

## **Características de la secuenciación de los automóviles en las plantas de los fabricantes localizados en España**

**Álvaro García-Sánchez, Miguel Ortega-Mier, Eva Ponce-Cueto**

Dpto. de Ingeniería de Organización, Administración de Empresas y Estadística. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid. Calle José Gutiérrez Abascal, 2. 28010. Madrid. alvaro.garcia@upm.es, miguel.ortega.mier@upm.es, eva.ponce@upm.es

### **Resumen**

*El sector de la automoción es de gran importancia en España, tanto por el volumen de actividad que representa como por el hecho de que constituye un sector de referencia para muchos otros. Los fabricantes de automóviles localizados en España se enfrentan a diferentes retos, algunos de los cuales están relacionados con la eficacia y la eficiencia de sus procesos de producción. En este sentido, la secuenciación de los modelos que se producen en las líneas de montaje es uno de los factores relevantes. Se trata de un problema que se debe resolver con frecuencia y de cuyo resultado depende la productividad de la planta. En este trabajo se presentan los resultados de un estudio en el que se caracteriza la forma en la que realizan la secuenciación los fabricantes españoles.*

**Palabras clave:** Secuenciación, automóviles, línea de montaje, encuesta

### **1. Introducción**

El objetivo principal del estudio que se presenta en esta comunicación era caracterizar la situación de la secuenciación en las principales plantas de automóviles localizadas en España. El sector automoción se encuentra en España en un período de transición debido al cambio de localización de las fábricas que están llevando a cabo algunos de los fabricantes que disponen de plantas localizadas en España.

Debido a la deslocalización, las empresas exigen un mayor esfuerzo a las fábricas para aumentar su productividad (ANFAC, 2004). Algunos de ellos relacionados de manera directa con la secuenciación:

- Flexibilización de los procesos productivos.
- Reducción de los tiempos de fabricación.
- Demanda de configuraciones individualizadas.

Entre los factores relacionados con los aspectos mencionados se encuentra la secuenciación, de manera que en tanto esta se realice de forma más eficaz mayores serán la flexibilidad, la reducción de tiempos y la capacidad para atender demandas personalizadas de los clientes. Este problema ha recibido atención desde hace tiempo (Monden, 1983; Miltenburg, 1989) y

continúa recibéndola (Solnon, 2007). Igualmente, en España, se ha estudiado el problema en plantas ubicadas en España (Bautista y Pereira, 2003).

Este estudio señala los aspectos técnicos y organizativos más relevantes en este campo, los problemas más comunes en dichas fábricas en torno a la secuenciación y los métodos empleados para afrontarlos.

## **2. Objetivos y metodología del estudio**

### **2.1. Objetivos**

Los objetivos perseguidos con la realización del estudio fueron dos:

- Identificar prácticas comunes relativas a la secuenciación en España
- Identificar los factores que condicionan las características de los problemas de secuenciación y las formas de resolverlo.

Los temas objeto de estudio en los fabricantes encuestados se dividen en dos grupos: los que hacen referencia a la organización de la planta y aquellos que se refieren a las características técnicas del proceso productivo. El en apartado 3 se presentan las respuestas a las preguntas más importantes relativas a estos dos aspectos.

### **2.2. Metodología**

Para conseguir cumplir con los objetivos anteriores, la metodología seleccionada consistió en lo siguiente:

- La toma de contacto y concertación de entrevistas con los fabricantes con plantas localizadas en España
- Entrevistas personales con algunos de los responsables de la secuenciación de dichas plantas con el objetivo elaborar un cuestionario
- Elaboración del cuestionario a partir de las entrevistas realizadas.
- Envío, recepción y análisis de las respuestas a los cuestionarios enviados.

La encuesta fue respondida por cinco de las plantas de fabricación de las diez empresas fabricantes de coches existentes en España. Conviene señalar que, para preservar la identidad de plantas y de los fabricantes encuestados, se les nombrará fabricante A, B, C, D, E.

## **3. Resultados**

En este apartado se presentan los resultados más notables del estudio. Para ofrecer estos resultados, se ofrece como epígrafe, generalmente la propia pregunta, y luego se comentan las respuestas de los responsables de las empresas correspondientes.

Por motivos de confidencialidad no se hace referencia a los fabricantes por su nombre si como A, B, etc.

### **3.1. Datos referentes a la fábrica**

Entre las plantas participantes en la encuesta existen grandes variaciones en cuanto al número de vehículos fabricados al día, que van de los 460 vehículos a los 2050, y en el número de modelos fabricados, que oscila entre 2 y 8 modelos. Esta producción se lleva a cabo en la mayoría de los casos en tres turnos de trabajo, aunque existen casos con dos e incluso un solo turno.

Los tiempos de ciclo de las líneas de montaje varían de 1,01 min. a 3,76 min., siendo lo más frecuente tiempos de ciclo entre 1 y 2 minutos.

Todos los responsables encuestados señalan la existencia de un pulmón previo a la línea de montaje con una capacidad que oscila entre los 140 y los 550 vehículos y que depende fundamentalmente del tamaño de la planta y de su capacidad de fabricación.

Solamente uno de los fabricantes encuestados indica que entre los modelos u opciones de cada modelo que fabrica no existen grandes diferencias. El resto señala que las diferencias son muy significativas, y afectan a su secuenciación.

### **3.2. Departamento encargado de la secuenciación y sus funciones**

Los departamentos encargados de la secuenciación poseen diferentes denominaciones, pero todos ellos pertenecen a Logística o Materiales.

En el fabricante A es un departamento de Logística, “Programación y Control de la Producción”. Este departamento planifica los pedidos de comercial de forma semanal, diaria y por turnos, gestionando la secuencia de carrocerías que se tienen que fabricar en chapistería, la secuencia de carrocerías, asignando el color que se tienen que pintar y la secuencia de coches que hay que fabricar en montaje final, siguiendo como objetivo el programa de fabricación y apoyándose en un sistema informático de fabricación, que realiza la secuencia para cada una de las tres áreas.

En el fabricante B, el Departamento de Materiales es responsable de la supervisión general de los flujos logísticos de materiales. Del mismo modo, es responsable de garantizar que las órdenes de fabricación en secuencia se transmitan correctamente y a su debido tiempo y de hacer seguimiento a los planes de acción que planteen los proveedores en caso de fallos en el suministro.

En el fabricante C, el departamento responsable es el Departamento de Planificación de Materiales y Logística. Sus principales funciones son: seguir y transportar todos los componentes del coche, desde el proveedor hasta su llegada a factoría; recepcionar de piezas que llegan a factoría y envío de piezas; aprovisionar la línea de montaje de todos los componentes; establecer los programas de vehículos a fabricar y controlarlos a lo largo de todo el proceso de fabricación; realizar la mezcla de coches para la línea de montaje final de acuerdo con las restricciones y capacidades de la planta; solicitar piezas en secuencia a los proveedores instalados en el parque industrial mediante sus sistemas de información; diseñar los medios de transporte de piezas dentro de factoría, embalajes y elementos para ubicar las piezas en la línea.

En el fabricante D, el Departamento de Logística de Producción y Pilotaje es el responsable y realiza las siguientes funciones: antes de entrada en producción: planificar los pedidos por volúmenes según el programa de ventas anual por meses para garantizar un reparto

homogéneo de trabajo en las líneas productivas todos los días laborables; durante la producción: asegurar el cumplimiento de fechas adquirido con el cliente, pilotaje y gestión de la producción.

Por último, en el fabricante E, el encargado es el Departamento de Logística y tiene como funciones: asegurar que la frecuencia real coincide con la prevista, que se había ya generado con las restricciones organizativas necesarias; y hacer frente a los errores que pudieran aparecer.

Las funciones realizadas por estos departamentos varían significativamente de un fabricante a otro, ya que en algunos casos tienen asignadas un mayor número de tareas.

### **3.3. Parámetros críticos a la hora de realizar la secuenciación**

Los parámetros señalados como críticos, ordenados de mayor a menor según el número de fabricantes que los señala como críticos, son:

- N° de modelos que se fabrican y n° de vehículos en el pulmón previo a la línea de montaje final, ambos parámetros son identificados por 5 fabricantes.
- Diferencias entre modelos o distintas opciones de cada modelo. Señalado por 4 fabricantes.
- N° de coches/motores fabricados al día, turnos, tiempo de ciclo, señalados por 2 de los fabricantes encuestados.
- Otros: sistemas informáticos y de comunicaciones, muelles de descarga y proveedores, son señalados por un fabricante.

### **3.4. Objetivo del algoritmo de secuenciación empleado**

El fabricante A tiene como objetivo, a nivel general, nivelar el consumo de piezas y, a nivel local, optimizar los tiempos de fabricación, secuenciando los criterios críticos de los coches en los diferentes puntos de secuenciación. En este caso los criterios no son estables sino que van cambiando en función de las exigencias del mercado.

El fabricante B señala que se respetan del mismo modo los requerimientos de mano de obra que la planta tiene asignados para cada una de las operaciones y las limitaciones técnicas de las instalaciones. No obstante, en caso de falta de carrocerías disponibles en el pulmón, prevalece el criterio de mantener la producción horaria incluso violando las premisas anteriores.

Para el fabricante C el objetivo es el principal objetivo es equilibrar los tiempos del proceso, realizando una mezcla adecuada para que la carga de trabajo en cada estación del proceso de montaje no sobrepase lo permitido. Secuencia teniendo en cuenta 55 criterios diferentes, que son principalmente relativos a elementos que tienen una mayor complejidad, dificultad y, en consecuencia, precisan de un mayor tiempo de montaje.

En el fabricante D, el objetivo perseguido es equilibrar los tiempos de proceso mediante la secuenciación por criterios.

El fabricante E indica que su objetivo es permitir la máxima diversidad al menor coste.

### **3.5. Técnicas empleadas**

El fabricante A secuencia por condiciones de lanzamiento, donde cada condición tiene un parámetro de secuenciación. El algoritmo de secuenciación en montaje final se realiza mediante un método exacto y tiene como prioridades: parámetros de secuenciación para cada condición de lanzamiento; orden de la semana más antigua; orden con marca cliente; orden con el día de la semana más antiguo.

Los fabricantes B, E utilizan métodos exactos. El fabricante D emplea heurísticos para resolver la secuenciación.

### **3.6. Puntos del proceso productivo donde se secuencia o resecuencia**

En la planta del fabricante A se secuencia en los tres puntos del proceso productivo con diferentes criterios: en chapistería se secuencian tipos de carrocería; en pintura se secuencia con el objetivo de obtener lotes de color, intentando establecer un equilibrio entre una secuencia con el mayor número de carrocerías del mismo color y cumplir el programa semanal de cantidad de coches por colores; en montaje final se tienen en cuenta los modelos de cada una de las líneas de fabricación, secuenciando para cada una de ellas los criterios de selección.

El fabricante C y el B secuencian en montaje final. El fabricante D secuencia en montaje bruto y resecuencia en montaje final. El fabricante E secuencia en montaje bruto.

### **3.7. Se mantiene la secuencia establecida. En caso negativo, ¿por qué no?**

En ningún caso se mantiene la secuencia establecida. En el fabricante A no se mantiene porque se secuencia en cada área con criterios diferentes. Ese tipo de secuenciación flexible les permite minimizar las incidencias por averías, que se producen en el proceso productivo.

En el fabricante B no se mantiene la secuencia porque: existen almacenes intermedios en el proceso de acceso aleatorio; hay líneas que están desdobladas; y existen o pueden existir problemas de disponibilidad de material o de calidad que provoquen retenciones de pedidos en el proceso.

El fabricante C indica que para ellos no es necesario ya que hasta la salida de la planta de pinturas sólo se fabrican carrocerías pintadas que después se almacenan en un pulmón previo a la línea de montaje.

En el fabricante D, el proceso productivo lo impide (pulmones hornos de secado, averías de líneas dobles, etc.)

El fabricante E señala que no se mantiene debido a la existencia de dos flujos en la línea de pintura.

### **3.8. Labor de seguimiento de las nuevas técnicas de secuenciación**

Tres de los fabricantes encuestados afirma realizar labores de seguimiento de las nuevas técnicas y se hallan inmersos en procesos de mejora continua.

Los otros dos no realizan ninguna labor en este sentido, aunque no especifican si el motivo de no realizarla es que se encuentran suficientemente satisfechos con su método.

### 3.9. Funcionamiento general del método de secuenciación en su planta

El fabricante A comenta que los pedidos u órdenes lanzados en chapistería, están disponibles para el algoritmo de secuenciación de pintura y montaje.

El programa que realiza la secuencia en la fase de pintura tiene disponibles aproximadamente 1.500 órdenes, que son las carrocerías que hay en giro, desde el lanzamiento en chapistería hasta el punto de secuenciación de pintura, con la única limitación del tipo de carrocería. Un tipo de carrocería dispone de un abanico de órdenes que le permite escoger la orden con el color mas adecuado para realizar el lote de color, esta peculiaridad permite poder seguir fabricando aunque no se pueda pintar un color concreto.

El programa que realiza la secuencia en la fase de montaje final, tiene disponibles aproximadamente 2.400 órdenes para tipo de carrocería/color, esta peculiaridad permite poder seguir produciendo, aunque falte algún material por problemas en el transporte, también permite poder adelantar el proceso de fabricación de una orden que sea urgente o se ha tenido que repetir por chatarreo.

El fabricante B comenta las cuatro fases que componen el proceso de secuenciación en su planta:

- *Secuenciado interno en instalaciones del fabricante por parte del proveedor de la pieza.* En este caso es responsabilidad del proveedor la descarga, manipulación, almacenamiento, embalaje, conservación y entrega del material en el punto de montaje, incluyendo el transporte a línea por medio de tractores y/ó carros convencionales.
- *Secuenciado interno en instalaciones del fabricante por parte del proveedor de servicio.* En este caso, el proveedor de servicio puede ser responsable (o no serlo, dependiendo del contrato), de la descarga, manipulación, almacenamiento, conservación y entrega del material en el punto de montaje, incluyendo el transporte a línea por medio de tractores y/ó carros convencionales.
- *Secuenciado externo fuera de las instalaciones por parte del proveedor de la pieza.* El proveedor realiza la operación de secuenciado en sus propias instalaciones, siendo su responsabilidad las condiciones de manipulación, almacenamiento, embalaje, conservación y entrega del material, incluyendo el transporte hasta el punto de montaje.
- *Montaje y/o secuenciado externo por parte de proveedor de servicio u operador logístico.* El fabricante recibe el material en las instalaciones del proveedor de servicio u operador logístico para la secuenciación de suministro y en algunos casos la realización de pequeños premontajes.

El fabricante C comenta que se secuencia mediante una aplicación informática que utiliza un algoritmo con 3 criterios, por orden decreciente de importancia, que son los siguientes:

- Restricciones de montaje en la planta
- Regularidad o nivelación de las opciones más importantes

- Antigüedad de la orden

El fabricante D divide en dos fases el funcionamiento:

- Secuenciación en montaje bruto: distribución por medias de volúmenes de los principales criterios.
- Secuenciación en montaje final: elección en el pulmón previo a montaje final del mejor vehículo que ajusta los porcentajes reales de los criterios con los teóricos.

### **3.10. Herramientas informáticas**

Todos los encuestados afirman emplear un software específico para realizar la secuenciación.

La diferencia estriba en que 3 de los 5 fabricantes encuestados lo han desarrollado internamente, mientras que el resto lo ha subcontratado a una empresa externa.

Por otra parte, dos de las plantas emplean el mismo software que se emplea en otras plantas del grupo, mientras que las otras tres poseen un software de uso exclusivo.

### **3.11. Medidas de contención empleadas ante secuencias no satisfactorias**

Las medidas empleadas varían según el fabricante.

En el fabricante B si por circunstancias excepcionales, para un vehículo secuenciado no hay material disponible, éste debe ser retirado del proceso y reintroducido posteriormente.

En el fabricante C, la aplicación dispone de un informe mediante el cual se puede realizar seguimiento de cumplimiento. Cuando, por causas inevitables, se debe incumplir alguna restricción se debe avisar con 3 horas de antelación a los responsables de producción para que tomen las medidas adecuadas.

En el fabricante D se emplean refuerzos de secuencia: operarios cuyo trabajo consiste en reforzar aquellas líneas o puestos que se saturan cuando se producen secuencias no satisfactorias.

El fabricante E utiliza un sistema de alertas desplegadas que le permiten hacer frente a las crisis.

### **3.12. Punto del proceso productivo donde encuentran mayores dificultades a la hora de secuenciar**

- Montaje final. Tres fabricantes señalan montaje final.
- Pintura. Dos de los encuestados señalan esta fase

### **3.13. ¿Es factible mejorar el sistema de secuenciación?**

En todos los casos se señala que podrían realizarse pequeñas mejoras que normalmente están contempladas en los proyectos de mejora continua llevados a cabo por la compañía.

En el fabricante A señalan que este momento se está estudiando la viabilidad del proceso X. Al mismo tiempo estudian la posibilidad de incorporar un módulo de secuenciación mediante heurísticos en Chapistería.

En el fabricante B indican que las oportunidades de mejora en las condiciones actuales son muy limitadas, y que de haberlas su puesta en marcha podría suponer un importante factor desestabilizador. No obstante afirman trabajar en sistemas de información que permitan estabilizar la secuencia en todo el proceso modificando completamente los algoritmos de trabajo.

Los responsables del fabricante C señalan que actualmente su nivel de cumplimiento es del 96%, cifra que se considera muy satisfactoria. No existen proyectos exclusivos sino que se mejora de forma continua.

En el fabricante D se encuentran actualmente en un proyecto de mejora de secuenciación, y piensan que mejorará el funcionamiento actual.

### **3.14. ¿Afecta la secuenciación a otros aspectos diferentes al puramente productivo en su planta?**

En varios casos se indica que afecta a la logística y a los envíos que han de realizar los proveedores.

En el fabricante A, afecta dentro de la logística al departamento de distribución de coches, este departamento necesita información para preparar los medios de distribución de coches por camión, tren o barco.

En el fabricante B se señala que la secuenciación representa un coste económico dentro del departamento de Materiales, sin que represente valor añadido en la cadena logística. Además debe existir un estudio económico favorable liderado por Finanzas para toda familia de piezas que se solicite secuenciar.

En el fabricante C afecta principalmente al envío de piezas en secuencia desde proveedores externos a la factoría.

Los responsables encuestados del fabricante D indican que la secuenciación no afecta a aspectos diferentes al puramente productivo en su planta.

### **3.15. Localización de los proveedores y número de proveedores “syncro”**

Existen varias posibilidades de localización. En el caso del fabricante A, se encuentran dentro del recinto de la fábrica o en un radio de un kilómetro alrededor de la misma. En los fabricantes B y E, se encuentran a una distancia máxima de 40km En el fabricante C, se encuentran fuera del recinto de la factoría, en un parque industrial situado a unos 800m. de distancia. El resto en un radio de 15km. En el fabricante D se encuentran en el parque de proveedores dentro del límite de la fábrica. Las respuestas recibidas indican que este número oscila entre 5 y 10 proveedores *syncro*.

### **3.16. ¿Qué componentes o productos entregan estos proveedores?**

Todos los fabricantes señalan que la gama de productos suministrados es muy amplia y que prácticamente todos van destinados a la fase de Montaje Final.



### **3.17. ¿Qué productos de los suministrados por los proveedores son críticos a la hora de realizar la secuenciación?**

Tres de los encuestados marcan todos los productos como críticos ya que sin ellos no puede completarse la producción, mientras que los dos restantes sólo consideran críticos de un 5% a un 20% de los productos.

### **3.18. ¿De qué forma, cuándo y con qué frecuencia se le envía la información relativa a la secuencia a los proveedores?**

La información suele enviarse *on-line* o por cada vehículo secuenciado.

En el fabricante A la secuencia se envía *on-line*, cuando la carrocería pasa por un punto de captación, y se envía un telegrama por cada coche, definiendo la línea de fabricación y el número de secuencia.

En el fabricante B se transmite *on-line* por sistema JIT una vez que se liberan las carrocerías a montaje final. Con anterioridad se envía vía EDI (*Electronic Data Interchange*) a través del sistema de gestión de materiales, la planificación del corto plazo (10 días siguientes) y medio/largo plazo (hasta 40 semanas). Esta información es a nivel de número de piezas y los proveedores han de hacer uso de ella como lista de demanda para sus proveedores de nivel 2.

En el fabricante D se envía la información cada vez que se secuencia un vehículo.

Por último, en el fabricante E se realiza el envío de forma diaria a través del sistema informático.

### **3.19. De qué manera se suministran esos productos**

En el fabricante A, el suministro de los proveedores internos de fábrica se realiza a través de electro vía ordenados por número de secuencia, y el exterior por camión y por tractoras dentro de los talleres, identificados con número de secuencia en la etiqueta del producto.

En el caso del fabricante B, se suministra de dos maneras: aérea, por túneles con raíles y terrestres con carretillas debidamente diseñadas.

En el fabricante D los suministros se realizan por medio de carretillas, cajas y contenedores secuenciados.

Finalmente, en el caso del fabricante E, los suministros se producen por embalajes específicos o por medios especiales.

### **3.20. Conoce que métodos emplean sus proveedores para responder a la secuencia**

En el fabricante A conocen los métodos de sus proveedores. Los proveedores tienen componentes comunes semielaborados, que terminan de fabricar con las características del coche, cuando reciben la secuencia, y tienen un tiempo pactado para la entrega en el tacto que se monta.

En el fabricante C se sabe que cada uno de los proveedores dispone de sistemas informáticos propios que, por un lado, reciben con antelación la base de datos del despiece por cada coche que deben fabricar a lo largo de 5 días, y por otro lado, reciben el "*late warning*" que es el

envío del nº de bastidor y la secuencia justo en el momento en el que un coche entra a la línea de montaje. Ese nº de bastidor lo cruzan con los datos recibidos y, automáticamente, su sistema les dice la pieza que deben enviar por cada coche.

En el resto de fabricantes conocen los métodos utilizados por sus proveedores pero no explica su funcionamiento.

### **3.21. Contrato con los proveedores y penalizaciones**

Normalmente se trata de contratos individuales con una vigencia vinculada al modelo en producción, e incluyen en todos los casos penalizaciones por defectos de servicio, si tras una investigación se considera responsabilidad del proveedor.

## **4. Conclusiones**

En esta comunicación se han presentado los resultados obtenidos tras la realización de un conjunto de encuestas a diferentes fabricantes de automóviles localizadas en España.

El estudio sigue en proceso y está pendiente de ser completado a nivel nacional entrevistando al resto de fabricantes localizados en España. Igualmente, en un paso posterior, está previsto ampliar la investigación a fabricantes de automóviles localizados en el extranjero.

Como conclusión global del estudio cabe notar que el problema de secuenciación presenta particularidades distintas según los fabricantes, según las características de los modelos, las variantes que se ofrecen y la filosofía propia de la marca.

Este estudio es interesante en un doble sentido. Por un lado, permite caracterizar las particularidades referentes al problema de secuenciación y permite identificar en cada caso cuáles pueden ser las mejoras para este problema. Adicionalmente, presenta ventajas de carácter docente, ya que puede permitir ilustrar de forma más realista la presentación del problema de secuenciación, para un sector específico, en asignaturas o cursos relacionados con Producción, en los que se aborde el problema de la secuenciación.

## **Referencias**

ANFAC (2004). *Panorama y perspectivas de la industria del automóvil*.

Bautista, J.; Pereira, J. (2003). "Algoritmos de hormigas para un problema de equilibrado de líneas". *V Congreso de Ingeniería de Organización*.

Miltenburg, J. (1989). "Level schedules for mixed-model assembly lines in just-in-time production systems". *Management Science*, 35(2):192–207.

Monden, Y. (1983). *Toyota Production System*. Institute of Industrial Engineers Press, Atlanta.

Solnon, C.; Cung, V.D. ; Nguyen, A. ; Artigues, C. (2007). « The car sequencing problem : overview of state-of-art methods and industrial case-study ». *Roadef 2005 challenge problem*.