

ANÁLISIS DE PROGRAMAS DE PALETIZADO PARA UNA CODIFICACIÓN AJUSTADA DISPONIBLE EN EL SOFTWARE R

ANALYSIS OF PALLETIZING PROGRAMS FOR A TIGHT CODING AVAILABLE IN SOFTWARE R

Irma Noemí No¹, Julian Eloy Tornillo²

no.irma@gmail.com, julianeloytornillo@gmail.com

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, 1832, Lomas de Zamora,
Argentina.

²Fundación Atlántica, CABA, Buenos Aires, Argentina.

Recibido 08/07/2018; Aceptado: 30/11/2018

Resumen: Las actuales prácticas de paletización desarrolladas por los ingenieros en empaque sugieren una importante incidencia de los softwares de simulación en problemas de paletizado (PLP). Las actuales tomas de decisión en este campo se orientan hacia una logística ajustada mediante el respaldo de herramientas informáticas robustas. En este sentido, analizamos bajo estándares de calidad y prestación dos programas de extendido uso profesional y diferente perfil de negocios: TOPS Pro (pago) y PLMPack Stack Builder (gratuito y de código abierto). A través de la significatividad de sus aportes y también consideradas las preferencias recogidas y analizadas sobre un grupo de profesionales del área, se desarrolla un script ejecutable en el entorno “R” que garantiza un conocimiento robusto y fiable sobre las eficiencias de distribuciones de carga en procesos de paletizado, para las tomas de decisión en PLP. En este artículo exponemos las distribuciones de carga distinguidas en procesos de paletizado corroboradas por tres vías: normas vigentes, análisis de riesgos según la experticia profesional y cálculo informático de eficiencia espacial, finalmente exponemos las salidas del paquete elaborado y disponible para su crecimiento en “R”. Consideramos que la

metodología utilizada para detectar factores relevantes en los programas vigentes generando nuevos códigos propios en abierto es una muestra del empoderamiento informático posible en diversos ámbitos de la ingeniería.

Palabras Clave: paletizado ajustado; riesgos de paletización; distribuciones de carga; paletización en R.

Abstract: The current palletization practices developed by packaging engineers suggest an important incidence of simulation software in palletizing problems (PLP). The current decision-making in this field is oriented towards an adjusted logistics through the support of robust computer tools. In this sense, we analyze two programs of extended professional use and different business profile under quality and performance standards: TOPS Pro (payment) and PLMPack Stack Builder (free and open source). Through the significance of their contributions and considering the preferences collected and analyzed on a group of professionals in the area, an executable script is developed in the "R" environment, which guarantees a robust and reliable knowledge on the efficiencies of load distributions. in palletizing processes, for decision making in PLP. In this article we expose the distributions of load distinguished in palletizing processes corroborated by three routes: current standards, risk analysis according to professional expertise and computer calculation of spatial efficiency, finally we show the outputs of the package prepared and available for growth in "R". We consider that the methodology used to detect relevant factors in the current programs by generating new open codes, is a sample of the possible informatic empowerment in various fields of engineering.

Keywords: lean palletizing; palletization risks; load distributions; palletizing in R.

1. Introducción

La selección del empaque y su disposición en pallets es un problema matemático que involucra variables dimensionales bajo restricciones geométricas reales y parámetros de optimización contextuales (características mecánicas del empaque y propias del producto). Se pueden encontrar diferentes abordajes a la problemática del paletizado (PLP) exhibiendo una informatización oportuna para el planteo

matemático/logístico de esta labor industrial a través de modelizaciones exactas, heurísticas y simuladas. Un importante recorrido bibliográfico acerca de los distintos enfoques sobre PLP puede leerse en el escrito de Zúñiga y Vargas-Osorio (2016).

Desde la perspectiva de una toma de decisión del ingeniero en empaque consideramos la optimización de las distribuciones, medidas en eficiencia espacial, y analizamos las prestaciones de los programas PLMPack StackBuilder y TOPS Pro, sin descuidar el control de calidad (Pepper y Spedding, 2010) que sugieren las normativas vigentes IRAM e ISO.

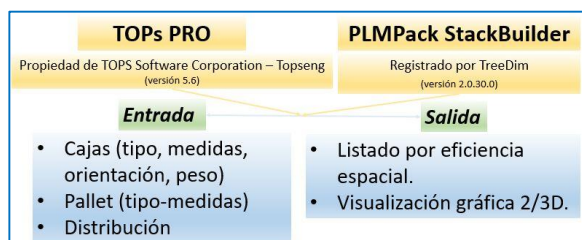


Fig. 1- Parámetros considerados en nuestros programas de prueba

Con el objetivo de *determinar la participación de los diferentes factores que importen a la toma de decisión en cuanto a la elección de un paletizado específico*, se realiza un recorrido estadístico descriptivo, correlacional y multivariante (análisis de componentes principales -ACP) sobre las salidas de los programas anteriormente mencionados.

Los resultados -numéricos y conceptuales- obtenidos, se acompañan de un análisis de riesgos (Arsham, 2015) sobre las preferencias expresadas por un conjunto de profesionales del área, con el objetivo de *generar un código de paletización ejecutable en el entorno abierto y globalmente extendido “R”*, iniciando de esta manera, una línea de trabajo no transitada hasta el momento ni disponible en los paquetes actuales de esta importante herramienta. El código creado es testeado mediante estrategias de simulación para corroborar su correspondencia con las salidas generadas por los programas analizados (Blum y Roli, 2003).

Optimización, oportunidad y preferencias profesionales se unen para ofrecer soluciones orientadas al logro de una *paletización ajustada* en el campo de la logística (Lim, Yu, et al., 2010).

2. Marco técnico DE PLP

Para operacionalizar nuestro análisis realizamos un recorte de las componentes que intervienen en el estudio del proceso de paletizado, enfocándonos en las restricciones / insumos / distribuciones recomendados por las normas regionales e

internacionales vigentes (IRAM6733, 6736, 10011, 10014, 10040, ISO 3037 (2007), 3394 (2012), 3676 (2012)), y en las sugerencias técnicas de diferentes manuales y protocolos organizacionales (internos).

Síntesis de recomendaciones:

-Impedir que una arista inferior del embalaje (caja) se sitúe entre la separación de las tablas del pallet (IRAM 6736) y evitar cargas excedentes o adentradas al contorno perimetral del pallet.

-Anular los “consumidores de volumen” - cavernas, chimeneas, pasillos, bolsas y fuertes adentramientos – los cuales, además de reducir la eficacia en la manipulación, almacenaje y transporte, perjudican a menudo la estabilidad de la carga.

-En las unidades de carga conformadas por cajas de cartón corrugado, estas deben alinearse preferiblemente en forma vertical, haciendo coincidir sus cuatro esquinas, es decir, sin trabarlas. La no coincidencia de aristas provoca la pérdida de hasta un 45% de resistencia vertical y generalmente provoca cargas adentradas. Con el encolumnado basal (con un mínimo de las tres primeras capas) se aprovechará al máximo la resistencia vertical de las cajas.

-Optar por dos métodos de estiba: el encolumnado total (con intercalado periódico de un separador/hoja de cartón), o bien, el encolumnado basal con trabado de la última o dos últimas capas superiores de la unidad de carga paletizada.

-Para determinar las medidas de los embalajes se recomienda considerar submúltiplos de las dimensiones del pallet, aprovechando toda la superficie de carga (sugerencias de medidas de cajas y pallets en ISO 3394 eISO 3676).

Con el objetivo de desarrollar los diferentes análisis se decidió trabajar con un embalaje fijo, optando por las cajas de cartón corrugado con onda tipo “C”. Una rápida descripción de los elementos de nuestro interés correspondientes a los programas informáticos de prueba y sus vistas se pueden observar en las Figuras 1 y 2 respectivamente.

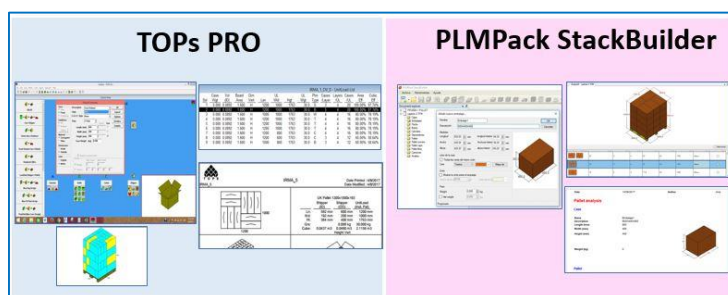
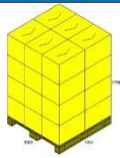
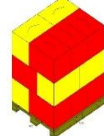
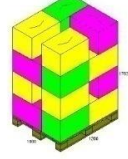
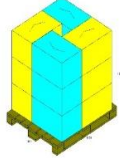


Fig. 2 - Vistas de los programas de prueba

3. Análisis estadístico de los programas de paletizado

Reuniendo las recomendaciones técnicas y normativas, podemos seleccionar dentro de cada menú disponible en nuestros utilitarios informáticos TOPs y StackBuilder las características de los pallets y cajas a ingresar y las distribuciones o mosaicos de paletizado a considerar como soluciones viables de paletizado para realizar un análisis estadístico comparado (observemos que algunos de los mosaicos propuestos por los programas incumplen algunas recomendaciones, pero son mostrados como soluciones factibles por los utilitarios - Tabla 1).

Ítem		Dimensiones (mm)			TOPs		StackBuilder	
Pallet	Pallet1	1200x1000x150			ARLOG		Uk standard	
	Pallet2	1200x800x144			Europallet		EUR	
Distribuciones	C				1Block		Colum	
	B				2Block		InterBlock	
	T				3Block		Triblock	
	D				Diagonal		D-Espiral	
Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 4	Caja 5	Caja 6	Caja 7	Caja 8	Altura

600	300	200	150	600	300	200	150	400
400	400	400	400	200	200	200	200	Mm
Variables de salida		Eficiencia de área (valor porcentual)						
		Informe final (no valorizado)						

Tabla 1- Valuaciones consideradas para analizar comparativamente TOPs y StackBuilder

En primer lugar, se realizó un análisis de variabilidad en las mediciones entre ambos programas, con la metodología de repetitividad y reproducibilidad (R&R) en Minitab, sobre una muestra de 128 mediciones de eficiencia espacial en los paletizados logrados (considerando ocho cajas, dos pallets, cuatro distribuciones y los dos programas), considerando la relación (1)

$$\text{Medida de eficiencia} = F(\text{programa}, \{\text{embalaje}, \text{pallet}, \text{distribución}\}) \quad (1)$$

Ambos programas arrojaron óptimos no directamente atribuibles a parámetros específicos, resultandos indistinguibles las fuentes de variabilidad en las mediciones de eficiencia. Esta situación era previsible debido a la intervención de rutinas determinísticas para el cálculo de la optimización del paletizado (en las cuales los errores de repetitividad se desvanecen considerando como operadores a los programas).

Realizamos un recorrido descriptivo de las variables involucradas en nuestro PLP, para dar paso a interrogantes de tipo correlacional no causal entre variables, finalizando con un análisis de factores principales (ACP). El principal objetivo estadístico del trabajo fue determinar la participación de los diferentes factores que importen a la toma de decisión en cuanto a la elección de una distribución determinada en el proceso de paletizado, para lograr una eficiencia en el uso espacial (optimización de ocupación de área de paletizado).

Los principales resultados observados se detallan a continuación:

- Rechazo de independencia entre las variables *distribución - programa utilizado* (contingencia – chi cuadrado test).
- Medias y varianzas de la variable *eficiencia de área* indiferenciables entre programas (T-test)

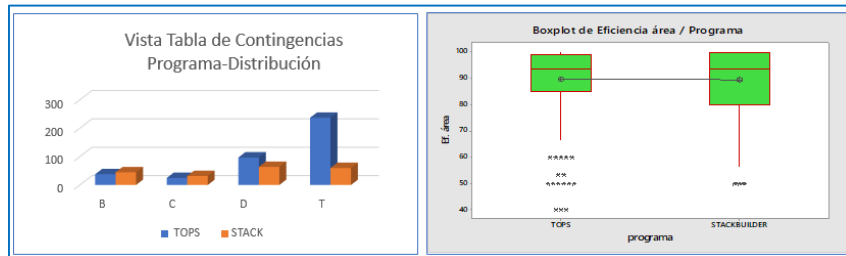


Fig. 3-Importante diferencia en la proporción de soluciones que corresponden a cada una de las distribuciones de paletizado (B, D, T, C) por programa (izq.). Similitud de medias de la eficiencia de área en los programas (der.).

-Distribución no normal de la *variable eficiencia de área*, evidenciando en ambos programas un comportamiento tipo Weibull (con $K > 1$).

-Los factores principales detectados que afectan a la no-normalidad de la variable eficiencia de área son: “la distribución D” y “las dimensiones extremas de los embalajes” en ambos programas.

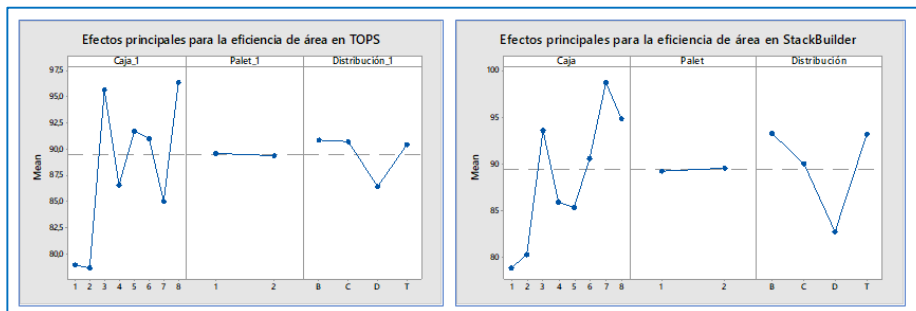


Fig. 4 – Las medidas extremas de las cajas y la distribución “D” producen efectos diferenciales

-El test de Levene demuestra (en ambos programas) que al menos una de las distribuciones otorga una *varianza de eficiencia de área diferenciada del resto*. Profundizando en esta diferenciación que provocan las distribuciones sobre las eficiencias de paletizado, se pudo detectar mediante el test de Kruskal-Wallis *la no igualdad de medianas de la variable eficiencia de área* (en el programa StackBuilder).

Durante el análisis correlacional y de componentes principales se logran especificar algunas sutiles diferencias entre los programas de simulación de paletizado TOPS y StackBuilder:

-La distribución “D” interactúa con los elementos del proceso de paletizado (“caja” y “pallet”), influyendo en los valores de la variable resultado eficiencia de área en StackBuilder. La misma interacción se evidencia entre “D” y las “cajas” en el programa TOPs. (análisis DOE).

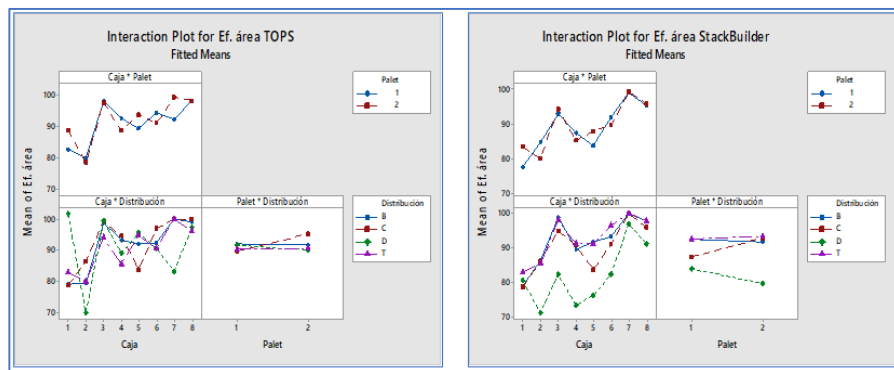


Fig. 5 - Interacción entre variables para la obtención de la eficiencia de área

-Durante el análisis de componentes principales se observó la importante influencia de la variable pallet en la salida “eficiencia de área”. Este protagonismo resulta razonable por la participación de las características dimensionales del pallet en la propia definición aritmética de la eficiencia espacial. El análisis ACP refuerza lo observado en cuanto a la *no independencia distribución-programa* (observar la diferencia en los biplot vectoriales en este aspecto- Fig. 6). Las distribuciones son un factor relevante en el programa StackBuilder.

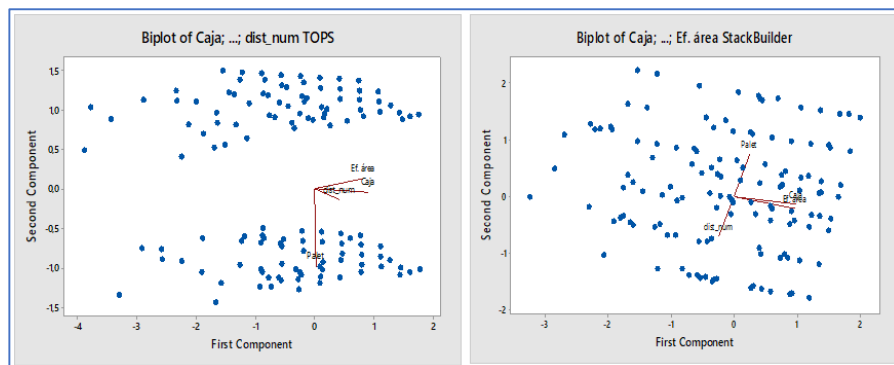


Fig. 6 - ACP de paletizado en ambos programas

Todos los resultados obtenidos perfilan las similitudes y diferencias entre los programas de paletizado TOPs y StackBuilder, otorgando una base de trabajo para

la elaboración de un código en “R” que conserve las características comunes y el peso de las variables distinguidas para la optimización de la eficiencia espacial.

4. Análisis de riesgos

Para realizar una versión de paletizado ajustada, se utilizará la experiencia previa de ingenieros en empaque. Consultados sobre la metodología de selección utilizada para la toma de decisión en las distribuciones adecuadas para la paletización de productos, los profesionales del área nos comentan la importancia de los protocolos internos (políticas de paletizado, acordes a las normas vigentes) los cuales se constituyen en estándares de procedimientos (OPS -Operate Procedures Standards-). Sin embargo, también reconocen la utilización de soluciones particulares -que parten de su ingenio y criterio- basadas en características específicas asociadas a ciertos riesgos del caso. En este marco de decisión multicriterio, realizamos un recorte mediante el planteo de un proceso analítico – jerárquico (AHP, en Web-HIPRE) como soporte al sistema de decisión (DSS). Para categorizar los índices de accidentalidad en la logística ligada al paletizado realizamos una desagregación (enumeración clasificatoria) de los riesgos asociados al proceso (Tabla 2).

Riesgo (#)	Evento/Incidente	Fuentes del riesgo	Consecuencias (dependen de la gravedad del incidente)
R1	Derrumbes	-Distribución no adecuada. -Overhang fuera de especificación. -Manipulación y/o transportación inadecuados.	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de sujeciones y consolidaciones. • Necesidad de repaletizado.
R2	Vuelcos	-Errores en el diseño y/o especificación de embalaje. -Distribución no adecuada. -Estibado en altura excesiva. -Manipulación y/o transportación inadecuados.	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de embalajes. • Pérdida de embalajes y productos.
R3	Desplazamientos	- Distribución no asegurada. - Manipulación y/o transportación inadecuados.	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida total de la unidad de carga.
R4	Pandeos	- Sobreesfuerzos en el embalaje. - Condiciones atmosféricas. - Producto embalado. - Diseño del embalaje.	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes laborales asociados.

R5	Colapso	- Características del embalaje. - Distribución no óptima. - Sobrecargas a la compresión admitida.	
R6	Deterioro	- Exposición incorrecta. - Factores atmosféricos y de conservación. - Períodos excesivos de almacenamiento.	
R7	Ejecución	- Distracción. - Falta de capacitación. - Interpretación errónea. - Mala praxis.	

Tabla 2- Riesgos principales, sus fuentes y consecuencias

Para realizar el análisis cualitativo de los riesgos de la actividad de paletizado, adaptamos el procedimiento sugerido en el artículo de Soon-Jae y Hye-Kyung (2008), basado en el dimensionamiento de los riesgos por verosimilitud e impacto. (Tabla 3).

Escala	Pérdidas estimadas en Costes de Proceso (De producto, de tiempo, de oportunidad, de RRHH)	Probabilidad estimada
5	Costes de tapas, laterales, films y medidas de sujeción adicional	26-99%
4	Costes de tiempo y mano de obra en tareas de repaletizado	11-25%
3	Costes por pérdidas de embalajes y/o productos	6-10 %
2	Costes de descarte de carga completa y rediseño	2-5%
1	Costes de indemnización por accidentes de trabajo	1%
Escala	Severidad del	Consecuencias

	Incidente	
5	Irreparable	Accidentes laborales
4	Muy serio	Pérdida total de unidad de carga
3	Serio	Pérdidas de embalajes y productos
2	Significante	Pérdida de embalajes
1	Menor	Necesidad de repaletizado
0	Insignificante	Medidas de Sujeción y consolidación

Tabla 3- Dimensionamiento de riesgos

Encuestando a los profesionales relacionados con el área de empaque que conforman nuestra muestra local, obtuvimos las frecuencias observadas que intervienen junto con los pesos/escalas detalladas en el cálculo del posicionamiento de cada riesgo en el mapa de situación/acción que se muestra en la Figura 7.

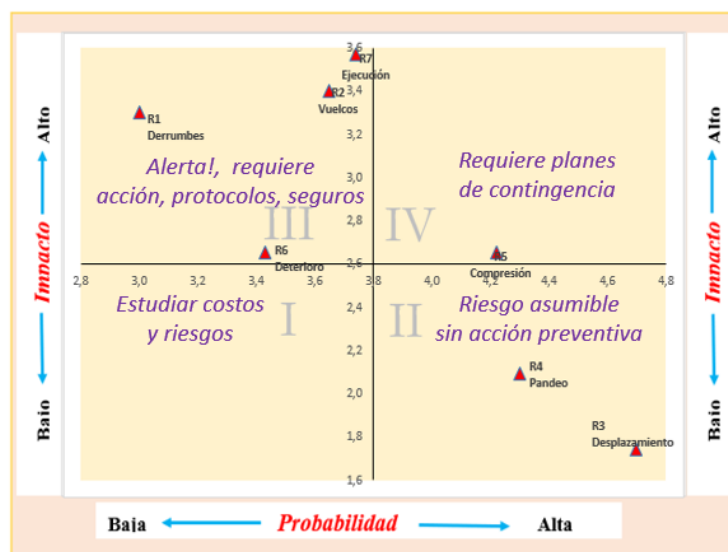


Fig. 7- Mapa de distribución de riesgos según encuesta

Debemos aclarar que la expresión “sin acción preventiva” hace alusión a medidas adicionales a las típicas prácticas de sujeción en paletizados.

Para analizar la relación entre los criterios de distribución y los riesgos del proceso de paletizado se preguntó a los ingenieros en empaque acerca de su percepción, experiencia y preferencias, mediante una encuesta puntual “Relación distribución-riesgos”.

La pregunta “¿Cuál de las distribuciones prefiere y por qué (la prefiere)?”, ha arrojado un 56% a favor de la distribución C, un 26 % de encuestados que prefirieron la distribución D, y el 18% restante se repartió en igual proporción en preferencias por las distribuciones B y T. La elección por la distribución C alude a estándares vigentes, tradiciones y/o especificaciones técnicas de resistencia de los embalajes. Por otra parte, existen referencias al uso de técnicas de sujeción para combatir posibles inestabilidades por apilamiento vertical, como el uso de laterales y tapas, y el diseño de una capa superior de diseño cambiado en forma de “trabado”. La preferencia por la distribución D, encuentra su argumentación en la solidez de este diseño ante posibles desplazamientos por transportación. También se hace alusión a la posibilidad de un sencillo tratamiento de riesgos de ejecución mediante el entrenamiento a operarios y la automatización del proceso de paletizado.

La percepción y experiencias con respecto a los riesgos y las distribuciones (mosaicos) de paletizado se muestran en la Figura 8.

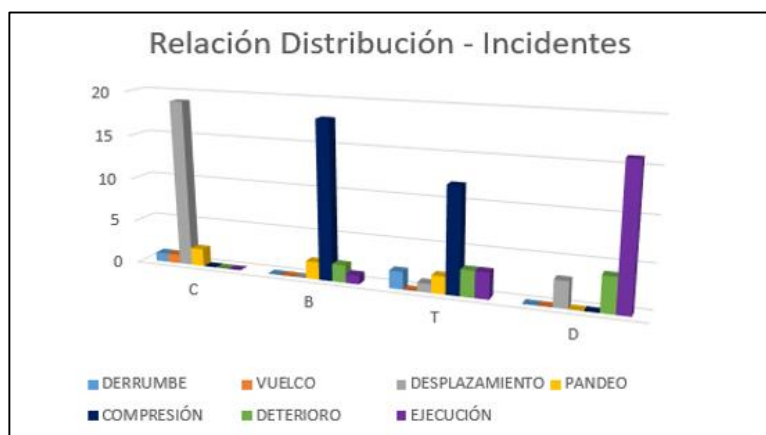


Fig. 8 - Frecuencias observadas en relación distribución - riesgos

5. Paletización en “R”

La intención de generar un código de ayuda a la decisión en procesos de paletizado en el entorno de desarrollo “RStudio” responde a la inquietud de ampliar las prestaciones del programa “R” con el aporte de paquetes orientados a la ingeniería, para sumarlos a su oferta vigente, abierta y gratuita.

Con el recorrido realizado, nuestro objetivo es: dada una distribución, generar el algoritmo que otorgue un listado de eficiencias que ayude a la decisión del ingeniero en empaque. Para ello, se desarrolla un código con parámetros restringidos por las recomendaciones de normas y tradiciones, con layers de patrón repetido o giro de 180°, y una prueba en simulación para corroborar que las características de los algoritmos creados conservan las categorías, distinciones y características estadísticas observadas en los programas analizados (TOPs y PLM StackBuilder).

El centro del programa es la optimización que soluciona el PLP, es decir, la lógica de los algoritmos que distribuyen con eficiencia los embalajes según los diferentes mosaicos posibles:

- Distribución “C”

El primer código creado corresponde a la distribución encolumnada “C”, considerada técnicamente la más apropiada para soportar compresiones, dado su apilamiento vertical en las aristas de esfuerzo, según la recomendación de las normas y estándares vigentes.

La lógica de la distribución encolumnada se basa en el mantenimiento de la orientación de las cajas, distribuidas conforme no excedan las medidas del pallet. Una vez decidida la orientación, ésta se mantiene ubicando los embalajes de manera consecutiva mientras exista aún espacio para una caja más.

En este primer Script se consideró una posible orientación de las cajas (el largo de las cajas “l” coincidentes con el largo del pallet “L”, y el ancho de las cajas “a” coincidente con el ancho del pallet “A”), pero esta posibilidad no es única pues existe el ordenamiento contrario (el largo de las cajas “l” coincidentes con el ancho del pallet “A”, y el ancho de las cajas “a” coincidente con el largo del pallet “L”), por lo cual el código que contempla dos posibles distribuciones encolumnadas en R.

- Distribución “D”

Según se ha anticipado, esta distribución es una de las elegidas por los técnicos en empaque por sostener el principio de *no* compresión de embalajes (por su característica de encolumnado), y a la vez suponer un “giro” en la orientación de las cajas (ubicado en los extremos del pallet), generando un trabado que actúa impidiendo los desplazamientos en el transporte de carga. Por lo tanto, es una distribución que se acerca al principio de *paletización ajustada*.

La lógica de la distribución “diagonal o espiralada” sigue una formación alternada en la orientación de las cajas en las esquinas del pallet, dando una imagen de simetría o espiral a la vista en la ubicación de los embalajes. Por lo tanto, se decidirá la orientación del primer embalaje, ubicando los siguientes en la posición contraria, y se seguirá esta lógica en el resto de los laterales del pallet. Habrá *cuatro* posibilidades de importancia, que son considerar Largo y Ancho a cada una

de las dos medidas del pallet (L y A), combinadas con las dos variantes de ubicar primero el ancho o primero el largo de la caja en la distribución a realizar.

Esta distribución puede generar el efecto de “chimeneas centrales”, por lo cual en nuestro código introducimos una opción para “llenar” dichas chimeneas cuando sea posible, que agregarán soluciones a las cuatro básicas.

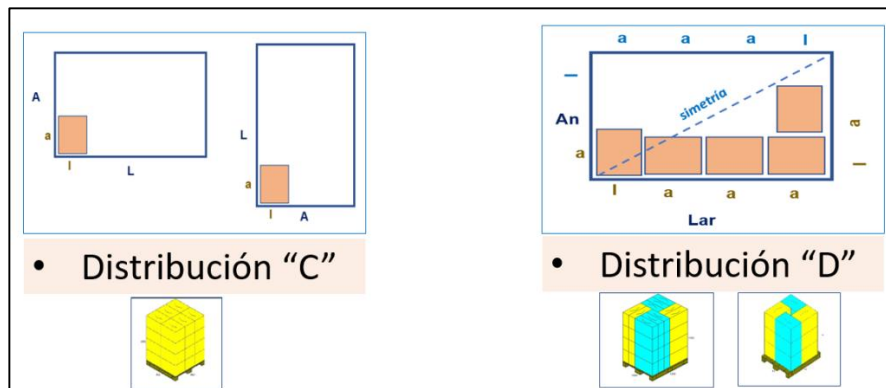


Fig. 9 - Lógica scripts distribuciones "C" y "D"

- Distribución “B”

La lógica de la distribución “B” se basa en una misma disposición de los embalajes en el sentido de una de las medidas del pallet, cambiando a la disposición opuesta para completar el lateral contrario del pallet. Los layers se construyen oponiendo las orientaciones en capas consecutivas, de manera tal que las capas pares se verán iguales entre sí y las impares se verán opuestas a las pares, pero iguales entre sí.

Con respecto al área y volumen ocupados en la disposición “B”, se pueden calcular en base a la primera capa, pues las restantes serán una copia de ésta, sólo cambiando la orientación como en un “cubo Rubik”, es decir, en rotación de 180° (o visión “espejo”).

Según la lógica de programación relatada en los párrafos anteriores, sólo resultarán de importancia cuatro casos: considerar Largo y Ancho a cada una de las dos medidas del pallet (L y A), combinadas con las dos variantes de ubicar primero (esto es, en el frente) el ancho o primero el largo de la caja (l o a) en la distribución a realizar.

En esta distribución existe una importante diferencia entre la concepción del programa StackBuilder y el programa TOPs. En el caso de TOPs el intercalado sigue exactamente la definición dada en el párrafo precedente, en cambio, StackBuilder considera una distribución encolumnada (no rota 180° entre layers consecutivos).

	Dist	Largo	Ancho	Alto	CLargo	CAncho	CAlto	Estiba	Layers	Cajas/Layer	
• Tipo de distribución	1	"c"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"8"
• Medidas del pallet (largo, ancho, alto)	2	"c"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"6"
• Medidas de la caja (largo, ancho, alto)	1	"d"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"4"
• Altura límite de almacenamiento (estiba)	2	"d"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"4"
• Cantidad de capas (layers)	3	"d"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"8"
• Cajas por Layer	4	"d"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"8"
• Cajas totales en la unidad de carga	ocupachimenea	"d"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"5"
• Altura ocupada	ocupachimenea	"d"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"7"
• Eficiencia porcentual de área	1	"b"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"8"
• Eficiencia porcentual de volumen	2	"b"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"7"
	3	"b"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"8"
	4	"b"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"5"
	1	"t"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"8"
	2	"t"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"8"
	3	"t"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"7"
	4	"t"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"3"
	cajastotales	Altitudade	Eficacia	Eficvol							
	1	"32"	"1744"	"100"	"96,6"						
	2	"24"	"1744"	"75"	"72,5"						
	1	"16"	"1744"	"50"	"48,3"						
	2	"16"	"1744"	"50"	"48,3"						
	3	"32"	"1744"	"100"	"96,6"						
	4	"32"	"1744"	"100"	"96,6"						
	ocupachimenea	"20"	"1744"	"62,5"	"60,4"						
	ocupachimenea	"24"	"1744"	"75"	"72,5"						
	ocupachimenea	"28"	"1744"	"87,5"	"84,5"						
	1	"32"	"1744"	"100"	"96,6"						
	2	"28"	"1744"	"87,5"	"84,5"						
	3	"32"	"1744"	"100"	"96,6"						

Fig. 11 – Variables de salida y borrador de output (parte de vista matricial del prototipo)

Las salidas obtenidas con nuestro código conservan las optimizaciones de los programas estudiados y agrega soluciones en el caso de la distribución “D” por la incorporación de los embalajes “ocupa-chimeneas”.

Como respaldo de optimización y cotejo de rendimiento del programa se realizan corridas en formato de simulación heurística basada en los códigos anteriores con incorporación del método “best improvement” (orden lexicográfico directo, inverso y aleatorio). Se realizan mil iteraciones de cada orden con las siguientes características:

- La altura de la caja se ha dejado fija en 400 mm (utilizado como estándar en los programas anteriores) y la dimensión del largo de la caja se obtiene mediante la ecuación:

$$largo = \frac{\text{volumen de caja (elegida por el usuario)}}{\text{ancho (randomizado) de caja * altura de caja (fija 400)}} \quad (2)$$

cuyo resultado luego se restringe, mediante remplazos de generación aleatoria iterada (si fuera necesario) al intervalo [150,600].

- Pallet, volumen de caja y altura de estiba a elegir/ingresar por el usuario.
- Salidas limitadas a las 30 mejores eficiencias de área.

Observamos en los resultados que el orden del recorrido influyó en la participación de las distribuciones dentro del listado final (de paletizaciones óptimas): *“las distribuciones que se recorren primero conservan una menor participación en la solución óptima (esto sucede porque el remplazo de los elementos de la matriz “solución óptima” no ofrece “mayores dificultades”, dado que se inicializa nulo, por lo cual cualquier valor de eficiencia superará al valor óptimo presente y lo remplazará quedando como óptimo “débil” y de fácil superación por las*

distribuciones siguientes), siguiendo este pensamiento conservan mayor probabilidad de aparición las distribuciones siguientes a la primera recorrida”.

La participación porcentual de las distribuciones “D” y “C” se mantuvo (en el rango de “distinguidas”), aún bajo las influencias de orden mencionadas en el párrafo anterior. Específicamente la *distribución “D”* ha sostenido su *elevado porcentaje de participación* en todas las salidas, más allá del orden en el cual ha sido recorrida, por lo cual se la podría considerar una *disposición “eficiente”*.

6. Conclusiones

Los programas analizados, TOPsy PLMStack Builder, sirven de guía y soporte para la toma de decisiones, acortando los tiempos y mejorando la eficiencia en los pronósticos de ensamble, almacenamiento y traslado, a través de sus salidas analíticas y gráficas. La detección de sus características y componentes principales, posibilitaron la *creación de programas alternativos en entornos de desarrollo integrales de código abierto, vigentes y funcionales a otras prestaciones para el Ingeniero Industrial*.

En particular, iniciamos el camino hacia la elaboración de un paquete disponible en “R” cuya ejecución demostró proveer *información de similar calidad y robustez para la toma de decisión* del ingeniero en empaque que los programas analizados, mostrándose apto para expresar las lógicas de PLP y la generación de salidas de apoyo a la labor de la logística industrial.

El estudio de riesgos agregó un análisis de impacto en las decisiones de paletizado, estableciendo un criterio adicional (bayesiano) a incorporar para el *ajuste* de las variables de programación intervinientes en la creación de nuevos utilitarios de soporte profesional.

Siguiendo nuestro objetivo de promover la disponibilidad de herramientas informáticas integradas en un único entorno de código abierto para las diferentes problemáticas de la ingeniería industrial, los trabajos futuros a realizar en el corto plazo se basan en la extensión de las prestaciones logradas en el entorno “R”, orientadas a la mejora de los formatos de salida de las soluciones generadas y su visualización 2D y 3D.

En un mediano plazo se pretende extender la metodología utilizada (en base al estudio/análisis de utilitarios existentes) a la elaboración de otras prestaciones de apoyo a las labores de ingeniería industrial y de procesos, para hacerlas disponibles también en “R”.

Bibliografía

Arsham, H. (2015). "Tool for decision analysis. Analysis of risky decisions". Universidad de Baltimore <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/opre640a/partIX.htm>

Blum C., Roli A. (2003) "Metaheuristic in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison". ACM Computer Surveys. Volume 35 Issue 3, September 2003 p. 268-308 <http://dx.doi.org/10.1145/937503.937505>

CCL. (2003). Manual de Logística de paletización. "Recomendaciones GS1 para la logística". Comité costarricense de logística, edición 2, 2003. http://www.gs1cr.org/wp-content/uploads/2016/04/manual_logistica.pdf

IRAM 6733, 6736, 10011, 10014, 10040. (2013) Instituto Argentino de Normalización y Certificación. <http://www.iram.org.ar/>

ISO 3037 (2007), 3394 y 3676.(2012)International Organization for Standardization <https://www.iso.org/>

Lim S., Yu S., ChangSoo Han & MaingKyu Kang (2010), "Palletizing Simulator Using Optimized Pattern and Trajectory Generation Algorithm," INTECH Open Access Publisher, pp. 281-300. March 2010. <http://dx.doi.org/10.5772/8929>

Pepper M.P.J., Spedding T.A. (2010) "The evolution of lean Six Sigma", International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 27 Issue: 2, pp.138-155, <https://doi.org/10.1108/02656711011014276>

Sitio licenciario de TOPS Software Corporation <http://www.lyl-ingenieria.com>
(Sitio corporativo TOPS: Topseng <http://topseng.com/>)

Sitio TreeDim propietario de PLMPack StackBuilder <http://www.treedim.com/stackbuilder/es/>

Soon-Jae Lee y Hye-Kyung Chung (2008) "Building a framework to measure and minimize information risks" The information Management Journal. May-June 2008, p. 39-44.

Zimiga C., Vargas-Osorio S. (2016) "A Literature Review on the Pallet Loading Problem", Lámpsakos, no. 15. p. 69 – 80.
