

Planificación de la producción y remanufacturación con secuenciamento



Dr. Ing. Pedro Piñeyro

ppineyro@fing.edu.uy

Dpto. de Investigación Operativa
InCo – FING - UdelAR

Agenda

- Introducción:
 - El problema de dimensionamiento y secuenciamento de lotes de producción (DLSP).
 - Economía Circular y Remanufacturación.
- El DLSP con Remanufacturación (DLSR).
- Estudio del DLSR para el caso de un solo producto.
- Conclusiones y trabajos futuros.

Introducción

- Problema de dimensionamiento y secuenciamento de lotes de producción (DLSP por ***Discrete Lot-sizing and Scheduling Problem***): determinar la secuencia de los lotes de producción para un conjunto de productos y de máquinas, para satisfacer los requisitos de demanda a tiempo, minimizando la suma de los costos de configuración (setup) y de mantener inventario.
- Política de producción ***all-or-nothing***: la producción es a capacidad total. Determina una velocidad de producción (cant. artículos/período).
- Períodos de tipo ***small-bucket***: se puede producir a lo sumo un producto por período.
- El costo de setup se activa al cambiar de producto.
- Introducido formalmente en Fleischmann (1990) para el caso de una sola máquina o línea de producción.
- El DLSP multiproducto, con costos de setup positivos y una única máquina es NP-hard (Salomon et al., 1991).

Introducción (cont.)

- Impacto negativo en el medio ambiente del paradigma económico tradicional de **hacer-usar-desechar**.



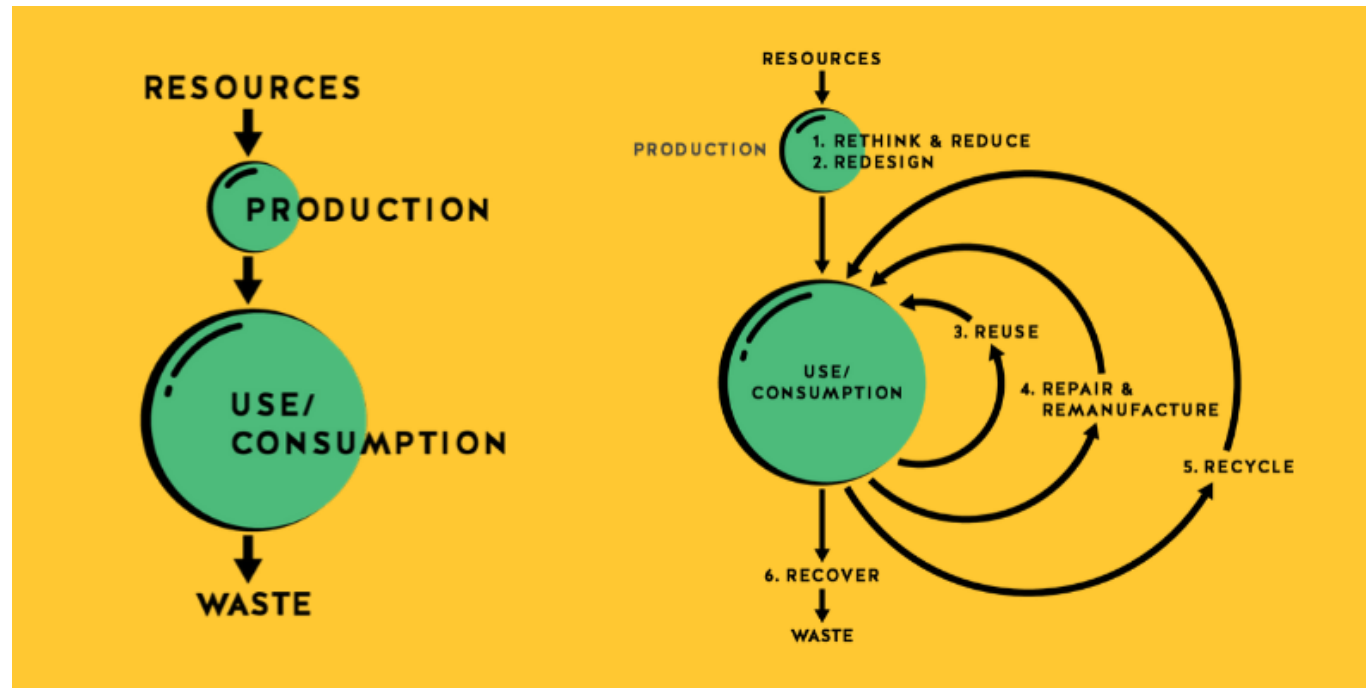
Discarded televisions and computers in Philadelphia. Mark Makela for The New York Times



A heap of metal and old electronics. Peter Yeung

Introducción (cont.)

- **Economía Circular:** un nuevo paradigma económico de producción, que promueve rescatar lo más posible el valor de los productos al final de su vida útil (***zero waste***).



Introducción (cont.)

- **Remanufacturación: Proceso industrial** que devuelve un producto usado (core) a su **condición original o incluso mejor**, y brinda al producto resultante una **garantía** de que sus prestaciones son al menos iguales que la de un producto recién fabricado (*as-good-as new*). (Ijomah 2002).
- Parte de la **columna vertebral de la Economía Circular** (European Remanufacturing Council, <http://www.remancouncil.eu/>)
- Situación **win-win-win** para el fabricante, el consumidor y el medioambiente. **Fabricante**: menor costo de producción (ahorros de energía, materias primas,...). **Cliente**: misma (o mayor) calidad a menor precio (generalmente). **Medioambiente**: reducción de emisiones y de uso de materias primas y de energía.

Remanufacturación

El precio de los productos remanufacturados puede ser entre un 30% y un 60% más bajo, en comparación con los productos nuevos. Con la remanufacturación se puede ahorrar entre un 70% y un 80% de recursos y energía, en comparación con la fabricación de productos nuevos. (Kang et al., 2018)

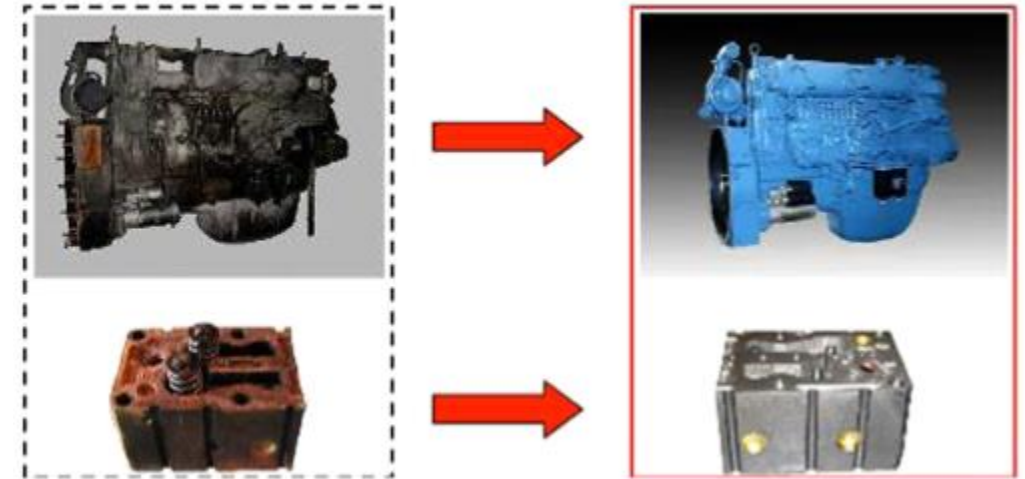


Fig. A1. Disposed autoengines and remanufactured autoengines.

Fuente: Wang et al. (2018)

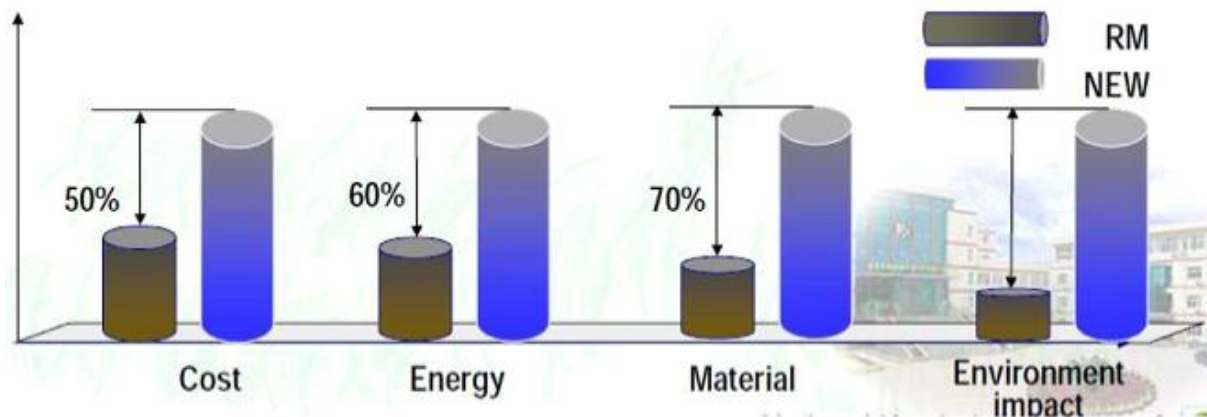
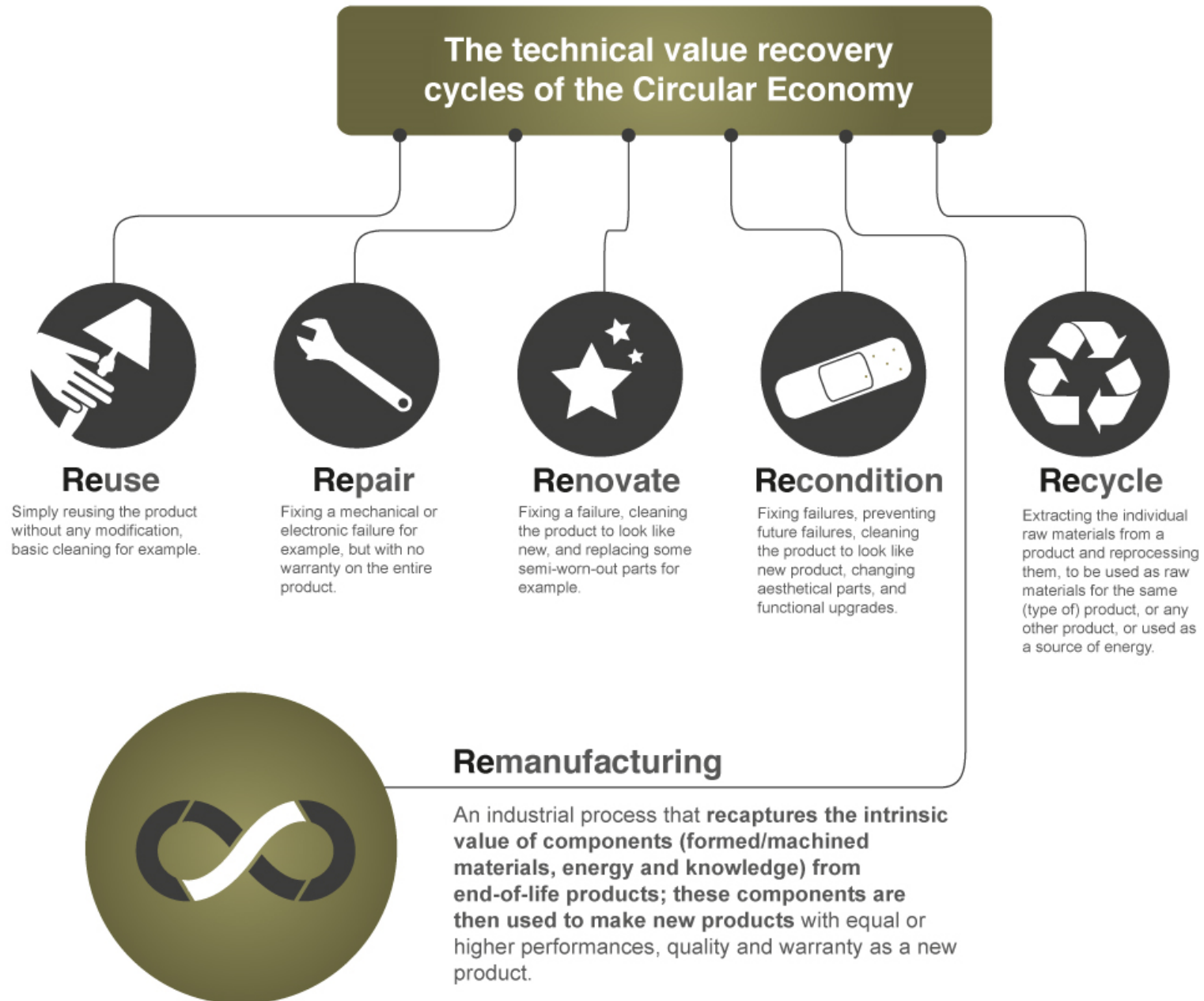


Fig. A2. Features of remanufactured engines.

Fuente: Wang et al. (2018)

Mercados:
\$43B (EEUU 2011),
\$33B (Europa 2014),
\$1.4B (Japón).
(Kang et al., 2018)



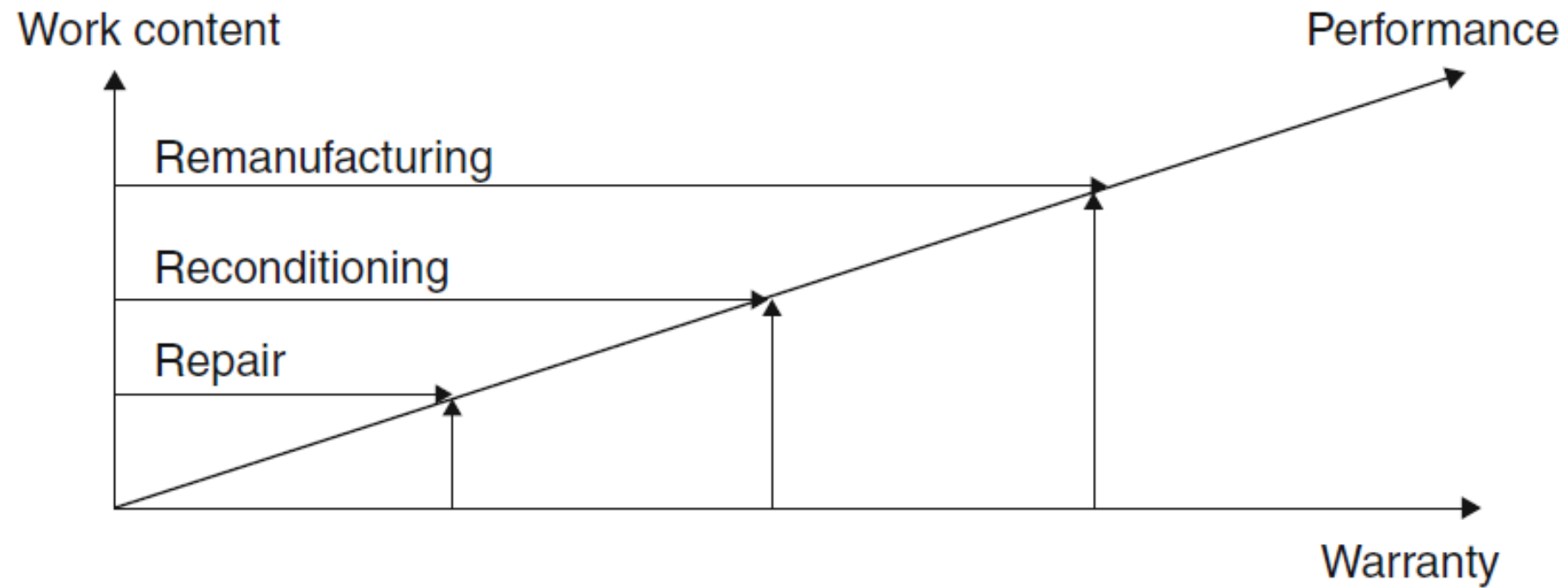


Fig. 23.1 A hierarchy of product recovery processes (Ijomah 2002)

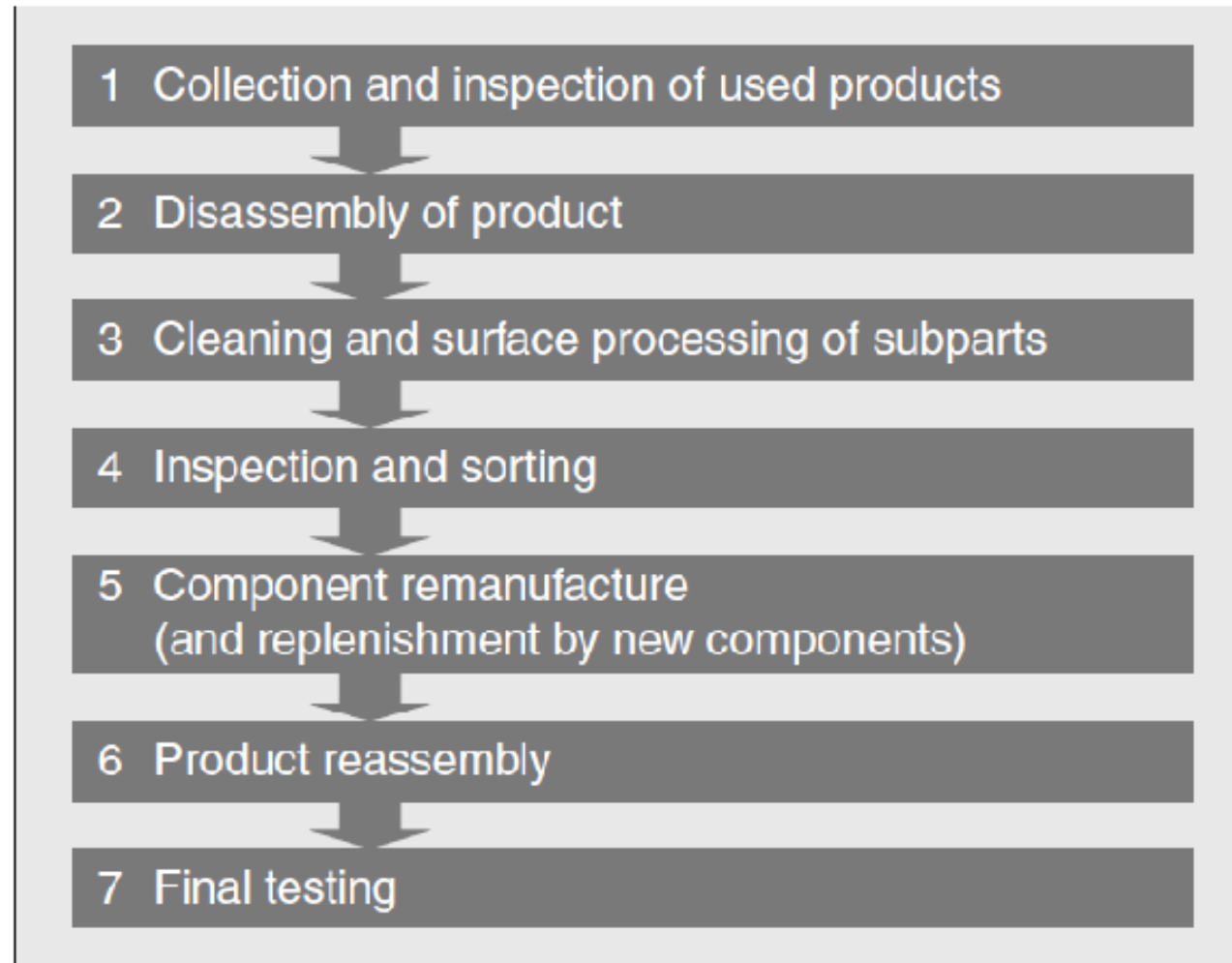
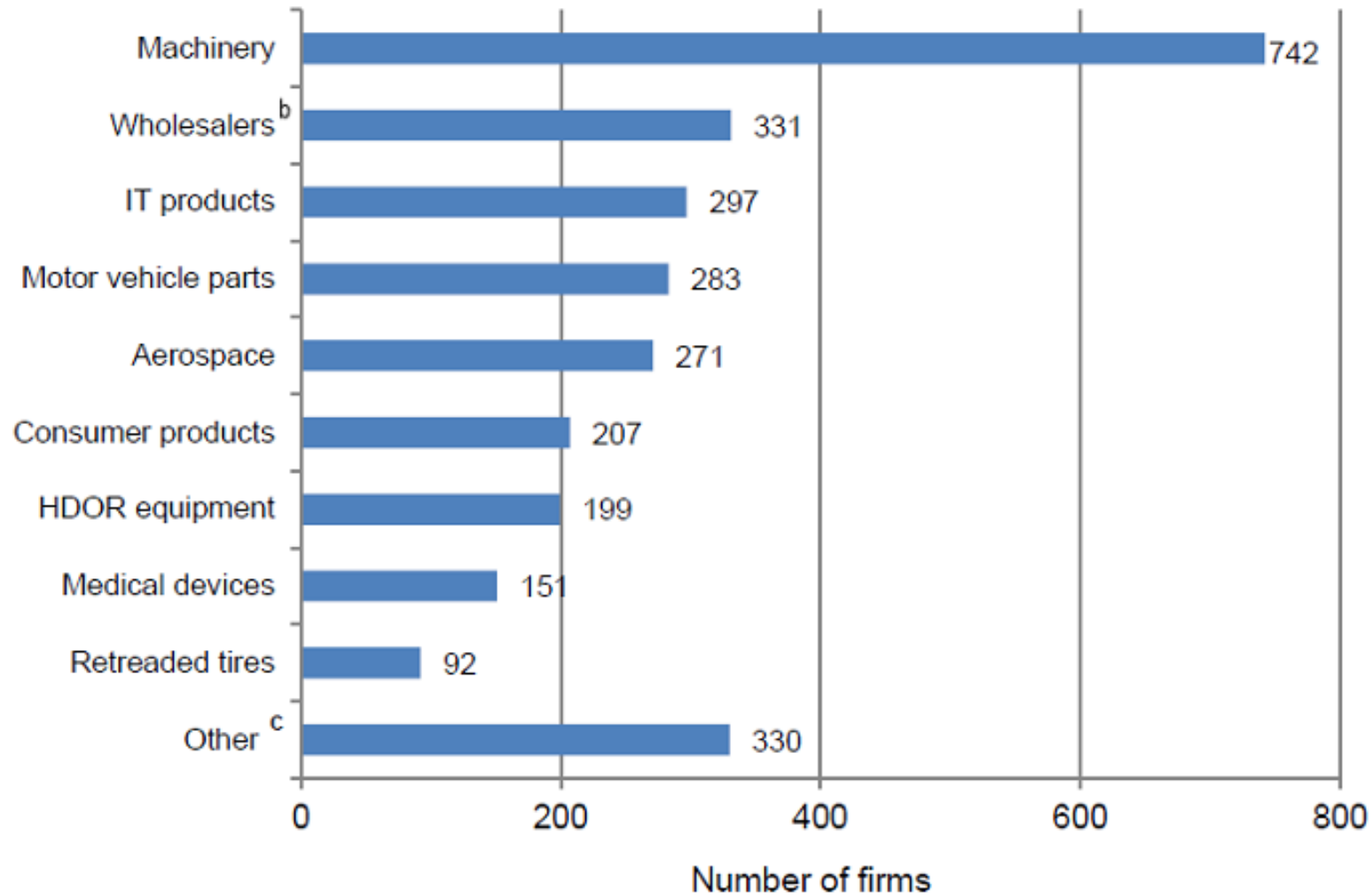


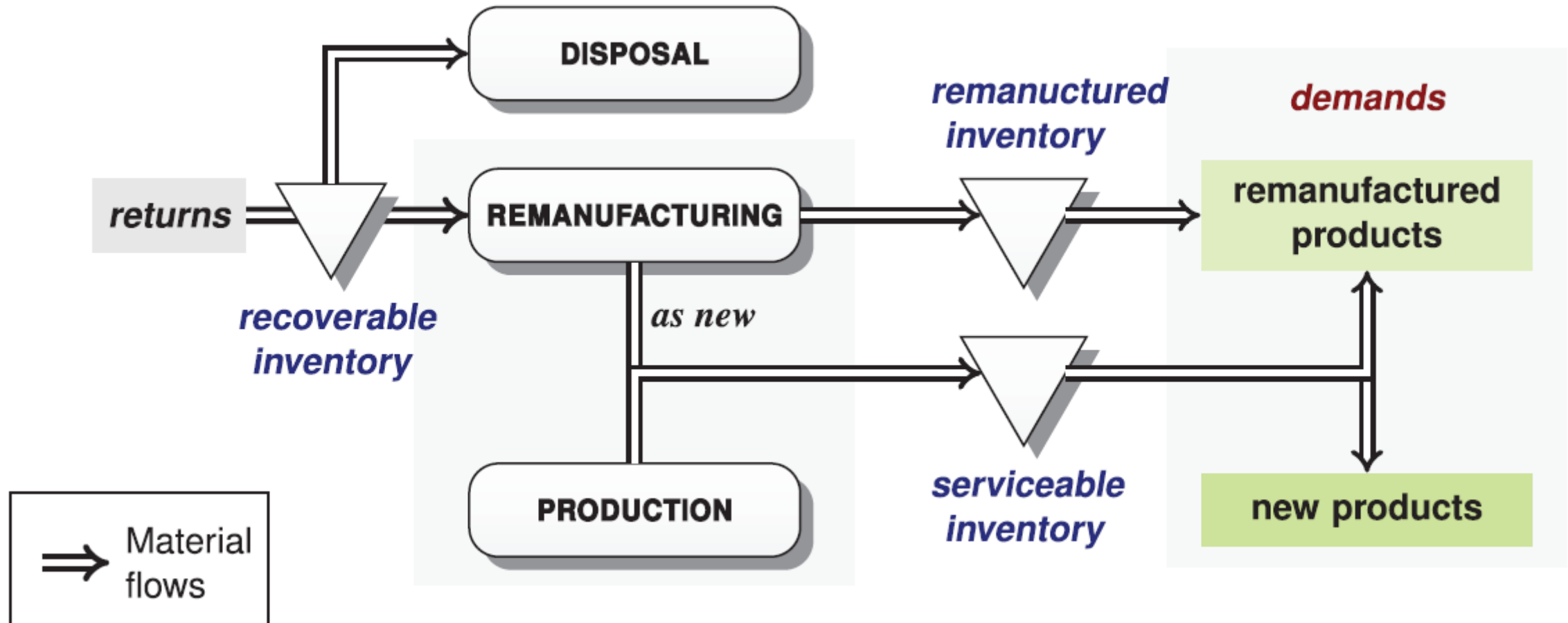
FIGURE 2.1 Remanufactured goods: Estimated number of U.S. remanufacturers^a by sector, 2011



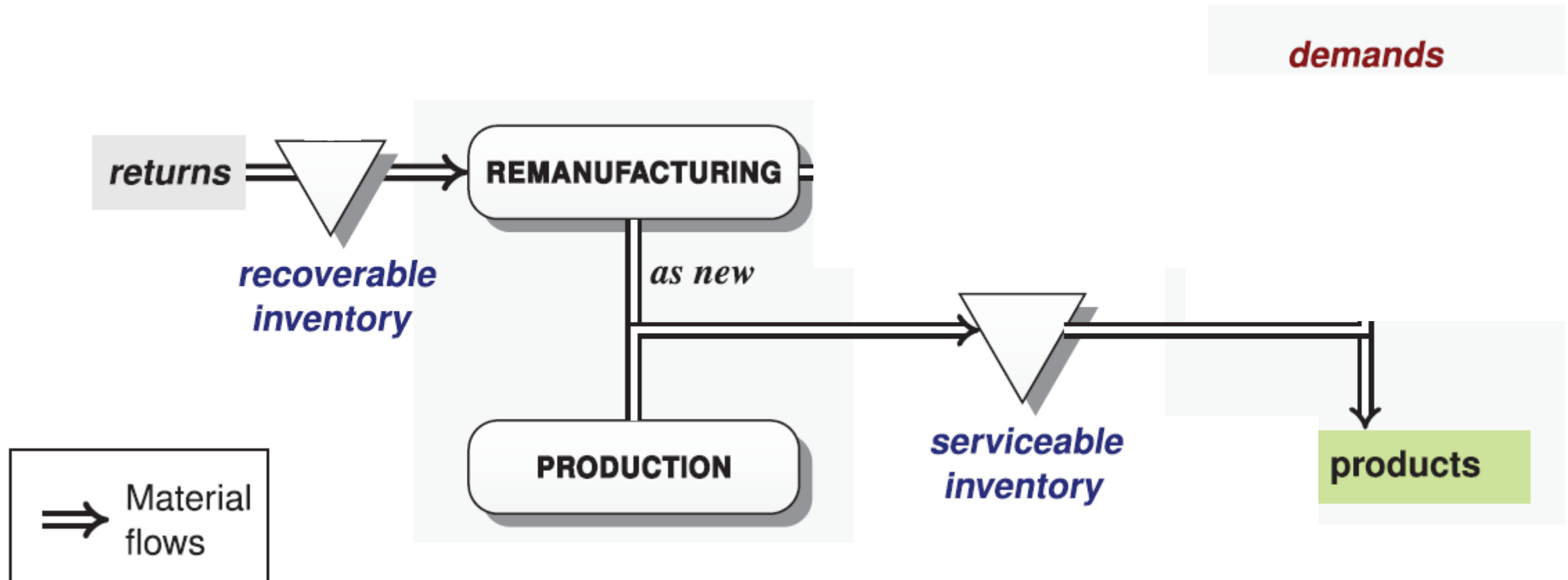
Remanufactured Goods: An Overview of the U.S. and Global Industries, Markets, and Trade.

Investigation No. 332-525
USITC Publication 4356
October 2012

Sistema de Producción con Remanufacturación



Sistema de Producción con Remanufacturación





International Conference of Production Research – Americas

↳ ICPR-Americas 2020: **Production Research** pp 102–112 | Cite as

[Home](#) > [Production Research](#) > Conference paper

Simultaneous Lot-Sizing and Scheduling with Recovery Options: Problem Formulation and Analysis of the Single-Product Case

[Pedro Piñeyro](#)  & [Daniel Alejandro Rossit](#)

Conference paper | [First Online: 12 May 2021](#)

DLSR: DLSP con Remanufacturación

- Extensión del DLSP para **considerar el flujo de productos usados (retornos) y su remanufacturación.**
- La demanda se puede satisfacer también con productos remanufacturados.
- **Inventarios de retornos y productos finales** (producidos y remanufacturados).
- Tiempo discreto y horizonte de planificación finito.
- Valores de demanda y retornos conocidos y dinámicos.
- **Un sola máquina o línea de producción/remanufacturación.**
- Costos estacionarios (cambio de configuración e inventarios).
- La demanda se debe cumplir a tiempo (sin retrasos).
- Tiempos de entrega instantáneos.
- Retornos de calidad homogénea.

DLSR: formulación matemática MILP

$$\min \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T (K_j^p z_{jt}^p + K_j^r z_{jt}^r + h_j^s I_{jt}^s + h_j^u I_{jt}^u) \quad (1)$$

Balance de inventarios

$$\text{s.t. } I_{jt}^s = I_{j(t-1)}^s + p_j y_{jt}^p + r_j y_{jt}^r - D_{jt}, \quad \forall j, t > 0 \quad (2)$$

$$I_{jt}^u = I_{j(t-1)}^u + R_{jt} - r_j y_{jt}^r, \quad \forall j, t > 0 \quad (3)$$

Solo producir o remanufacturar

$$\sum_{j=1}^J (y_{jt}^p + y_{jt}^r) \leq 1, \quad \forall t > 0 \quad (4)$$

Cambio de configuración

$$z_{jt}^p = y_{jt}^p - y_{j(t-1)}^p, \quad \forall j, t > 0 \quad (5)$$

$$z_{jt}^r = y_{jt}^r - y_{j(t-1)}^r, \quad \forall j, t > 0 \quad (6)$$

Estado inicial del sistema

$$I_{j0}^s = I_{j0}^u = y_{j0}^p = y_{j0}^r = 0, \quad \forall j \quad (7)$$

Dominio de las variables

$$I_{jt}^s, I_{jt}^u \geq 0, \quad \forall j, t \quad (8)$$

$$y_{jt}^p, y_{jt}^r, z_{jt}^p, z_{jt}^r \in \{0, 1\}, \quad \forall j, t \quad (9)$$

Estudio del DLSR de un solo producto ($j = 1$)

- Analizar el DLSR en el caso de un solo producto con **retornos a bajo costo** (a lo sumo igual a los costos de los productos nuevos).
- Comparar la eficiencia tanto en **costos** como en **tiempo de resolución** para los **problemas con y sin retornos**.
- Estudio basado en las instancias propuestas en Teunter et al. (2006) y Schulz (2011) para el problema de dimensionamiento de lote económico con remanufactura (ELSR).
- 22 períodos, demanda = $N(100, 20)$, retornos = $N(\{50, 70, 100\}, 20)$, costos de setup rem. = $\{200, 500, \underline{2000}\}$, costo inv. retornos = $\{0.2, 0.5, 0.8\}$, velocidad rem. = $\{\underline{200}, 300, 400\}$, costo inv. finales = 1.
- **$3^4 = 81$ configuraciones, 10 instancias: 810 instancias en total.**
- Por cada configuración, se consideraron 22, 44, 66, 88, 110 y 132 períodos: $81 \times 6 = 486$ **instancias grandes en total.**
- Los modelos se resolvieron con AMPL/CPLEX 12.9.0.0 **con un tiempo límite de ejecución de 1800s**, en una PC Windows, 8 CPUs Core i7-6700 3.40 GHz, 24 GB de RAM.

DLSR vs DLSP: resultados para 22 períodos

		<i>Average</i>		<i>Stand. desv.</i>		<i>Maximum</i>	
		DLSR	DLSP	DLSR	DLSP	DLSR	DLSP
<i>All instances</i>		12480.1	10828.9	2858.7	413.6	21086.2	12065.0
R_{1t}	50	12653.5	10837.5	2206.8	402.9	18098.0	12065.0
	70	12625.5	10841.8	2671.6	438.0	19351.6	11930.0
	100	12161.3	10807.3	3523.8	399.4	21086.2	12007.0
K_1^r	200	10447.5	10834.4	1890.4	407.0	14865.8	12065.0
	500	11553.2	10816.9	1712.9	413.3	15839.8	11868.0
	2000	15439.6	10835.3	2066.4	421.6	21086.2	12007.0
h_1^u	0.2	10600.6	10804.5	2116.3	393.0	15177.6	11794.0
	0.5	12582.6	10850.2	2483.1	442.9	17746.0	12065.0
	0.8	14257.1	10831.9	2684.7	403.4	21086.2	11930.0
r_1	200	11519.7	10846.1	2672.3	419.6	17711.6	12065.0
	300	12610.2	10819.1	2825.5	433.9	20403.2	12007.0
	400	13310.3	10821.5	2796.2	386.9	21086.2	11930.0

En general, las soluciones óptimas del DLSP tienen un costo menor que las del DLSR (15% más bajo), y son más estables.

Para las 90 instancias con $K_1^r = 200$ y $h_1^u = 0.2$, el costo promedio de las soluciones óptimas del DLSR es menor que el de las del DLSP, con diferencias de hasta un 35% a favor del DLSR.

El número de instancias para el cual el costo es favorable para el problema con retornos y remanufactura es 255, esto es un 30% del total de instancias.

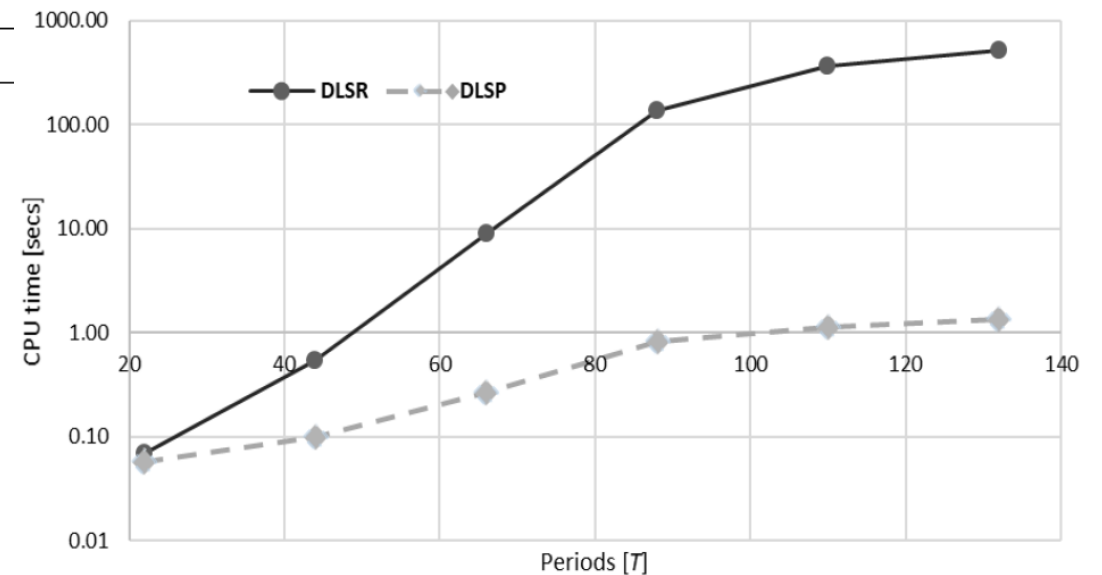
DLSR vs DLSP: resultados para 22 períodos (cont.)

		DLSR	DLSP	Gap	
		50	11217.9	10789.1	4.0%
R_{1t}	70	10778.4	10877.5	-0.9%	
	100	9346.2	10836.6	-13.8%	
	0.2	8736.0	10831.8	-19.3%	
$K_1^r = 200$	h_1^u 0.5	10520.5	10816.1	-2.7%	
	0.8	12086.0	10855.3	11.3%	
	200	9415.7	10881.8	-13.5%	
r_1	300	10527.7	10810.3	-2.6%	
	400	11399.1	10811.1	5.4%	

		DLSR	DLSP	Gap	
		50	10938.7	10812.1	1.2%
R_{1t}	70	10636.5	10856.8	-2.0%	
	100	10226.5	10744.7	-4.8%	
	200	8736.0	10831.8	-19.3%	
$h_1^u = 0.2$	K_1^r 500	9862.4	10808.2	-8.8%	
	2000	13203.3	10773.7	22.6%	
	200	9881.1	10833.5	-8.8%	
r_1	300	10740.5	10801.3	-0.6%	
	400	11180.1	10778.9	3.7%	

DLSR vs DLSP: resultados para instancias grandes

T	DLSR		DLSP	
	Runtime	#Tim.lim.	Runtime	#Tim.lim.
22	0.07	0	0.006	0
44	0.53	0	0.10	0
66	9.02	0	0.26	0
88	134.03	4	0.82	0
110	362.44	13	1.11	0
132	513.67	19	1.34	0



Conclusiones

- Desarrollo de una formulación MILP para el DLSR multiproducto y de una sola máquina.
- Evaluación del MILP propuesto para el caso de un solo producto.
- Resultados de la experimentación numérica:
 1. La remanufacturación puede ofrecer beneficios económicos en aquellos casos con retornos de muy bajo costo.
 2. Velocidades de producción y remanufacturación similares parecen ser una configuración más favorable, incluso en aquellos casos con muchos retornos (similares a la demanda).
 3. El DLSR es (mucho) más difícil de resolver que el DLSP. Conjetura: el DLSR es un problema NP-hard.

Trabajo futuro

- Análisis de la complejidad del DLSR, en particular, para confirmar la conjetura NP-hard para el caso de un solo producto.
- Desarrollo de procedimientos de resolución eficientes y efectivos para el DLSR, como por ejemplo heurísticas constructivas o basados en técnicas metaheurísticas.
- Estudiar casos particulares como retornos suficientes en el primer período o el caso en que puede haber producción y remanufacturación en el mismo período (máquinas/líneas separadas).
- Estudiar supuestos más realistas: entornos multiproducto, multimáquina, calidad heterogénea de los retornos, incertidumbre en los parámetros, etc.

Referencias (selección)

- **Fleischmann (1990)**: The discrete lot-sizing and scheduling problem. *European Journal of Operational Research* 44(3), 337–348.
- **Salomon et al. (1991)**: Some extensions of the discrete lotsizing and scheduling problem. *Management Science* 37(7), 801–812.
- **Suzanne et al. (2020)**: Towards circular economy in production planning: challenges and opportunities. *European Journal of Operational Research* 287(1), 168–190.
- **Teunter et al. (2006)**: Dynamic lot sizing with product returns and remanufacturing. *International Journal of Production Research* 44(20), 4377–4400.
- **Schulz (2011)**: A new silver-meal based heuristic for the single-item dynamic lot sizing problem with returns and remanufacturing. *International Journal of Production Research* 49(9), 2519–2533.
- **Piñeyro and Rossit (2021)**: Simultaneous lot-sizing and scheduling with recovery options: Problem formulation and analysis of the single-product Case. In: Rossit, D.A., Tohmé, F., Mejía Delgadillo, G. (eds) Production Research. ICPR-Americas 2020. *Communications in Computer and Information Science*, vol 1408. Springer, Cham.

Muchas gracias !!



Dr. Ing. Pedro Piñeyro

ppineyro@fing.edu.uy

Dpto. de Investigación Operativa
InCo – FING - UdelAR