aleatorio asignado a la primera etapa fue 6, lo que indica que dejará 6 unidades a disposición de la segunda etapa. Como el número aleatorio de la segunda etapa fue 4, esta etapa únicamente permitirá el paso de 4 unidades, lo que provoca un remanente de 2 unidades en la primera etapa. Siguiendo con esta lógica y utilizando los números aleatorios facilitados en el ejemplo, serán 3 las unidades que han pasado por las cinco etapas encadenadas en el primer ciclo. Para el siguiente ciclo, la única diferencia es que las cantidades remanentes de cada etapa se acumulan a los correspondientes números aleatorios, para así facilitar las unidades resultantes a la siguiente etapa.

El proceso se repite hasta diez ciclos. Para poder simular el juego se ha desarrollado una macro sobre una hoja de cálculo que asigne de forma aleatoria los valores numéricos a cada etapa y permita la múltiple repetición del mismo. Como resultado final de cada proceso se obtiene la suma de las cantidades que han pasado por las cinco etapas en los diez ciclos indicados. Este valor es el resultado del “juego” y objeto de análisis en la presente comunicación. Si las etapas fuesen independientes el valor esperado del resultado sería 55, ya que la media de los posibles números aleatorios es 5,5 y el proceso se repite diez ciclos. Sin embargo el efecto producido por el encadenamiento de las etapas hace disminuir este valor de manera considerable. De hecho la simulación nos permite, con el desarrollo de un número representativo de repeticiones, ver la envergadura de ese efecto.

En concreto, utilizando la macro desarrollada en EXCEL, el proceso fue repetido 200 veces, pudiendo así obtener valores representativos independientes de números aleatorios puntuales. La figura 4 muestra la distribución de los resultados obtenidos. El valor medio de los resultados finales de las 200 repeticiones fue 34,9 unidades que, como era de esperar, está lejos del valor esperado en el caso de las etapas independientes.

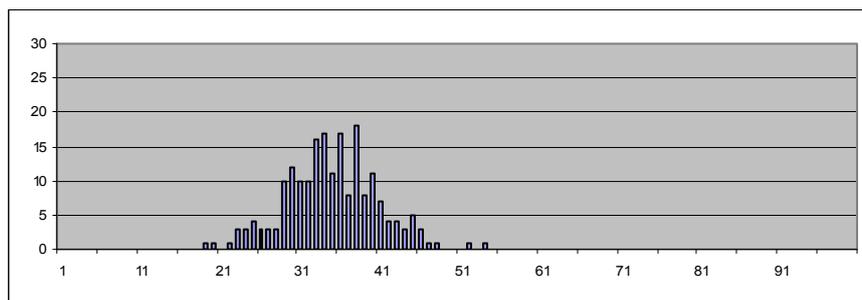


Figura 4. Distribución de los resultados obtenidos en el modelo propuesto tras 200 veces de simulación

4.1. Analogía entre el modelo y la realidad

El modelo presentado permite el análisis de diferentes escenarios previamente definidos que tengan por objeto el análisis de la influencia de los cuellos de botella en la duración efectiva de los estudios de ingeniería.

En concreto cada uno de los conceptos utilizados en el modelo desarrollado tiene analogía con la situación real. Las etapas representan las diferentes fases por las que pasan los estudiantes a

lo largo de su formación académica, como pueden ser los cursos o los cuatrimestres. El conjunto de ciclos representa la dimensión del tiempo analizado, es decir, los años de mantenimiento de determinada forma de trabajo en el centro educativo. El resultado final representa la cantidad de alumnos titulados que produce el centro educativo tras haber finalizado un ciclo completo. Las fluctuaciones, provocadas por los valores aleatorios de cada una de las etapas, representan los diferentes comportamientos de los alumnos en las distintas fases por las que tienen que pasar para completar sus estudios de ingeniería. Estas fluctuaciones van a depender, en gran medida, de la dificultad que encuentren los alumnos a la hora de enfrentarse a cada una de las mencionadas fases. Finalmente el remanente representa la acumulación de alumnos en diferentes fases que no pueden avanzar hacia fases posteriores debido a la dependencia de las etapas y a las mencionadas fluctuaciones.

Es obvio que un modelo tan simple como el citado anteriormente no va a poder incluir los múltiples aspectos que pueden considerarse a la hora de analizar la duración efectiva de los estudios de ingeniería. Pero ese no es el objetivo del modelo creado. Se trata de facilitar un modelo que permita visualizar y comparar entre sí las consecuencias de diferentes iniciativas organizativas con relación o influencia en el tiempo de permanencia de los alumnos en las escuelas de ingeniería. En este sentido, el modelo sí va a poder proporcionar alguna información de posibles consecuencias de determinados cambios en la organización docente de estos centros educativos de estudios de ingeniería.

4.2. Definición de los escenarios

Los escenarios diseñados para ser comparados en este estudio son seis y responden a diferentes aspectos de la organización docente en las escuelas de ingeniería. En concreto las diferencias entre escenarios residen en la combinación de cambios en el número de etapas y el rango de variación utilizado en la obtención de los números aleatorios, y que se corresponden con diferentes líneas de mejora en la búsqueda de mayor eficiencia en la utilización de los recursos docentes.

El escenario inicial está compuesto por cinco etapas y variación de los números aleatorios entre 1 y 10. En el segundo y sexto escenario se incrementan el número de etapas, que pasa a ser diez. Su equivalente a la situación de los estudios de ingeniería es la producida por la conversión de asignaturas anuales a cuatrimestrales, lo que modifica sustancialmente el plan de estudios. El tercer escenario modifica el rango de los números aleatorios de las dos primeras etapas, que en vez de variar entre 1 y 10 lo harán entre 1 y 5. Esto significaría aumentar la dificultad de superación de las asignaturas incluidas en los dos primeros cursos. Este mismo criterio está incluido en el cuarto escenario, pero en este caso el rango de los valores aleatorios de las dos últimas etapas oscila entre 6 y 10. Es decir, se mantiene el mismo nivel de exigencia global del primer escenario pero diferenciando dos grupos de etapas. Su situación análoga con los estudios de ingeniería puede quedar reflejada con la figura 2: un primer ciclo con tasa de eficiencia baja frente a un segundo ciclo con alta tasa de eficiencia. La comparación de los resultados con el escenario 1 en este caso no es trivial y justifica, al menos parcialmente, la existencia de este estudio. Finalmente el quinto y sexto escenario consideran para todas las etapas números aleatorios que varían entre 3 y 8. No varían, por tanto, los valores medios esperados con relación al primer escenario, pero sí la dispersión de los valores aleatorios utilizados. Tomando como referencia la figura 2, estos escenarios tratan de analizar la situación producida por el equilibrio de la tasa de eficiencia de los dos ciclos que componen los estudios de ingeniería. La diferencia entre estos dos escenarios reside en el número de etapas incluido. Mientras que en el quinto escenario se mantienen las cinco etapas iniciales, en el sexto se consideran diez, tal y como fue comentado anteriormente.

4.3. Resultados obtenidos del modelo

Para poder simular cada uno de estos escenarios se ha modificado la correspondiente macro y se han repetido en todos los casos 200 veces el proceso, obteniéndose los resultados presentados en la figura 5.

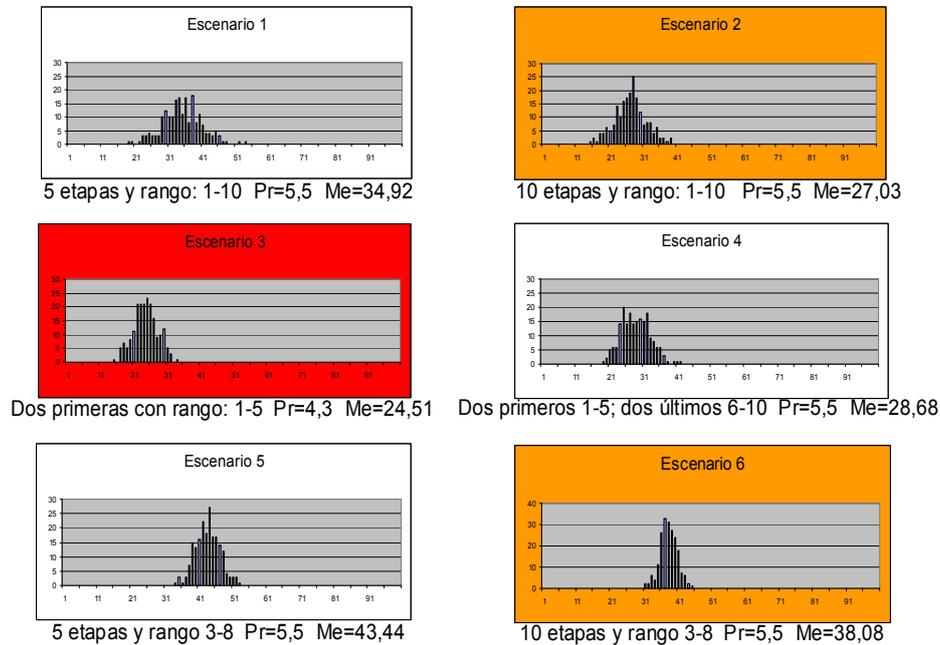


Figura 5. Distribución de los resultados obtenidos en los seis escenarios definidos

Al igual que en la figura 4 se incluyen las distribuciones obtenidas en cada uno de los escenarios, además de una referencia a sus características, el promedio de los valores esperados en función del rango de números aleatorios utilizado (Pr) y la media de los resultados finales obtenidos (Me). Esta figura destaca de forma sombreada los escenarios que consideran un mayor número de etapas, que concretamente son los escenarios 2 y 6. Con diferente tono la misma figura destaca el tercer escenario, ya que es el único que ha modificado el valor promedio global de los rangos de números aleatorios.

Dentro de la interpretación de los resultados obtenidos existen dos datos de gran importancia comparativa. El primero hace referencia a la media de los resultados obtenidos por cada uno de los escenarios y el segundo a la forma de la distribución obtenida, es decir, a la dispersión de la misma.

El aumento de etapas reduce, en todos los casos, el resultado final frente a sus equivalentes escenarios de referencia. Puede observarse esta situación entre los dos primeros escenarios por una parte y los dos últimos por otra parte. De la misma forma la influencia de la disminución de los valores aleatorios es tremendamente significativa en los resultados finales, a los que reduce de forma evidente. Esto es fácilmente observable con los resultados obtenidos en los escenarios 3 y 4. Además esta influencia se produce independientemente de las etapas en las que hayan reducido los valores de los números aleatorios. Aunque no se muestren en este documento los resultados de haber incluido el rango de números aleatorios entre 1 y 5 en las dos últimas etapas, los resultados son muy similares a los obtenidos en el escenario 3. La explicación de esta situación coincide plenamente con la teoría de las restricciones de Goldratt relativa a los sistemas productivos. La disminución de los valores de

números aleatorios en determinadas etapas significa la creación de cuellos de botella en dichas etapas, que no va poder ser compensado con el aumento de los valores en otras etapas.

Los resultados más positivos provienen de los escenarios 5 y 6, es decir, aquellos que equilibran las diferentes etapas al disminuir la amplitud del rango de números aleatorios utilizado. Su equivalente al sistema productivo es el equilibrio de las cadenas de montaje o lo que se entiende coloquialmente como “fábrica equilibrada”. Manteniendo los mismos valores promedios esperados, lo que significa mantener el mismo nivel global de exigencia, la modificación proviene del equilibrio entre las diferentes etapas. En el caso ya comentado de la figura 2 el equilibrio vendría por un rediseño de las asignaturas del primer y segundo ciclo que tenga como efecto la homogeneidad de la tasa de eficiencia.

La figura 6 representa de forma gráfica las frecuencias acumuladas de las distribuciones obtenidas en cada uno de los escenarios estudiados. La pendiente de cada una de las curvas representadas en esta figura indica la dispersión de los valores obtenidos en cada uno de los escenarios. Es decir, mayor pendiente indica menor dispersión, lo que facilita la predicción de los resultados obtenidos. Como puede observarse es el sexto escenario el obtenido con resultados más previsibles.

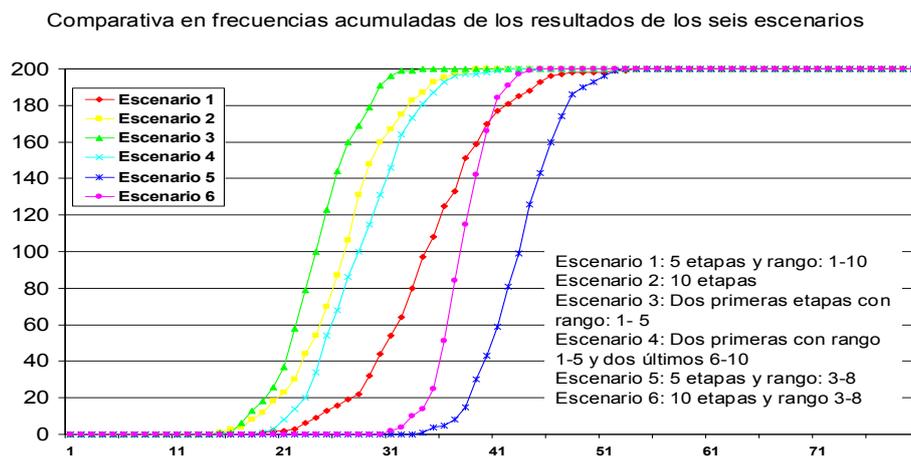


Figura 6. Frecuencias acumuladas de las distribuciones obtenidas en los seis escenarios analizados

5. Conclusiones

Desde este documento se ha pretendido facilitar una herramienta cuantitativa que ayude en el análisis de los factores influyentes en la duración efectiva de los estudios de ingeniería, utilizando los principios básicos planteados por Goldratt en la teoría de las restricciones y la simulación como forma de acercamiento a la realidad.

Ante la duda razonable relativa al nivel de eficiencia de utilización de los recursos existentes en las escuelas de ingeniería así como de las formas de organización a través de los planes docentes, parece lógico pensar en iniciar líneas de mejora. Uno de los posibles objetivos de estas líneas de mejora está relacionado con la reducción del tiempo necesario para la formación de un ingeniero, que puede ser a su vez indicar del nivel de eficiencia.

Con la idea de facilitar la reflexión de las posibles consecuencias de diferentes cambios organizativos en las escuelas de ingeniería, este documento ha comparado, con un sencillo modelo de simulación, los correspondientes escenarios representativos a cada uno de estos

cambios y su influencia en la duración real de estos estudios superiores. Entre los escenarios más atractivos, tanto a nivel de resultados como de previsión de los mismos, se encuentran aquellas soluciones que buscan equilibrar las tasas de eficiencia de las diferentes asignaturas que integran los planes de estudio. Estas soluciones no renunciarían, en ningún momento, a los niveles de exigencias establecidos durante la formación, sino únicamente demandarían un rediseño de las asignaturas de cara a equilibrar sus niveles de exigencia. Por otra parte, este tipo de soluciones son perfectamente abordables desde las escuelas de ingeniería, necesitándose únicamente un alto grado de coordinación y comunicación.

Por otra parte, parece obvio que la comparación de los resultados aquí presentados con informaciones obtenidas de otros modelos e incluso con informaciones de tipo cualitativo procedentes de diferentes fuentes permitiría consolidar o replantear las conclusiones obtenidas, así como el análisis de nuevos escenarios resultado de determinadas reflexiones. En este sentido, el inicio de experiencias piloto podría contrastar definitivamente las ideas defendidas en este documento.

Entre las posibles líneas de ampliación de este trabajo estaría el desarrollo de modelos más complejos para traten de aproximarse a la realidad y facilitar con ello un mayor nivel de simulación de los escenarios establecidos. En este caso será necesario, sin lugar a dudas, la utilización de herramientas más potentes de simulación.

Referencias

Ballou, R. (2004) *Business Logistics/ Supply Management: Planning, Organizing, and controlling the Supply Chain*. Prentice Hall.

Goldratt, E. y Cox, J. (1984) *The Goal. A process of on-going improvement*. Ediciones TAULAR, S.A.

González, L. (2006) *Contribución a la adaptación de los Estudios de Ingeniería de Organización al espacio europeo de Educación Superior*. Proyecto Fin de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid.

Hans, A (1987) *Planning Strategies that work*. Oxford University Press.

Kuo, T.; Chang, S.; Huang, S. (2007) "Due-date performance improvement using TOC's aggregated time buffer method at a wafer fabrication factory". *Expert Systems with Applications*. In Press, Corrected Proof. Available online 28 December 2007.

Rand, G. (2000). "Critical chain: the theory of constraints applied to project management". *International Journal of Project Management*, 18(3):173-177.

Rerick, R. (1997). "Fab 6 pipeline constraint management implementation at Harris Semiconductor Corp". *Microelectronics Journal*, 28(2):8-9.

Riveira, V.; Mataix, C.; Carrasco, J. (2006). "Análisis de los factores que influyen en la duración efectiva de los estudios de ingeniería industrial". *X Congreso de Ingeniería de Organización*. Valencia.

Wei, C.; Liu, P.; Tsai, Y. (2002). "Resource-constrained project management using enhanced theory of constraint". *International Journal of Project Management*, 20(7):561-567.