

## Evaluación de dos estrategias de aprovisionamiento coordinado mediante la dinámica de sistemas: caso de estudio en el sector de materiales de la construcción

*Evaluation of two strategies coordinated through supply system dynamics: a case study in the field of construction materials*

Gregorio Rius-Sorolla, Julien Maheut, Sofia Estellés-Miguel, Jose P. Garcia-Sabater

Dpto. de Organización de Empresas. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universitat Politècnica de Valencia. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia.

[greriuso@omp.upv.es](mailto:greriuso@omp.upv.es); [juma2@upv.es](mailto:juma2@upv.es); [soesmi@omp.upv.es](mailto:soesmi@omp.upv.es); [jpgarcia@omp.upv.es](mailto:jpgarcia@omp.upv.es)

Fecha de recepción: 13-10-2014

Fecha de aceptación: 20-02-2015

**Resumen:** En este artículo, se propone un modelo de simulación mediante la dinámica de sistemas (Vensim®) con el fin de evaluar alternativas de coordinación en la gestión del aprovisionamiento entre dos empresas del sector de la construcción. Se comparan los resultados de campo, de una solución aportada por una empresa de adhesivos, en respuesta a la solicitud de colaboración de su cliente, empresa de encimeras, para la gestión del aprovisionamiento y se evalúan los resultados a través de una simulación.

**Palabras clave:** Simulación, Caso de estudio, Dinámica de Sistemas, Coordinación.

**Abstract:** In this paper, a simulation modeling using system dynamics (Vensim®) to propose an alternative coordination solution between two companies in the construction sector. It is provided a comparison between the field results of an alternative solution provided by the adhesive company in response of his customer collaboration request, kitchen bench company, to manage the supply and the results of the simulation model.

**Keywords:** simulation, case study, collaboration, coordination

## 1. Introducción

La dinámica de sistemas se empezó a desarrollarse en 1956 en el M.I.T. y se centra en el análisis del comportamiento temporal de sistemas complejos (Forrester, 1996). Se considera como una herramienta útil para ayudar a comprender las inter-relaciones entre el flujo de información, material, dinero, personal y bienes de equipo (Forrester, 1958).

Según Martín García (2003), la dinámica de sistema tiene como objetivo básico llegar a comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema, por lo que ayuda a estudiar la realidad de la empresa. Además, su uso permite reproducir y testear diferentes alternativas de decisión, en distintos posibles escenarios, para determinar de antemano el nivel de optimización y solidez de una determinada estrategia (Terzi y Cavalieri, 2004).

La simulación mediante la dinámica de sistemas es por tanto una herramienta que permite entender los procesos complejos dinámicos, sometidos a continuos cambios y multitud de variables (Towill, 1997). Habitualmente, en la toma de decisiones directivas, las empresas no valoran estas opciones dada su complejidad (Schwaninger, 2003) aunque hay evidencias de sus logros en la industria de la alimentación o de equipos informáticos (Bagchi et al., 1998).

Por otro lado, numerosas publicaciones sobre la gestión de la Cadena de Suministro (en adelante CdS) reconocen los beneficios que ofrecen la coordinación y la colaboración en la relación comprador-vendedor (Arshinder et al., 2008; Yoon y Nof, 2010) y especialmente con la planificación y gestión integral de la CdS (Fleischmann y Meyr, 2003). Pero para reducir la complejidad se suele optar por la descomposición jerarquizada de la planificación (Beamon, 1998; Fleischmann et al., 2002), donde se busca la mejor solución

a cada área de la CdS y posteriormente se realiza una coordinación entre las distintas partes. Por lo tanto, se separa la planificación de la producción de la planificación de la distribución-transporte.

Ertogral (2008) propone un modelo de programación dinámica que integra el inventario, el transporte y los costes de preparación. Este trabajo era novedoso ya que se optimiza conjuntamente el transporte y la planificación de la producción, considerando los costes, las capacidades y las limitaciones del transporte (Ertogral, 2008; Garcia-Sabater et al., 2012; Maheut et al., 2014; Maheut y Garcia-Sabater, 2013; Mula et al., 2010).

Este trabajo aporta una evidencia de campo con los resultados obtenidos al aplicar una mejora con lotes constantes, junto con un modelo que integra tanto el almacenaje, la preparación de los pedidos como las capacidades de transporte en una gestión VMI (Vendor Managed Inventory).

El artículo se estructura como sigue: en el apartado 2, se describe la cadena de suministro analizada, apoyándose en la nomenclatura SCOR® Nivel 2 (Supply-Chain Operation Reference Model versión 10 del Supply-Chain Council (Agosto 2010)). En el apartado 3, se presentan la simulación de los dos modelos y sus resultados. Y finalmente están las conclusiones, junto con las líneas pendientes de estudio.

## 2. Descripción de la Cadena de Suministro

La cadena de suministro está constituida por un vendedor (Empresa A, proveedor), un comprador (Empresa B, cliente) y unos clientes finales (tiendas de cocinas, arquitectos, instaladores y hogares finales) como se

puede apreciar en la figura 1. Este trabajo se centrará en la relación entre la empresa A y la B. Principalmente en la planificación de la producción del vendedor, teniendo en cuenta sus costes de preparación y los del transporte.

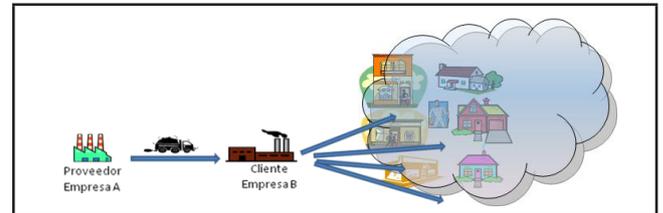


Figura 1. Representación de la cadena de suministro.

El vendedor suministra los adhesivos necesarios para el montaje de las encimeras en el cliente final. Los adhesivos son personalizados con los colores de las encimeras de la empresa B y suministrados bajo la marca de la empresa B. Los clientes finales reciben de la empresa B, tanto la encimera personalizada a sus necesidades y geometría, como el kit de montaje que incluye el adhesivo para dicha encimera.

Los adhesivos se suministran en formatos de botes de 1.5 Kg y de 250 gr, en cajas de 12 botes y 72 botes respectivamente. Las cajas se suministran paletizadas, multireferencia, con un máximo de 42 cajas por paleta. Actualmente, la empresa tiene un total de 35 referencias de los distintos colores de adhesivos, para los 49 colores de encimeras. Como todo adhesivo, el producto tiene una fecha de caducidad pero para el caso muy superior a los tiempos de estudio.

En esta CdS, los adhesivos tienen la peculiaridad de tener un bajo peso relativo tanto en dimensiones como en costes respecto de la encimera. Pero resultan imprescindibles para el montaje final.

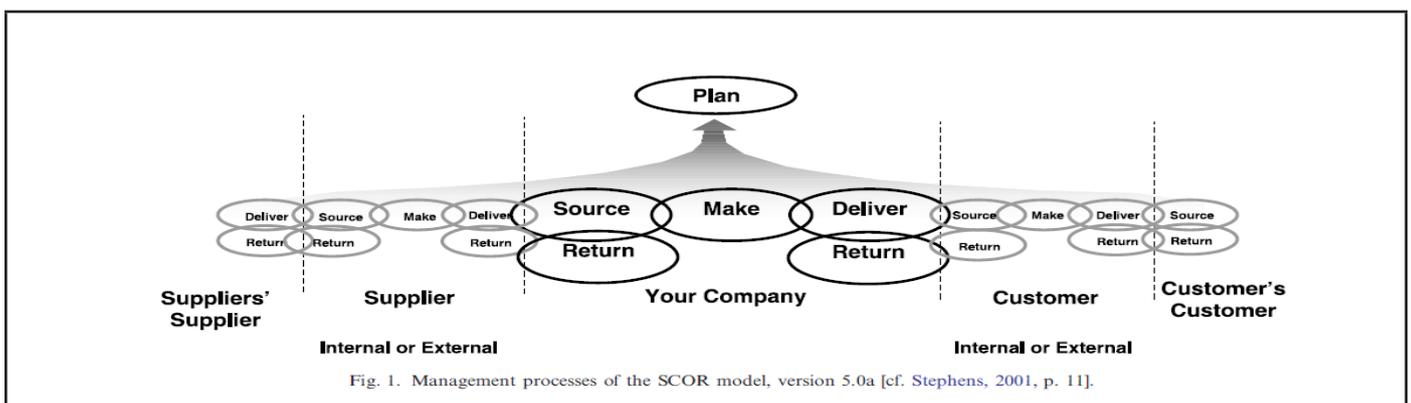


Fig. 1. Management processes of the SCOR model, version 5.0a [cf. Stephens, 2001, p. 11].

Figura 2. Modelo SCOR® representación de la cadena de suministro (Fleischmann y Meyr, 2003)

Analizando la CdS con el segundo nivel del modelo SCOR® (figura 2), la empresa A se puede definir como (S1, M1, D1, DR1), la empresa B respecto de este producto (SR1, S1, D1), pero con respecto a las encimeras (S1, M2, D2). Las dos empresas están en el este de España, separadas por una distancia de aproximadamente 500 km. Los clientes finales son empresas nacionales. La representación gráfica de la CdS con la codificación SCOR®, se puede observar en la figura 3.

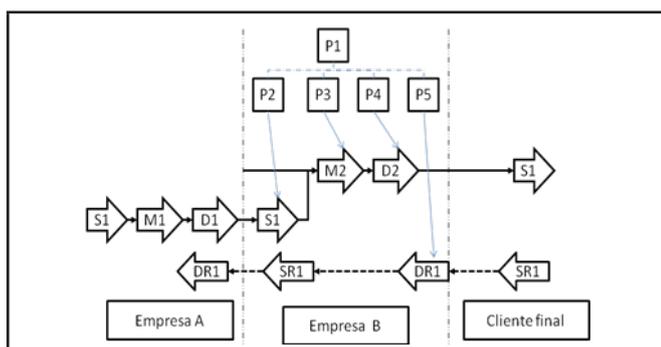


Figura 3. Representación de la CdS con el modelado SCOR® segundo nivel.

La empresa A utiliza en exclusividad un camión con capacidad máxima de 16 paletas para el envío de productos. Hace unos años, la empresa A realizó un ejercicio de externalización del transporte donde antiguos conductores de la empresa pudieron continuar realizando el servicio y al mismo tiempo podían ofrecer transportes a otras empresas. Por lo tanto, se tiende a continuar contratando dicho servicio con este transportista y camión.

El proceso de fabricación de la empresa A consta de una serie de procesadores o mezcladores y una línea de dosificación o envasado. Cada uno de los procesadores cuenta con una capacidad diaria máxima disponible. Los procesadores pueden utilizarse en cantidades inferiores a su capacidad máxima, pero la empresa tiende a utilizarlos en su capacidad máxima. Cada vez que se lanza una mezcla hay unos costes previos de limpieza, que varían en función de la afinidad entre el color previo y el programado. Cada unidad de procesamiento tiene unos costes fijos altos.

Recientemente la empresa B ha solicitado a la empresa A que gestione directamente el reaprovisionamiento de su stock de adhesivos y para ello le facilitará diariamente la información de las salidas del stock. La empresa A deberá fijar las cantidades y referencias de cada envío, notificándolo a la empresa B para su gestión de pagos. La empresa A debe velar para que no haya roturas de stock ni sobre stocks. Para ello, la empresa B solicitó un análisis mediante simulación, para observar la evolución de su stock en función de

las distintas propuestas planteadas por la empresa A.

### 3. Modelo de Simulación

Por una parte, la empresa A propuso el establecimiento de tamaños de lotes “EOQ (Economic Order Quantity)” y puntos de pedido para cada referencia. Para sus cálculos, la empresa partió de una aproximación en la gestión de stocks con demanda independiente con el concepto de Lote Económico de Pedido (Wilson, 1934). Para los distintos parámetros de dicha formulación se establecieron una serie de valores fijos. El coste de lanzamiento con el valor de 400€/kg fijo para todas las referencias y el coste de almacenamiento de 0.79 €/kg año. En realidad se aplicó la fórmula [1], donde  $k$  constante de valor arbitrario (en este caso se ha utilizado el valor de 32) y  $d$  demanda prevista (en este caso se entendió que era equivalente a la pasada).

$$Q = k * \sqrt{d} \quad [1]$$

Finalmente los resultados fueron redondeados a los lotes de procesamiento más cercanos disponibles. Los lotes de procesamiento hacen referencia a las capacidades máximas de cada línea de mezclado. (Entendemos que si son los lotes económicos no deberían redondearse a los lotes de las unidades de procesamiento pero queremos aportar fielmente la visión de la empresa)

Por otro lado, respecto el punto de pedido, la empresa negoció un incremento del 15%, con el fin de poder rellenar los camiones. Horquilla que permite completar el camión con referencias en situación de stock cercano al punto de pedido. Fórmula que permite adelantar envíos de material y rellenar el camión.

Este método fue implantado en el año 2012 y el siguiente año se consiguió una reducción de 3 envíos año respecto de los 28 envíos del año anterior, en un momento de demanda equivalente.

Por otro lado se ha valorado que el número teórico de envíos (mono-referencia), estaría situado en 5.5 camiones/año (demanda total anual dividida por la capacidad máxima de transporte en dicho camión), por lo que entendíamos que había margen para la mejora y era necesaria una simulación para demostrarlo a la empresa.

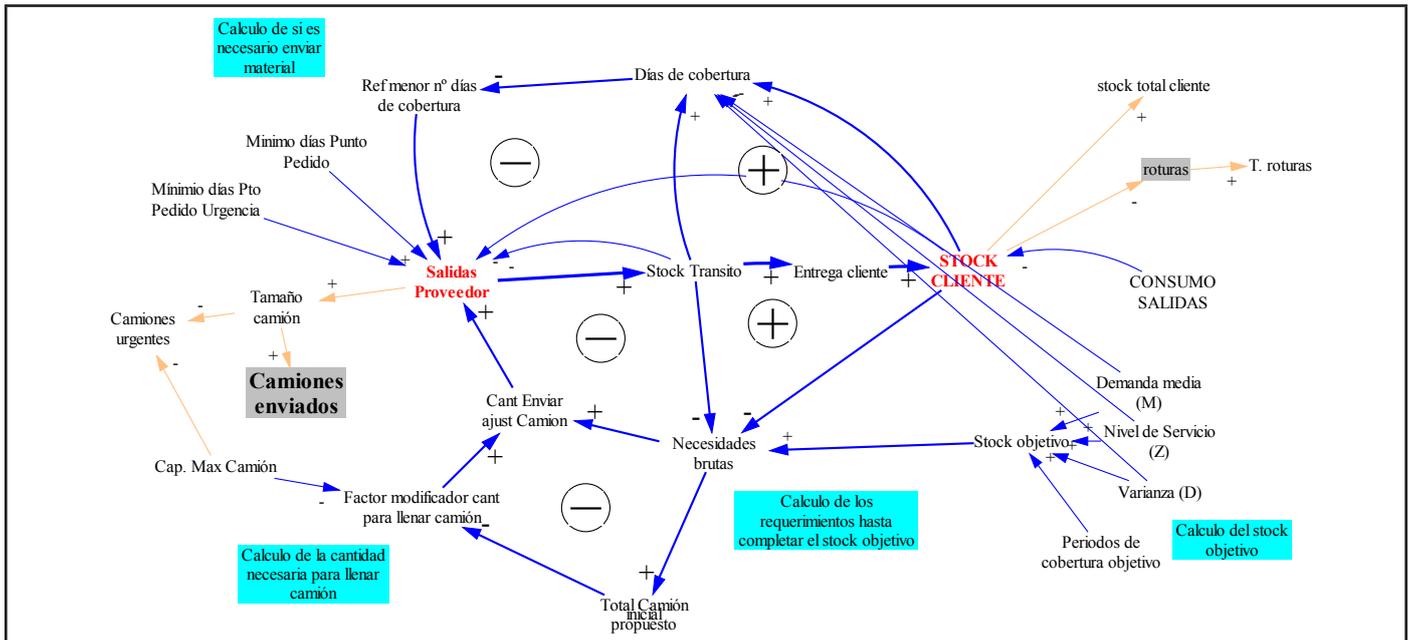


Figura 4. Diagrama Causal.

Con la intención de mejorar esta solución y como primer paso, se representa el diagrama causal de una alternativa a la decisión de la empresa A (figura 4). El planteamiento es tener un stock de “n” semanas de cada referencia en la planta de la empresa B como objetivo. Para la generación y validación tanto del diagrama causal como del diagrama de flujo de procesos se han seguido las indicaciones establecidas para la correcta simulación en dinámica de sistemas (Campuzano y Mula, 2011). Del diagrama causal de la figura 4 se puede identificar cuatro partes importantes en la toma de decisiones:

“Cálculo del Stock Objetivo”: en este apartado se realiza el cálculo del stock de punto de pedido que debe tener el cliente para cada referencia. La ecuación [2] sigue un planteamiento afín a la empresa pero sin prefiar un lote único de procesamiento para cada referencia, ya que este vendrá dado por la previsión de la demanda y la disponibilidad espacio en el camión.

$$(\text{StockObjetivo})_n = \text{Media} \times n + z \times \sigma \times n^{0.5} \quad [2]$$

“Cálculo de los requerimientos hasta completar el stock objetivo”: en esta área se compara el stock (en cliente y en tránsito) con las previsiones de necesidades de stock para los periodos que se desean tener

```
"cant+restos"[Referencia]=
  IF THEN ELSE(Cant Enviar ajust camión[Referencia]>stock no enviado[Referencia]/factor disponibilidad\
    ,cant lotificadas[
  Referencia]+stock no enviado[Referencia]/factor disponibilidad,Cant Enviar ajust camión\
  [Referencia])
  ~ UNIDAD/Week
```

Figura 5. Ajuste final en la carga del camión, en Vensim®

en cobertura.

“Cálculo de las necesidades para llenar el camión”: en este apartado se buscan las cantidades de cada producto que son necesarias para el cliente y se llena el camión en su totalidad.

En este modelo se opta por rellenar el camión, mediante la extrapolación de las cantidades a partir de las necesidades brutas, mediante un factor multiplicador. Otras soluciones estudiadas, son con una hoja de cálculo (Excel® con una macro) donde se va incrementando los días de previsión hasta obtener las cantidades necesarias para llenar el camión. Posteriormente se ajusta el envío del camión con una gestión de fracciones de los lotes de producción de la referencia de mayor volumen (figura 5).

Para hacer el modelado de los lotes se introduce una función escalón donde se ajustan las cantidades a los lotes de los procesadores (figura 6).

“Cálculo de si es necesario enviar material”: en este apartado se calcula si hay alguna referencia por debajo del umbral definido que exija la necesidad de enviar material.

```
cant brutas lotificadas[Referencia]= WITH LOOKUP (
  Necesidades brutas[Referencia],
  ((0,0)-(6000,4000)),(0,0),(41,0),(42,84),(161,84),(162,240),(287,240),(288,336),(407\
  ,336),(408,480),(575,480),(576,672),(1007,672),(1008,1344),(2351,1344),(2352,3360),\
  (6000,3360) )
~
UNIDAD/Week
```

Figura 6. Función escalón en Vensim®

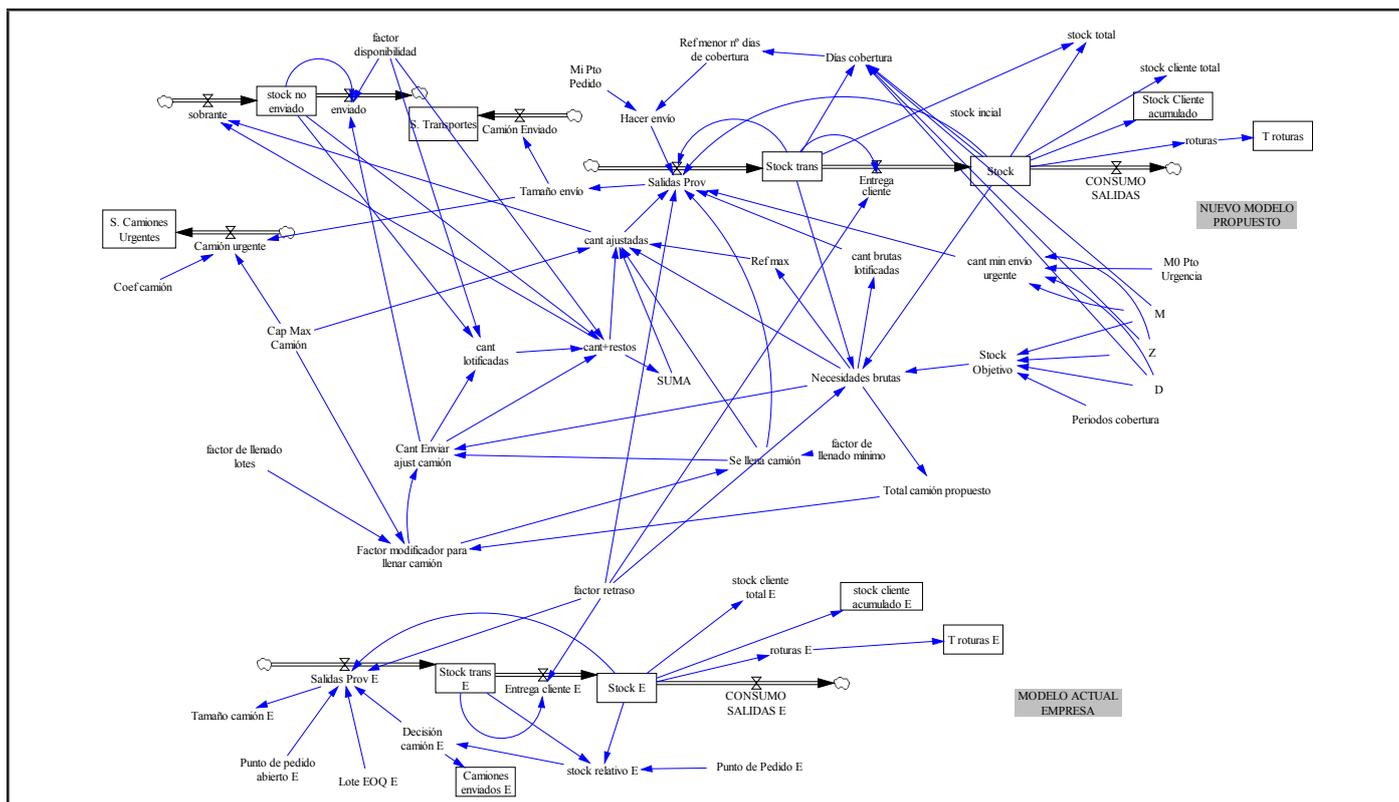


Figura 7. Diagrama de flujo de procesos.

Además de las cuatro áreas comentadas previamente, se incluye en el modelado de los flujos de procesos, la metodología de servicio propuesta por la empresa, dar servicio con lotes fijos. Esto permite comparar la propuesta metodología con la solución adoptada por la empresa (ver parte inferior de la figura 7). La propuesta alternativa se centra en ajustar los lotes de fabricación con el llenado del camión. Este modelado también incluye un apartado para la gestión de los restos de los lotes, como punto de desacople entre los lotes de fabricación y la capacidad del camión. (figura 7). Además se incluye el modelado de la gestión de envíos urgentes, requerimientos de material que por la cuantía total de todas las referencias en dicho momento, no justifican un camión completo. El modelo ha sido validado, testeándolo con diversos escenarios (Campuzano y Mula, 2011).

1) Una prueba de la idoneidad de los límites del modelo.

- 2) Una prueba de validación estructural.
- 3) Una prueba de consistencia dimensional.
- 4) Una comparación de prueba con modelos similares.
- 5) Una prueba de condiciones extremas.
- 6) Una prueba de error de la integración.
- 7) Una prueba para reproducir actuaciones conocidas.
- 8) El análisis de sensibilidad.
- 9) Un análisis de las actuaciones anormales.
- 10) Una prueba de rendimiento inesperado.
- 11) Una evaluación de la prueba de los parámetros.

ros utilizados.

- 12) Una prueba de evaluación de cualquier mejora en la forma en que el sistema de modelado funciona.

Por ejemplo, la rotura de stock de una referencia. En la figura 8 se puede observar como el sistema hace un primer envío mono-referencia del producto faltante y luego se estabiliza con envíos multi-referencia frente a la figura 9 sin la rotura.

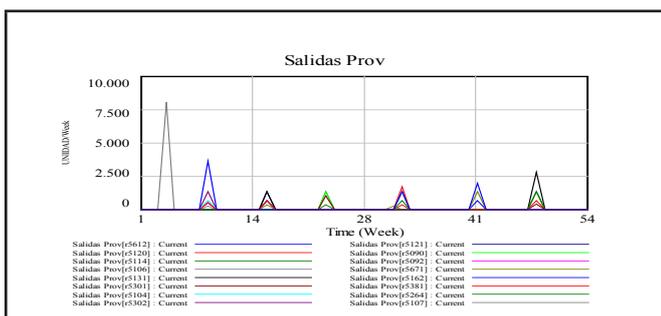


Figura 8. Test de validación del modelo. Rotura de stock, primer camión mono-referencia.

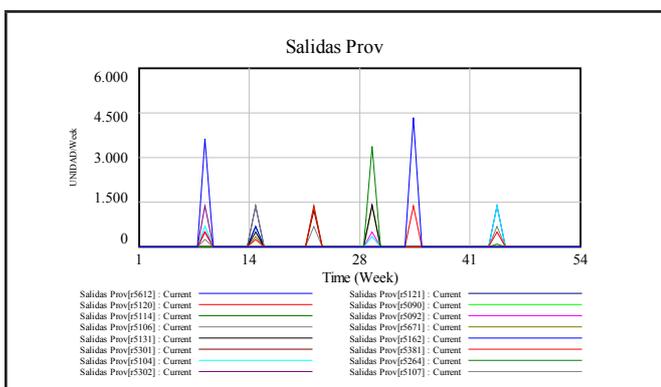


Figura 9. Envío sin rotura de stock inicial.

Otras verificaciones realizadas son la dimensional realizada por el propio programa, la confirmación de los resultados del modelo de la empresa con los resultados de campo, etc.

Esta propuesta plantea que cuando una referencia tiene un stock inferior al previsto objetivo mínimo, se calculen las necesidades de todas las referencias respecto del stock objetivo máximo, ajustando al lote de fabricación más cercano. Posteriormente, priorizando por los días de cobertura, se decide las posibles órdenes de fabricación hasta llenar el camión. Finalmente se valora si dicha cantidad justifica un camión completo o es preferible enviar la referencia como urgencia.

El modelo de simulación planteado contempla una serie de factores que su sensibilidad ha sido estudiada y permite a la empresa acercarse a un mejor modelo de gestión. En la figura 10 se puede observar el adelanto del envío del primer camión e incremento de los stocks medios cuando son incrementados los “periodos de cobertura”.

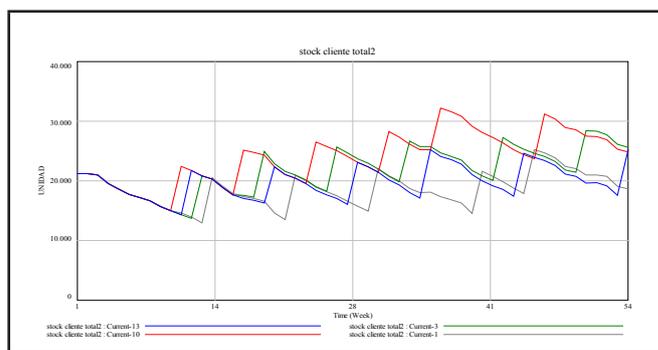


Figura 10. Evolución del stock en cliente según ensayos.

El modelo nos permite validar una posible alternativa para la selección de las referencias y cantidades a producir en cada momento, a partir de los datos reales de la demanda. El resultado de este nuevo método es una reducción en los envíos de 25 a 12-8 envíos año, sin incrementar el stock medio en el cliente (ver Tabla 2). La primera línea de la tabla 2, es el resultado con el método de la empresa, el resto son alternativas de propuestas de trabajo con distintos valores a sus parámetros o escenarios (Periodos de stock en cliente, stock mínimo que obliga a un envío urgente, periodos para punto de pedido, factor de llenado de camión). Un ejemplo del cambio de metodología se puede ver en la referencia 'r5120', donde con el método EOQ de la empresa el lote debe ser siempre 1344 unidades y con este modelo, los lotes se ajustan a cada necesidad de cada envío (ver tabla adjunta Tabla 1). El modelo recalcula el lote adecuado de todas las referencias cuando una referencia requiere realizar su envío, con las restricciones de capacidad máxima de transporte, stock disponible máximo y previsión de la demanda. Valorando en dicha situación si se justifica el envío de un camión multi-referencia o el envío de la referencia por transporte urgente.

Tabla 1. Comparativa de lotes de fabricación entre modelo y lotes fijos.

Semana	9	15	22	44	EOQ
[r5120]	480	240	1344	480	1344
[r5301]	0	0	1188	0	672

## 4. Conclusión

En este artículo, se ha presentado el caso de una empresa de adhesivos con la responsabilidad de gestionar las necesidades de stock de su cliente. La empresa ha solucionado su coordinación, con una gestión simplificada de la formulación EOQ. En el artículo se propone un modelado que permite reducir los envíos necesarios, con niveles equivalentes de stock y mismo planteamiento de formulación. Se establece una metodología de gestión simple que tiene en cuenta tanto los conceptos de almacenaje, preparación de pedidos como los de distribución al mismo tiempo.

Como líneas pendientes de estudio se propone desarrollar la gestión de la demanda. Se observa que el cliente trabaja contra pedido, con un ciclo y una cartera de pedidos comprometidos que sugieren una demanda dependiente de adhesivos para una serie de periodos, por lo que la demanda de adhesivos tendría una parte en firme y otra estocástica.

Otro punto a desarrollar es valorar el envío en grupa-

jes, sistema que no necesariamente supondría un incremento en los costes globales al permitir importantes beneficios como la eliminación del stock de los restos.

Queda pendiente el desarrollo del modelo de programación dinámica a partir del modelo existente (Ertogral, 2008) donde los costes de preparación KI, sean dependientes de la unidad de procesamiento y no de la referencias, como es el modelo original. Este nuevo modelo permitirá incluir los costes grupaje o camión completo como los costes de preparación y almacenaje. Modelo que permitiría encontrar el óptimo con los costes y las capacidades definidas.

Otro apartado pendiente es el estudio de la coordinación en decisiones descentralizadas, dado que, en este problema real, hay una gestión centralizada por el proveedor, con toda la información propia y del cliente, como es la situación VMI. En otros clientes, la empresa debe coordinar su gestión, con la gestión de sus clientes (coordinación descentralizada).

Otro apartado sería implementar un procedimiento de identificación de las soluciones óptimas, que permita

Tabla 2: Resultados comparativos de la simulación con distintos parámetros de ajuste.

Ensayos	Periodos de Cobertura	Mo Pto Urgencia	Mi Pto Pedido	Factor llenado mínimo	Camiones Enviados	Camiones Urgentes	Stock cliente promedio	Stock cliente max	Stock cliente min	Roturas
ACTUAL					25	25	22.403	26.119	16.290	0
1	4	1,2	3	10%	17	11	18.581	25.212	12.949	0
2	6	1,2	3	10%	9	2	24.970	33.248	15.753	0
3	4	0,8	3	10%	12	6	21.719	28.339	13.642	2
4	4	1,2	2	10%	17	11	18.581	25.212	12.949	0
5	4	1,2	3	20%	23	19	14.532	21.200	8.227	2
6	6	1,2	2	10%	9	2	24.970	33.248	15.753	0
7	5	1,2	3	10%	9	3	23.956	32.223	14.932	0
8	5	1	3	10%	9	3	23.953	32.953	14.931	0
9	5	1	2	10%	9	3	23.953	32.223	14.932	0
10	5	0,9	2	10%	8	2	23.921	32.139	14.932	0
11	5	0,9	3	10%	8	2	23.921	32.139	14.932	0

trabajar con procesos alternativos como los distintos centros de procesamiento o transportes sea grupaje o camión completo, strokes (García-Sabater et al., 2012).

Los datos del estudio están disponibles bajo petición al autor.

## Referencias

ARSHINDER; KANDA, A.; DESHMUKH, S.G. (2008). "Supply chain coordination: Perspectives, empirical studies and research directions". *International*

*Journal of Production Economics*, Vol. 115, nº. 2, pp. 316-335.

BAGCHI, S., BUCKLEY, S. J., Ettl, M., & LIN, G. Y. (1998). "Experience using the IBM supply chain simulator", *IEEE Computer Society Press*, pp. 1387-1394.

BEAMON, B.M. (1998). "Supply chain design and analysis: Models and methods". *International Journal of Production Economics*, Vol. 55, nº. 3, pp. 281-294.

CAMPUZANO, F.; MULA, J. (2011). *Supply Chain*

- Simulation*. Springer.
- ERTOGRAL,K. (2008). "Multi-item single source ordering problem with transportation cost: A Lagrangian decomposition approach". *European Journal of Operational Research*, Vol. 191, nº. 1, pp. 156-165.
- FLEISCHMANN,B.; MEYR,H. (2003). "Planning hierarchy, modeling and advanced planning systems". *Handbooks in Operations Research and Management Science*, Vol. 11, pp. 455-523.
- FLEISCHMANN, B.; MEYR, H.; WAGNER, M. (2002). "Advanced Planning", en H. Stadler y C. Kilger (dir), *Supply Chain Management and Advanced Planning*, pp. 71-96. Springer Berlin Heidelberg.
- FORRESTER,J.W. (1958). "Industrial dynamics a major breakthrough for decision makers". *Harvard Business Review*, Vol. July-August, pp. 37-66.
- FORRESTER,J.W. (1996). "System dynamics and K-12 teachers". *Retrieved August*, Vol. 8, p. 2008.
- GARCIA-SABATER,J.P.; MAHEUT,J.; GARCIA-SABATER,J.J. (2012). "A two-stage sequential planning scheme for integrated operations planning and scheduling system using MILP: the case of an engine assembler". *Flexible services and manufacturing journal*, Vol. 24, nº. 2, pp. 171-209.
- JUAN MARTÍN GARCÍA (2003). *teoría y ejercicios prácticos de dinámica de sistemas*. Juan Martín García.
- MAHEUT, J.; GARCIA-SABATER, J. P.; GARCIA-SABATER, J. J.; MARIN-GARCIA, J. (2014). "Coordination Mechanism for MILP Models to Plan Operations Within an Advanced Planning and Scheduling System in a Motor Company: A Case Study", en J. C. Prado-Prado y J. s. García-Arca (dir), *Annals of Industrial Engineering* 2012, pp. 245-253. Springer London.
- MAHEUT, J.; GARCIA-SABATER, J. (2013). "A Mixed-Integer Linear Programming Model for Transportation Planning in the Full Truck Load Strategy to Supply Products with Unbalanced Demand in the Just in Time Context: A Case Study", en C. Emmanouilidis, M. Taisch, y D. Kiritsis (dir), *Advances in Production Management Systems. Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services*, pp. 576-583. Springer Berlin Heidelberg.
- MULA,J.; PEIDRO,D.; DÍAZ-MADROÑERO,M.; VICENS,E. (2010). "Mathematical programming models for supply chain production and transport planning". *European Journal of Operational Research*, Vol. 204, nº. 3, pp. 377-390.
- SCHWANINGER, M. (2003). "Modeling with archetypes: an effective approach to dealing with complexity", *Computer Aided Systems Theory-EUROCAST 2003*, pp. 127-138. Springer.
- TERZI,S.; CAVALIERI,S. (2004). "Simulation in the supply chain context: a survey". *Computers in industry*, Vol. 53, nº. 1, pp. 3-16.
- TOWILL,D.R. (1997). "Forridge-Principles of good practice in material flow". *Production Planning & Control*, Vol. 8, nº. 7, pp. 622-632.
- WILSON,R.H. (1934). "A Scientific Routine for Stock Control". *Harvard Business Review*, Vol. 13, pp. 116-128.
- YOON,S.W.; NOF,S.Y. (2010). "Demand and capacity sharing decisions and protocols in a collaborative network of enterprises". *Decision Support Systems*, Vol. 49, nº. 4, pp. 442-450.