



**Universidad de Valladolid**



**Escuela de Ingenierías Industriales**



TRABAJO FIN DE MASTER

# **Desarrollo de un simulador de la producción programado en Excel**

Autor:

D. Alberto Blanco González

Tutor:

D. Ángel Gento Muncio

(JULIO 2019)





# Resumen

En este proyecto de fin de máster se explica el funcionamiento de una herramienta de simulación programada en Microsoft Excel por el autor. Este útil se ha desarrollado tomando como base la producción tres simulada en la Escuela Lean de la Universidad de Valladolid, pero puede ser fácilmente adaptable posteriormente a una infinidad de necesidades de cualquier empresa manufacturera.

El útil totalmente flexible, permite el cambio de los parámetros de entrada, simula una producción en cadena, y el flujo logístico de las piezas, por lo que nos permite obtener en un laboratorio de ensayo los resultados producidos por la modificación de cualquier parámetro logístico o productivo.

Una vez desarrollada la herramienta, se centra y desarrolla un estudio para optimizar el beneficio de un proyecto de producción, buscando el equilibrio entre inversión en medios industriales y costes asociados a la penuria de estos.



# Abstract

This end-of-master project explains the operation of a simulation tool programmed in Microsoft Excel by the author. This tool has been developed based on the production three simulated at the Lean School of the University of Valladolid but can be easily adapted later to an infinite number of needs of any manufacturing company.

The totally flexible tool allows the change of the input parameters, simulates a chain production, and the logistic flow of the pieces, which allows us to obtain in a test laboratory the results produced by the modification of any logistic or productive parameter.

Once the tool has been developed, a study is centered and developed to optimize the benefit of a production project, seeking a balance between investment in industrial resources and the costs associated with their penury.

# Agradecimientos

El autor quiere expresar en primer lugar su más profundo agradecimiento a todas las personas de su más cercano alrededor, los cuales le han ayudado en todo lo que se ha encontrado en su mano, bien técnicamente o bien anímicamente, o ambas dos. Gracias a todos ellos porque si no este proyecto seguramente habría quedado sin concluir. Gracias Pilar y Juanjo, Julia y Dionisio, Cristina y Jorge, Elsa. Gracias a todos.

A la empresa donde desarrolla su labor profesional el autor, Renault España S.A., porque sin lugar a dudas es la fuente principal de conocimientos del autor en el ámbito logístico e industrial. Y por supuesto, gracias a todos y cada uno de los compañeros de trabajo, de los cuales no queda un día sin que aprenda algo de ellos.

Agradecimientos, por último, pero no menos importante a Ángel tutor de este proyecto, y a la Universidad de Valladolid, y al resto de profesorado el cual es clave en la preparación del alumnado para una posterior adaptación a la vida laboral.



# Índice

<b>Resumen .....</b>	<b>ii</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>iii</b>
<b>Agradecimientos .....</b>	<b>iv</b>
<b>Índice.....</b>	<b>v</b>
<b>Índice de Ilustraciones.....</b>	<b>ix</b>
<b>Abreviaturas .....</b>	<b>xiv</b>
<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. <i>Justificación, motivación, y objetivos. ....</i>	<i>1</i>
1.2. <i>Alcance.....</i>	<i>2</i>
1.3. <i>Estructura del tomo .....</i>	<i>3</i>
<b>Capítulo 2. Escuela Lean.....</b>	<b>5</b>
2.1. <i>Universidad de Valladolid .....</i>	<i>5</i>
2.2. <i>Renault.....</i>	<i>6</i>
2.3. <i>Renault Nissan Consulting. ....</i>	<i>7</i>
2.4. <i>Colaboración Universidad y Empresa .....</i>	<i>8</i>
2.4.1. <i>Renault y Universidad de Valladolid: más de 15 años de colaboración</i>	<i>9</i>
2.5. <i>Escuela Lean. ¿Qué es? ¿Qué objetivos tiene? .....</i>	<i>10</i>
2.5.1. <i>Locales para la escuela Lean y su transformación en un ambiente industrial</i>	<i>12</i>
2.6. <i>Productos de la escuela Lean .....</i>	<i>13</i>
2.6.1. <i>El coche.....</i>	<i>13</i>
2.6.2. <i>El solectrón.....</i>	<i>15</i>

## Índice

### Introducción

---

2.7. <i>Nociones básicas introductorias a la simulación</i> .....	17
2.7.1. Tipos de simulaciones .....	17
2.7.2. Sistemas.....	18
2.7.2.1. Clases de sistemas .....	19
2.7.2.2. Modelos.....	20
2.7.3. Etapas de una simulación .....	21
2.8. <i>Simulación Montecarlo</i> .....	22
2.8.1. Generación de números aleatorios.....	22
<b>Capítulo 3. Desarrollo del simulador</b> .....	<b>27</b>
3.1. <i>Software de simulación empleado. Microsoft Excel</i> .....	27
3.1.1. Generación de números aleatorios en Excel.....	32
3.2. <i>Sistema y modelo</i> .....	33
3.3. <i>Guía de Usuario</i> .....	41
3.3.1. Pestaña 2. Datos maestros.....	41
3.3.2. Pestaña 3. Equilibrado de cadenas.....	43
3.3.3. Pestaña 1. Simulador .....	48
3.3.4. Pestaña 4. Tabla de tiempos.....	49
3.3.5. Pestaña 5. Datos Eco.....	51
3.3.6. Pestaña 6. Flujograma .....	52
3.3.7. Pestaña 7. S0.....	52
3.3.8. Pestaña 8 a 11 y 14 a 17. Puestos de Montaje y Reciclaje.....	54
3.3.9. Pestaña 12. S1 - Stock intermedio de producto terminado (bandejas).....	56
3.3.10. Pestaña S2. Stock inicial de la línea de reciclaje .....	57
3.3.11. Tabla de tiempos de espera de simulación.....	58
3.4. <i>Manual del programador</i> .....	58
<b>Capítulo 4. Optimización de un proceso con la herramienta desarrollada</b> .....	<b>60</b>



Introducción	
4.1. Simulación uno. (Doce bases).....	60
4.1.1. Parámetros de la simulación uno. ....	60
4.1.2. Resultados de la simulación.....	61
4.2. Simulación dos. (Once bases).....	64
4.3. Simulación tres. (Diez bases).....	67
4.4. Simulación cuatro. (Nueve bases).....	70
4.5. Simulación cinco. (ocho bases).....	73
<b>Capítulo 5. Estudio económico.....</b>	<b>76</b>
<b>Conclusiones y futuros desarrollos .....</b>	<b>77</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>79</b>





# Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Logotipo de la Universidad de Valladolid .....	5
Ilustración 2. Logotipo de Renault .....	7
Ilustración 3. Logo de Renault Nissan Consulting .....	8
Ilustración 4. Aula Renault-Nissan Consulting (Universidad de Valladolid) .....	9
Ilustración 5. Edificio "Sede Francisco Mendizábal" - Universidad de Valladolid ...	10
Ilustración 6. Laboratorio de química, antes de convertirse en la Escuela Lean. ...	12
Ilustración 7. Escuela Lean. ....	12
Ilustración 8. Estanterías de la escuela Lean. Móvil (Izquierda) y Fija (derecha)...	13
Ilustración 9. Pick-up y Monovolumen. Productos finales de la escuela Lean. ....	14
Ilustración 10. Solectrón montado (izquierda). Base (derecha).....	15
Ilustración 11. Anillo nivel impar (izquierda). Anillo nivel par (derecha).....	15
Ilustración 12. De.spiece y montaje de un solectrón .....	16
Ilustración 13. Método de cuadrados medios. Ejemplo. ....	23
Ilustración 14. Método de cuadrados medios. (xo: 2334 y 1358) .....	24
Ilustración 15. Método de Lehmer. Ejemplo. ....	24
Ilustración 16. Logotipo de Microsoft.....	27
Ilustración 17. Logotipo de 1-2-3.....	27
Ilustración 18. Logotipo de Excel.....	27
Ilustración 19. Ejemplo de función SI .....	28
Ilustración 20. Ejemplo fórmula BuscarV.....	30
Ilustración 21. Ejemplo función coincidir. ....	30
Ilustración 22. Ejemplo Función Elegir .....	31
Ilustración 23. Ejemplo Función Índice.....	31

## Índice de Ilustraciones

Introducción	
Ilustración 24. Tabla de funciones matemáticas más utilizadas .....	32
Ilustración 25. Tabla de números primos de Mersenne. (Fuente: <a href="https://bit.ly/2WBma17">https://bit.ly/2WBma17</a> ) .....	33
Ilustración 26. Lay Out y proceso de la producción 3.....	34
Ilustración 27. Representación flujo Montaje.....	35
Ilustración 28. Secuenciación de ordenes. Film de producción.....	36
Ilustración 29. Reglas básicas de montaje del solectrón.....	36
Ilustración 30. Representación de flujo Reciclean.....	37
Ilustración 31. Reglas básicas de desmonte del solectrón .....	38
Ilustración 32. Arriba representación del sistema. Abajo representación del modelo. .....	39
Ilustración 33. Vista general interfaz, pestaña "Datos Maestros" .....	42
Ilustración 34. Vista en detalle. Datos maestros - Tablas de tiempos de operación. .....	42
Ilustración 35. Datos Maestros. Parámetros dotación y económicos. ....	43
Ilustración 36. Explicación de la importancia de un buen equilibrado de cadenas .	44
Ilustración 37. Interfaz pestaña "Equilibrado de cadenas" .....	45
Ilustración 38. Reglas de asignación de montaje y desmontaje .....	46
Ilustración 39. Parametrage de las operaciones por puesto. Manual de Usuario....	46
Ilustración 40. Error de duplicidad de asignación / Check comprobación no duplicidad .....	46
Ilustración 41. Check de verificación de asignación.....	47
Ilustración 42. Tiempo óptimo de cada tarea (azul) y tiempo acumulado por puesto (rojo).....	47
Ilustración 43. Interfaz del simulador.....	48
Ilustración 44. Tabla de tiempos .....	50
Ilustración 45. Pestaña Datos Eco .....	51
Ilustración 46. Tabla Stock.....	53



Introducción

---

Ilustración 47. Tabla Salida .....	53
Ilustración 48. Tabla Entrada .....	53
Ilustración 49. Film de producción (M01). .....	54
Ilustración 50. Inicio de la producción (M01) .....	55
Ilustración 51. Puestos de montaje/desmontaje - simulación de tiempos .....	55
Ilustración 52. Check de calidad + transmisión .....	56
Ilustración 53. Registro de tiempos del puesto.....	56
Ilustración 54. Tabla de tiempos por bandeja.....	57
Ilustración 55. Interfaz de S2.....	58
Ilustración 56. Características del hardware con el que se realiza la simulación. ...	58
Ilustración 57. Tiempos de simulación .....	58
Ilustración 58. Parametrización de tiempos en la simulación uno. ....	60
Ilustración 59. Parámetros simulación uno.....	61
Ilustración 60. Equilibrado de cadenas en la simulación uno. ....	61
Ilustración 61. Resultados simulación uno. ....	62
Ilustración 62. Indicadores simulación uno.....	62
Ilustración 63. Ganancias reducción de una base extra. Simulación uno-dos. ....	63
Ilustración 64. Resultados simulación dos. ....	64
Ilustración 65. Indicadores simulación dos.....	64
Ilustración 66. Comparativa de resultados promedios entre simulación uno y dos.	65
Ilustración 67. Gráficos comparativos simulación uno y dos. ....	65
Ilustración 68. Ganancias reducción de una base extra. Simulación dos-tres. ....	66
Ilustración 69. Resultados simulación tres. ....	67
Ilustración 70. Indicadores simulación tres.....	67
Ilustración 71. Evolución de resultados (Sim. 1 - Sim. 3) .....	68
Ilustración 72. Evolución de los indicadores. (Sim.1 - Sim 3.).....	68

## Índice de Ilustraciones

### Introducción

---

Ilustración 73. Ganancias reducción de una base extra. Simulación tres-cuatro. ..	69
Ilustración 74. Resultados simulación cuatro. ....	70
Ilustración 75. Indicadores simulación cuatro.....	70
Ilustración 76. Evolución de los indicadores. (Sim.1 - Sim 4.).....	71
Ilustración 77. Ganancias reducción de una base extra. Simulación cuatro-cinco.	72
Ilustración 78. Resultados simulación cinco.....	73
Ilustración 79. Indicadores simulación cinco. ....	73
Ilustración 80. Evolución de los indicadores. (Sim.1 - Sim 5.).....	74
Ilustración 81. Maximización de los beneficios - bases.....	75
Ilustración 82. Escandallo costes nuevo cliente. ....	76
Ilustración 83. Escandallo costes de cliente en cartera.....	76



## Índice de Ilustraciones



Introducción

---

# Abreviaturas

**EII:** Escuela de Ingenierías Industriales

**FOS:** Ficha de Operación Standard

**IR:** Índice de rentabilidad

**LV:** Lavadora (correspondiente a R04)

**MOX:** Puesto de Montaje x

**ROX:** Puesto de Reciclean x

**S0:** Stock Inicial

**S1:** Stock intermedio (bandejas)

**S2:** Stock Secundario

**Sim:** Simulación

**SO:** Sistema Operativo

**TFM:** Trabajo Fin de Máster

**UVa:** Universidad de Valladolid

**VBA:** Visual Basic for Applications



# Capítulo 1. Introducción

## 1.1. Justificación, motivación, y objetivos.

La temática de un Trabajo de Fin de Máster (TFM) es de libre elección para el alumno, que escoge un determinado tema en el que especializarse como culmen a su formación.

En este caso, este proyecto ha sido desarrollado por el alumno D. Alberto Blanco González, bajo el tutelado de D. Ángel Gento Municio y ha sido titulado “Desarrollo y aplicación de un simulador de la producción y sus flujos, programado en Excel”, como conclusión a la formación realizada entre septiembre de 2017 y mayo de 2018 en el Máster de Logística impartido en la Escuela de Ingenierías Industriales, perteneciente a la Universidad de Valladolid.

En el mencionado trabajo se ha realizado como bien indica el título, una herramienta programada en Excel que nos permita reproducir en condiciones de laboratorio, un sistema de producción industrial, a través del modelado de los flujos logísticos y productivos, con el objetivo de estudiar cómo se comportan los resultados de la producción al alterar cualquiera de las variables parametrizables.

Debido a la amplitud de alternativas y análisis posibles que se pudieran extraer de esta herramienta el autor se centrará en el estudio de los resultados de la simulación para maximizar el beneficio de un proyecto de producción, mediante la optimización de los medios a invertir a comienzo de proyecto.

Esta herramienta está basada en las prácticas realizadas en la Escuela Lean, desarrollada por la EII en colaboración con Renault-Nissan Consulting (se detalla en el capítulo 2 – “Escuela Lean”), en la cual se desarrolló un proceso formativo, práctico y experimental, para comprender los flujos productivos y logísticos de un proceso de fabricación en serie.

Los siguientes hechos han sido decisivos en mi motivación a la hora de elegir una temática y contenido para mi TFM:

1. Que estas prácticas anteriormente mencionadas me resultaran especialmente interesantes y útiles en el entorno de la logística y producción de cualquier empresa manufacturera.
2. Estar actualmente trabajando para una empresa de automoción, y poder valorar el gran beneficio de poder realizar simulaciones que nos permitan observar el resultado de distintos escenarios, antes de la aplicación de cualquier modificación o implantación.
3. Conocer la poderosa herramienta Microsoft Office Excel y el alto interés que me suscita debido al gran rendimiento que consigo obtener de ella en el ámbito laboral y personal.

Los principales objetivos de realizar este TFM son:

1. Profundizar y comprender los conceptos relacionados con una simulación de un proceso productivo, la teoría, sus utilidades y aplicaciones, las herramientas disponibles en el mercado para simularlo, el proceso de creación de una herramienta de simulación, y ver los resultados de la herramienta de simulación.
2. Conocer y comprender los flujos productivos y logísticos, así las posibilidades que nos ofrece su optimización mediante la reducción de los stocks y creación de un flujo tenso, que para una menor incertidumbre podemos simular los resultados antes de aplicarlos, y conocer los parámetros y características que debemos implantar para tener éxito, así como si llevar o no llevar a cabo la empresa.
3. Desarrollar conocimientos avanzados en programación de simuladores en Excel, que puedan ser operativos en cualquier ordenador.
4. Compartir parte de mi experiencia y conocimientos adquiridos durante el Máster.
5. Finalizar la formación en el Máster de Logística y obtener el título acreditativo correspondiente.

## 1.2. Alcance

En este apartado se pretende delimitar la amplitud y la profundidad del desarrollo y complejidad de este TFM, ya que los desarrollos principales (producción, flujos, simulación y Microsoft Excel) dan lugar a una infinidad de posibilidades y estudios a realizar, y los recursos y el tiempo para realizar este trabajo son, desafortunadamente, limitados.

**A nivel de producción y flujos**, nos centraremos en la tercera configuración de la producción en la escuela Lean, caracterizada por ser la de flujo más tenso y lograr una mayor producción, logrando también la reducción de los stocks y por lo tanto de todos los inconvenientes que estos tienen para las empresas productivas (mayor carga financiera, riesgo de obsolescencia/reducción del valor del mismo, ocultamiento de otras ineficiencias, coste de superficie y manipulación ...)

**A nivel de herramienta de simulación**, limitaremos la creación del simulador a la herramienta Microsoft Office Excel, mediante el uso de cadenas de funciones lógicas.

**A nivel de profundidad de desarrollo**, limitaremos el proyecto a la creación del simulador, la redacción de un manual de funcionamiento y la simulación de un proceso productivo, con unos parámetros dados (el simulador permitiría modificarlos y recrear infinitos escenarios), y mediante un profundo estudio de los resultados ofrecidos por el simulador lograr optimizar el beneficio del proyecto



### 1.3. Estructura del tomo

En este **primer capítulo** se está desarrollando la introducción que permite conocer el contexto en el que se ha elaborado este trabajo, las motivaciones que han impulsado a su realización, los objetivos que se quieren alcanzar mediante su desarrollo y la profundidad del estudio a realizar.

En el **segundo capítulo** se presentan tres de las partes fundamentales y necesarias en la elaboración de este TFM, como lo son la Universidad de Valladolid y la Escuela de Ingenieros Industriales y Renault, Renault-Nissan Consulting; todos ellos son causa raíz de la Escuela Lean, donde se ha realizado la experimentación que dio concepción a este TFM.

En el **tercer capítulo** se introduce el marco teórico en torno a la simulación y diferentes posibles herramientas que nos permiten realizar una simulación.

El **cuarto y quinto capítulo** son los capítulos troncales donde se desarrolla el grueso del TFM, se explica el manual de utilización y funcionamiento del mismo y los resultados de las simulaciones dado un escenario determinado.

En el **sexto capítulo** se detallan los costes incurridos en realizar este proyecto, y lo que debería facturarse a una empresa que solicitase este mismo trabajo o uno de características similares.

**Para finalizar** se han plasmado las conclusiones obtenidas del desarrollo del trabajo, así como posibles vías que ha observado el autor para un futuro desarrollo y ampliación del simulador.





## Capítulo 2. Escuela Lean

### 2.1. Universidad de Valladolid

La Universidad de Valladolid (UVa) es una universidad pública española. Fundada en el 1241, es la tercera universidad más antigua de España, por detrás de Palencia y Salamanca.

En el siglo XVI fue reconocida como una de las tres universidades más importantes del Reino, así como la Universidad de Salamanca y la de Alcalá de Henares. Ya en aquellos tiempos, la Facultad de Leyes y la de Medicina eran muy renombradas.

En los siglos posteriores se ve afectada por los vaivenes de las crisis políticas, económicas, etc. que padece la sociedad española.

Desde el inicio del siglo XIX la Universidad experimenta una serie de cambios que la transforman en una universidad centralizada y laica, aumenta considerablemente el número de alumnos y consigue gran influencia.

A principios del siglo XX van incorporándose poco a poco, las diferentes escuelas y facultades, tales como la Facultad de Filosofía y Letras (1917), la de Ciencias (1945), Escuelas Universitarias de Formación del Profesorado, Escuela Superior de Arquitectura (1971), Escuela Superior de Ingeniería Industrial (1975), etc. hasta su actual configuración.

Hoy se imparten estudios de pregrado y postgrado. Tiene siete campus distribuidos por cuatro ciudades de Castilla y León: Valladolid, Palencia, Soria y Segovia. Desde sus inicios, ha estado muy vinculada a la ciudad de Valladolid por la intensa actividad cultural y económica que siempre ha impulsado



---

## Universidad de Valladolid

Ilustración 1. Logotipo de la Universidad de Valladolid

## 2.2. Renault

La compañía Renault fue fundada en 1898 como *Société Renault Frères*, Louis, Marcel y Fernand Renault, unidos los tres hermanos con sus respectivas habilidades que trabajaban en la empresa textil de su padre.

Louis, ingeniero de profesión, utilizaba como taller una cabaña en Billancourt, (París) en donde ya había creado varios prototipos antes de que fabricaran su primer vehículo, el Renault *Voiturette*. A Louis le entusiasmaba la innovación y la competición. Así tuvo el éxito le llegó enseguida. En 1901 comenzaron la producción en serie.

Después empezaron a fabricar sus propios motores. En 1905 tienen un primer pedido de 250 taxis que más tarde serían utilizados por militares franceses en la Primera Guerra Mundial. En 1908 Renault fabricó unos 3.600 vehículos, siendo así la mayor fábrica de coches de Francia.

En 1911 se inauguran otros talleres para fabricar vehículos comerciales para el ejército francés. Viendo la necesidad de aumentar la productividad se introduce el taylorismo, algo muy nuevo en Francia.

El taylorismo es un método concebido por el estadounidense Frederick Taylor, economista e ingeniero, ideado para organizar la actividad laboral que consiste en especializar a los trabajadores, midiendo el tiempo dedicado a cada actividad y la división de tareas con la finalidad de incrementar la productividad. El taylorismo se le define según como: *“Método de organización del trabajo que persigue el aumento de la productividad mediante la máxima división de funciones, la especialización del trabajador y el control estricto del tiempo necesario para cada tarea.”* (RAE, taylorismo) Con el taylorismo el trabajo queda dividido en distintas secuencias. El tiempo que se necesita para realizar cada una de las secuencias se mide y cada operario se dedica exclusivamente a una secuencia, sin tener en cuenta los distintos pasos del resto del trabajo, así se consagra a una única etapa del proceso productivo, surgiendo así la especialización.

Durante la Primera Guerra Mundial Renault fabricó camiones, ambulancias, carros de combate, obuses, aviones ... Y una vez terminada, también se dedicó a la fabricación de maquinaria agrícola.

Ya antes de la Segunda Guerra Mundial, Renault fabricaba más de 58000 vehículos. En 1945 la empresa pasa a ser una industria del estado francés hasta 1990 que se convierte en sociedad anónima y en 1996 en empresa privada.

Concluida la guerra, restaura las plantas y empieza un nuevo período con nuevos retos. Abre sucursales, inaugura nuevas plantas: Flins en Francia, Valladolid en España, Japón y Sudáfrica... En Estados Unidos irrumpe con gran cantidad de ventas.

60 años después y habiendo padecido una fuerte crisis por el alza de los costes de producción, Renault sale de ella, apostando por la calidad total con el fin de no volver a sufrir crisis similares. Además, enfatiza la preocupación por el Medio Ambiente.



## Escuela Lean

---

Hoy cuenta con 7 plantas en Francia, 3 en España, 2 en Marruecos, 1 en Eslovenia, en Rumanía, Chile, Argentina, Portugal, Colombia, India, Turquía, Méjico.....

En España, Renault consideró Alcobendas (Madrid) para establecer la primera fábrica pero finalmente y gracias a las gestiones de D.Manuel Jiménez-Alfaro y el apoyo de D. José Luis Gutiérrez Semprún, la decisión recayó en esta ciudad. El contrato de cesión de licencias con la marca francesa se firmó en Febrero de 1951. En 1952/53 por las calles de Valladolid circulan los primeros R4.

En 1958 salen de la fábrica de Sevilla las primeras cajas de velocidad y en 1977 se inaugura en Villamauriel de Cerrato (Palencia) una nueva planta.

En España, además de las 3 fábricas, cuenta con diversas empresas: Renault España Comercial, Renault Retail Group, Sodicam, RCI y Renault-Nissan Consulting.



Ilustración 2. Logotipo de Renault

### 2.3. Renault Nissan Consulting.

Una de las empresas que forman el Grupo Renault es Renault-Nissan Consulting que comenzó su actividad de forma oficial en 1996 denominándose Instituto Renault de la Calidad y el Management (IRCM), con un objetivo esencial centrado en el desarrollo de actividades de formación (esencialmente en contenidos relacionados con la Calidad). Esto ha ido cambiando gradualmente hacia el terreno de la consultoría operacional en diversos sectores de actividad, con gran experiencia en Sistemas de Producción Lean, Logística, Concepción producto-proceso, Estrategia de empresa y Lean 6 Sigma Lean Service.

La finalidad de esta empresa es impulsar y ayudar a evolucionar los procesos productivos, comerciales y organizacionales, mediante la consultoría y la formación individualizada basada en la mejora continua, a fin de optimizar los resultados de manera rápida y perdurable.

Esta consultora de la Alianza Renault-Nissan-Mitsubishiy tiene sedes en: Francia, Inglaterra, Brasil, Rumanía, Japón, India y España. En la ilustración 3 puede verse el logo actual de Renault-Nissan Consulting.



Ilustración 3. Logo de Renault Nissan Consulting

## 2.4. Colaboración Universidad y Empresa

La colaboración más frecuente entre la Universidad y la empresa hoy en día, en España es la oferta de prácticas. Es una forma de cooperación entre ambas entidades.

Según un informe emitido por la Cámara de Comercio de España: “.... Un 57.6% de las empresas encuestadas afirma haber tenido un nivel elevado de cooperación con la Universidad a la hora de contratar recién titulados o cubrir plazas de prácticas en la empresa...” (La oferta de prácticas, colaboración más habitual entre la universidad y la empresa en España. Radiografía de la cooperación Universidad-Empresa en España, 19 de febrero 2015 - <https://bit.ly/2Kml1md>)

Incluso se da el caso con bastante asiduidad, que, terminadas las prácticas, los estudiantes son contratados por la empresa donde las han realizado, hecho éste muy valorado por las empresas por ser una ayuda en la gestión de los recursos humanos.

La colaboración beneficia a ambas partes por la confianza y compromiso mutuo y el interés de la Universidad por poder acceder al conocimiento práctico de las empresas, lo que proporciona a los estudiantes una formación complementaria de tipo preferentemente práctico.

Otra forma de cooperación entre la Universidad y la empresa es la Cátedra de Empresa ya que mejora las líneas de colaboración entre ambas instituciones a través de herramientas de gestión conjunta, basadas en la formación y la investigación.

La Cátedra de Empresa está formada por una Comisión compuesta de varios miembros de la universidad, entre los que hay un profesor que ostentará el cargo de director de la cátedra, y varios representantes de la empresa. En los últimos años, la Cátedra de Empresa ha crecido de forma importante en la universidad española, dada la necesidad de incrementar la relación del mundo universitario con el empresarial.

La universidad ofrece a la empresa los conocimientos de la investigación y ésta a su vez posibilita la integración de esos conocimientos para así beneficiarse ambas entidades de esa colaboración.



En definitiva, la colaboración Universidad-Empresa es muy provechosa por la transferencia de conocimiento entre ambas instituciones ya que de esta forma se enlaza conocimiento y experiencia.

### 2.4.1. Renault y Universidad de Valladolid: más de 15 años de colaboración

La colaboración entre Renault y la Uva se dio por primera vez en el 2004, cuando se creó el Aula del Instituto Renault (Ilustración 4).

Después, en el 2007 se creó la Cátedra Renault Consulting de Excelencia Industrial y Empresarial como resultado del acuerdo de colaboración entre Universidad de Valladolid y Renault Consulting con el deseo por ambas entidades de llegar a ser referencia de la cooperación Universidad-Empresa para la mejora de las empresas de la Comunidad, así como de sus profesionales.

La cátedra es un lugar en el que se dan cita los participantes de los ámbitos universitario (profesores, investigadores, estudiantes...) y empresarial (profesionales, empresarios, asociaciones...), para intercambiar conocimientos y experiencias con el objetivo de ayudar a optimizar el mundo universitario, el industrial y el de servicios de Castilla y León.



**Ilustración 4. Aula Renault-Nissan Consulting (Universidad de Valladolid)**

En 2012 se crea el programa Renault Experience. Se hace una selección entre los estudiantes de la Uva que lo solicitan, para participar en este programa de 200 horas de formación en diferentes materias. Una vez acabada la formación, los mejores alumnos serán elegidos para realizar prácticas remuneradas en el Grupo Renault.

Con programas como éste, que ha tenido y está teniendo muy buena acogida, se ve claramente el interés por ayudar a fomentar el empleo de calidad para los nuevos titulados.

Dos años después, en enero de 2014, Renault inauguró en Valladolid la Escuela Lean con la pretensión de llevar a la práctica el aprendizaje de la metodología Lean. *“Lean es una forma de trabajar y de organizarse en la empresa que busca maximizar el binomio eficiencia - satisfacción del cliente y llevar a las Organizaciones por el camino de la Excelencia Operacional.”* – Gabinete de comunicación de la Universidad de Valladolid. <https://bit.ly/2IfEovP>

## 2.5. Escuela Lean. ¿Qué es? ¿Qué objetivos tiene?

En enero de 2014, como apuntábamos en el capítulo precedente, se inauguró en Valladolid la Escuela Lean de Renault Consulting, sita en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, en la tercera planta del edificio de la antigua Escuela Politécnica, en la calle Francisco Mendizábal, (Ilustración 5) con la pretensión de llevar a la práctica el aprendizaje de esta metodología. Todas las formaciones que aquí se imparten están relacionadas con el Lean Manufacturing.

Como se acaba de comentar, la Escuela Lean es una simulación de un entorno industrial de más de 300m<sup>2</sup> en el que se imparten diversas formaciones relacionadas todas ellas con el Lean Manufacturing. Concretamente se encuentra en la tercera planta del edificio Francisco Mendizábal (ilustración 1.6), el cual pertenece a la Escuela de Ingenierías Industriales de la UVA



**Ilustración 5. Edificio "Sede Francisco Mendizábal" - Universidad de Valladolid**

Y como se decía también en el capítulo anterior, Lean es una manera de trabajar y de organizarse en las empresas con la finalidad de obtener los mejores resultados en la relación eficiencia-satisfacción del cliente a través de la Excelencia Operacional.



## Escuela Lean

---

Esta metodología tiene su origen en Japón en la industria automovilística. Hoy en día está muy extendida en la automoción, aunque en los últimos años se está también aplicando en otras industrias, así como en empresas de servicios.

La Escuela Lean es un lugar, simulacro de una fábrica real, que cuenta con una zona de formación y dos talleres de producción. La formación de los alumnos se realiza, por tanto, en un ambiente fabril, muy cercano a lo que es una fábrica, en el que se ponen en práctica las técnicas y los procedimientos de mejora continua y de resolución de problemas “in situ”, justo allí donde se producen, en el proo terreno. El lema de la escuela es “learning by doing”, que, traducido del inglés, viene a decir “aprender haciendo”.

Toda la formación que se imparte en la Escuela está relacionada con Lean Manufacturing.

Prácticamente todos los Jefes de Unidad, Jefes de Taller, Responsables de Departamento y otros cargos de Renault España, se han formado en esta Escuela, así como la mayoría de los trabajadores de la empresa han recibido la formación por excelencia: Justo A Tiempo avanzado.

La Escuela Lean ofrece a los universitarios la posibilidad de una formación práctica haciendo que se enfrenten a los problemas reales diarios que surgen en las fábricas, utilizando las diferentes herramientas del Lean Manufacturing, y donde queda patente la importancia de la mejora continua. De esta manera, la Escuela crea una conexión entre los alumnos y su futuro.

El método pedagógico utilizado en la Escuela Lean está basado el “*Learning by doing*” (aprender haciendo), al que ya se ha hecho mención anteriormente y que cada vez está más en auge. Con este sistema se desarrollan en paralelo los conocimientos, competencias y capacidades personales, se fomenta la anticipación, facilita el intercambio de ideas y se experimentan situaciones reales de la empresa en las que cada participante tiene que tomar decisiones estratégicas en casos prácticos, basados en la realidad, donde se pone de manifiesto la importancia del trabajo en equipo y el análisis de problemas.

Concluyendo, RNCE constató el absoluto desconocimiento que, en ciertas industrias, tenían las empresas, así como los alumnos universitarios de la importancia de trabajar para conseguir la excelencia operacional mediante la mejora continua y la utilización de las diferentes herramientas Lean.

Sabiendo la trascendencia de estas habilidades en cualquier industria que aspire a ser competitiva, se concibió la probabilidad de crear la Escuela Lean en colaboración con la Universidad, para impartir formación, por un lado, a los empleados del Grupo Renault y por otro, a los alumnos universitarios como futuros trabajadores de Renault o de cualquier otra empresa que busque la mejor trayectoria para alcanzar su máxima eficiencia.

### 2.5.1. Locales para la escuela Lean y su transformación en un ambiente industrial

La UVA cedió a Renault Nissan Consulting España la zona que ocupaba el Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente (Ilustraciones 6, 7) con una superficie de aproximadamente unos 300 m<sup>2</sup>, en el Edificio sito en la calle Francisco Mendizábal, de Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid.



Ilustración 6. Laboratorio de química, antes de convertirse en la Escuela Lean.



Ilustración 7. Escuela Lean.

En esta fábrica simulada, hay tres zonas:

- **Zona 1:** Un pequeño almacén para las prendas de seguridad (EPIS): batas, calzado, guantes, gafas... etc.
- **Zona 2:** Un despacho en el que se guarda todo el material utilizado en las diferentes formaciones y al que sólo tienen acceso los profesores.
- **Zona 3:** Una superficie destinada a la fábrica simulada y que ocupa la mayor parte de los 300 m<sup>2</sup>. Es en esta zona dónde los alumnos trabajan durante la formación. Aquí hay estanterías móviles para almacén de los operarios, estanterías fijas que representan los almacenes, así como mesas de diversas dimensiones. También cuenta con un espacio reservado para las reuniones.



## Escuela Lean

Y es en estas reuniones donde se fijan los objetivos, se explican las herramientas y se discuten las diferentes acciones a llevar a cabo



Ilustración 8. Estanterías de la escuela Lean. Móvil (Izquierda) y Fija (derecha).

## 2.6. Productos de la escuela Lean

Para la formación en la Escuela Lean se utilizan dos tipos de productos: el **coche L34N** y el **Solectrón**. Cada producto tiene propósitos diferentes para el alumno, pero ambos están pensados para simular un ambiente fabril, en el que un cliente demanda estos productos y la planta (alumnos) trabaja para fabricarlos. Como en una fábrica real, los problemas son continuos y las situaciones que se presentan deben ser resueltas para conseguir que el producto final llegue al cliente, en el plazo solicitado por éste.

### 2.6.1. El coche

El coche es un producto con forma de tal en miniatura. Se fabrican varias opciones y a las que el cliente podrá optar: monovolumen, pick-up, en color verde o azul, todo terreno (ilustración 9). El vehículo está compuesto por piezas desmontables tales como: puertas, delanteras y traseras, puerta del maletero, tubo de escape, base, ruedas, techo, asientos, salpicadero, parachoques delantero y trasero, placa de matrícula, perfiles metálicos y tornillos.



**Ilustración 9. Pick-up y Monovolumen. Productos finales de la escuela Lean.**

El monovolumen y el pick-up son dos vehículos muy diferentes.

Por el contrario, el todoterreno y el normal (berlina) son muy similares por lo que presenta mucha más dificultad distinguirlos porque sólo las ruedas y algunas piezas de tornillería son los elementos que los diferencian.

La formación en la que se utiliza el coche está enfocada a que el alumno aprenda de forma individual, en cada puesto de trabajo, lo que añade valor al producto que el cliente solicita e identifique todo aquello que no es necesario para eliminarlo. Una manera de facilitar esta labor es conocer los despilfarros, así como la utilización de herramientas tales como las 5S y la gestión visual. El alumno se percatará de la importancia de la estandarización y aprenderá a mejorar día a día, creando el hábito de la mejora continua.

Dado que el alumno está inmerso en un sistema productivo, aprenderá que la seguridad es lo más importante por lo que también será formado en esa materia, obligándole a cumplir las normas de seguridad en vigor en la fábrica.

Otra de las disciplinas de la formación es la ergonomía. Según el Diccionario de la lengua española, 2005 Espasa-Calpe, la ergonomía es: *“Ciencia que estudia la capacidad y la psicología del hombre en relación con su trabajo y la maquinaria y/o equipo que maneja y trata de mejorar las condiciones que se establecen entre ellos”*

La Ergonomía tiene como función principal adaptar las máquinas y los puestos de trabajo al hombre. Se trata de una ciencia interdisciplinar donde intervienen la psicología, la anatomía, ingeniería, arquitectura

La calidad es otra de las materias que se imparte en la Escuela Lean. El producto tiene que ser entregado al cliente con la calidad que demanda en las cantidades y plazos establecidos.

Otra de las herramientas que aprenderá el alumno con el coche es la SMED (*Single Minute Exchange of Die*) - *“Es una metodología o conjunto de técnicas de mejora*



*continua para reducir al máximo el tiempo que se tarda en realizar los cambios de maquinaria o equipos en el proceso productivo". <https://bit.ly/2WyUVEEn> - SMED.*

Ideada por Shigeo Shingo en los años 50, se ofrece como alternativa para abordar el reto de la producción contemporánea. Esta metodología establece una serie de etapas (Ver esquema 1) en las que se analizan profundamente las operaciones que se dan durante el proceso de cambio de lote, de herramienta, etc., haciendo posible una reducción muy importante del tiempo de preparación.

Cuando se aplica la técnica SMED en una fábrica, se consigue hacerla flexible y capaz de satisfacer la demanda de los clientes.

Como se deduce de lo expuesto, estas formaciones están centradas en el puesto de trabajo del operario y con más precisión, en la búsqueda de valor en cada puesto de trabajo de la fábrica y en la eliminación de todo lo que no aporte valor al producto final.

## 2.6.2. El solectrón

¿Qué es el Solectrón? (Ilustración 10 es un producto que asemeja un puzle en 3D. Formado por una base de aluminio sobre la que se atornillan cuatro niveles de piezas de color diferente. Cada capa o nivel del Solectrón está formada por cuatro piezas de distinta morfología que encajan a la perfección formando un anillo.



**Ilustración 10. Solectrón montado (izquierda). Base (derecha).**

Los niveles uno y tres y los niveles dos y cuatro son iguales entre sí. Hay pues dos tipos de capas o niveles, cada capa, como hemos dicho de 4 piezas, llamadas sectores, con taladros para alojar los tornillos. El otro tipo de capa, también compuesta por 4 piezas, como ya hemos visto, además de los taladros para alojar los tornillos, tienen otros orificios con forma poligonal o circular para alojar los insertos.

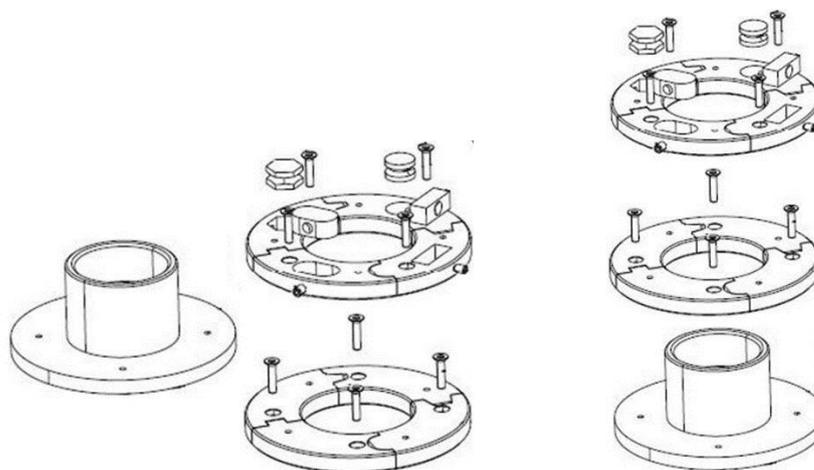


**Ilustración 11. Anillo nivel impar (izquierda). Anillo nivel par (derecha).**

## Desarrollo de un simulador de la producción programado en Excel

---

Con el Solectrón se pretende que el alumno aprenda a encontrar el flujo de valor, esto es, de forma diferente a lo que sucede con el coche, no hay que centrarse sólo en el valor que existe en cada puesto de trabajo, sino que hay que averiguar todos los despilfarros que se producen continuamente en una fábrica.



**Ilustración 12. De.spiece y montaje de un solectrón**



## Capítulo 3. Simulación, marco teórico

En este capítulo se desea realizar una breve introducción al marco teórico que rodea a una simulación, siempre teniendo como foco la simulación realizada, ya que el principal objetivo de este es dotar al lector de los conocimientos que el autor considera necesarios o útiles para comprender, poner en contexto y complementar el capítulo siguiente, que es el núcleo de este TFM: la realización y el desarrollo de una herramienta de simulación, así como los resultados de las simulaciones realizadas con la misma.

Hoy en día en cualquier ámbito del mundo empresarial se está continuamente sometido a la toma de decisiones, decisiones que determinarán el éxito o no éxito de la misión de la misma.

La simulación es una herramienta fundamental para esta toma de decisiones, nos permite elaborar un escenario ficticio y crear un sistema de constantes y variables, que basadas en el muestreo estadístico y en la aleatoriedad, nos darán los diferentes resultados y las probabilidades de los mismos. De esta forma podemos utilizar estas simulaciones como apoyo a la toma de decisiones, conociendo de antemano el resultado más probable, y como se altera según modifiquemos las diversas variables del sistema, sin tener que llegar a experimentar sobre la producción real con los costes y riesgos que esto significaría

### 3.1. Nociones básicas introductorias a la simulación

#### 3.1.1. Tipos de simulaciones

Según Fishman (1978) se establecen las siguientes categorías de simulaciones:

- **Identidad:** esta simulación se caracteriza por ser idéntica al modelo real, un ejemplo de ello son las empresas de producción de aviones, que emplean unidades reales para realizar las pruebas de aterrizaje y despegue en casos extremos sobre todas las unidades recién salidas de producción.
- **Cuasi-identidad:** se realiza la simulación en un modelo ligeramente modificado respecto al real de referencia. Un ejemplo de ello son las maniobras militares, se realiza todos los operativos de forma idéntica a una guerra, pero sin estarlo.
- **Laboratorio:** se realiza la simulación en un ambiente controlado, podemos distinguir dos tipos:
  - **Juego Operacional:** un grupo de gente compitiendo entre ella, y en paralelo un conjunto de ordenadores dando soporte y ayudando a la realización de la simulación.
  - **Hombre – Máquina:** tanto las personas como la máquina forman parte del modelo, compitiendo una contra la otra. Un claro ejemplo son las

partidas de ajedrez realizadas entre grandes ajedrecistas y una computadora.

- **Simulación por computadora:** se trata de un modelo programado en algún lenguaje computacional, y una vez realizada la programación, las personas quedan sin influencia en el resultado. Según el tipo de computadora, se distinguen dos tipos de simulaciones:
  - Digital
  - Analógica

En el caso de este TFM, nos centraremos en la simulación por computadora ya que es el tipo de simulación que realizaremos en este trabajo. Un simulador por computadora está compuesto por:

- **Un modelo:** conjunto de ecuaciones, reglas lógicas o modelo estadístico.
- **Un evaluador:** conjunto de procedimientos establecidos para determinar el resultado del feedback del simulador.
- **Interfaz:** la parte externa del modelo, aquellas pantallas en las cuales puede interactuar el usuario, definiendo algunos parámetros, recibiendo información de vuelta acerca de la simulación y a través del cual se le muestra el resultado final, los análisis, informes ...

### 3.1.2. Sistemas

Un sistema, según el Dr. Tarifa, es “una sección de la realidad que es el foco primario de un estudio y está compuesto de componentes que interactúan con otros de acuerdo a ciertas reglas dentro de una frontera identificada para el propósito del estudio”.

Se denominan entidades a los diferentes sub-componentes que forman un sistema, por ejemplo, en el caso de un avión tendríamos las siguientes entidades: turbina, cabina, plazas de pasajeros, tren de aterrizaje ... A su vez cada una de esas entidades puede tener uno o más parámetros o variables, los cuales adoptan unos atributos, por ejemplo, tren de aterrizaje bajado o subido; plaza n<sup>o</sup>1 de pasajero vacía o ocupada (parámetro 1), o plaza n<sup>o</sup>1 reclinada o recta (parámetro 2); turbina, encendida o apagada (parámetro 1), potencia (parámetro 2), temperatura de la turbina (parámetro 3) ...

El estado de un sistema en un tiempo determinado está determinado por el conjunto de valores obtenido por esas entidades.

Estas entidades están relacionadas entre ellas por medio de funciones, pudiendo ser:

- **Funciones estáticas o estructurales.** Ejemplo: el avión tiene cuatro turbinas propulsoras.
- **Funciones dinámicas o funcionales.** Ejemplo: tras despegar el tren de aterrizaje es subido.



Los parámetros en nuestro modelo, son fijados durante el diseño del mismo, así como sus características y los posibles valores que pueden adquirir. Estos parámetros pueden ser clasificados como:

- **Parámetros de entrada** (Exógenos): vienen dados por el entorno del sistema, y pueden ser manipulables (U) – Grado de potencia ejercida en la palanca de frenado - o no (D) – Nivel de oxígeno en el exterior del avión.
- **Parámetros de estado** (X): son constituidas por aquellas variables internas del sistema necesarias para describir el estado del mismo.
- **Parámetros de salida** (Y): lo conforman los parámetros de estado que finalmente son medidas y trascienden la frontera del sistema

### 3.1.2.1. Clases de sistemas

De acuerdo con Law and Kelton (Simulation Modeling & Analysis, 1991), un sistema según su naturaleza puede clasificarse como:

- **Determinístico o Estocástico**
  - **Determinístico:** estén sistema está caracterizado por no contener ningún elemento aleatorio, quedando así determinadas todas las variables de salida e internas, al parametrizar las variables de entrada y de estado.
  - **Estocástico:** lo que caracteriza a los sistemas discretos es tener una característica aleatoria, de tal forma que a pesar de conocer las variables de entrada no conocemos cuál será el resultado de salida. Incluso cuando tenemos un sistema determinístico, si las variables de entrada les damos un factor de aleatoriedad, éste se convierte automáticamente en un sistema estocástico. Este factor de aleatoriedad es uno de los principales signos de identidad de cualquier sistema del mundo real.
- **Continuo o discreto:**
  - **Continuo:** en este caso la principal característica es que las relaciones entre variables sólo permiten una continua evolución del modelo, cambiando este de forma infinita a lo largo el tiempo.
  - **Discreto:** es un sistema, al contrario que el continuo, que las relaciones del sistema hacen que el estado del mismo sea alterado en unos momentos del tiempo predeterminados. Estos momentos en los que el sistema varía son nombrados eventos.
- **Estático o dinámico:**
  - **Estático:** se trata de aquellos sistemas que no se ven alterados por la variable tiempo.
  - **Dinámico:** aquellos sistemas en los cuales el tiempo es una variable, y afecta al estado del sistema.

### 3.1.2.2. Modelos

Teniendo en cuenta la definición de Shannon en 1988 un **modelo** es “una representación de un objeto, sistema o idea (...) cuyo propósito es ayudar, explicar, entender o mejorar un sistema”.

Los modelos son de utilidad para multitud de objetivos como: 1. Aclarar nuestro pensamiento ya que al modelar un sistema tenemos que replantearnos, desgranar y reorganizar la información que tenemos acerca de él. 2. Formación, de una forma realmente barata y eliminando las consecuencias negativas de errar, pudiendo el aprendiz experimentar libremente sin temor al fallo, pudiendo ser más creativo y aprender de una manera más ágil. 3. Predicción, ya que podemos obtener mediante la simulación del modelo, el comportamiento que tendría el sistema real.

En el modelado, es decir el idear y crear las entidades, sus atributos o parámetros, las relaciones entre ellos, no existe una solución única para llegar a un modelo deseado, por lo que no es una actividad que pueda seguir una guía establecida o unos pasos fijos. Como bien indica el Dr. Tarifa en sus apuntes, “el arte de modelar consiste en la habilidad para analizar un problema, resumir sus características esenciales, seleccionar y modificar las suposiciones básicas que caracterizan al sistema; y luego enriquecer y elaborar el modelo hasta obtener una aproximación útil al sistema real”.

Las características que debe poseer un modelo son las siguientes:

- “**Easy to understand**”, el usuario final debe ser capaz de comprender el funcionamiento del modelo de una forma fácil y clara.
- “**Focus to goals**”, el modelo debe estar concebido y orientado a conseguir los objetivos propuestos.
- “**Sensible**”, la sensatez debe ser una característica imperante, tanto a la hora de plantear el modelo como a la hora de analizar los resultados ofrecidos por el mismo.
- “**Easy to use**”, debe ser fácilmente manejable por parte del usuario. Si bien es verdad que se refiere al modelo, una interfaz intuitiva y “friendly-user” puede ser clave a la hora de facilitar el entendimiento del mismo al usuario.
- “**Complete**”, debe ser profundo y detallado en los elementos más relevantes.
- “**Flexible**”, debe tener la capacidad de modificarse y volver a estar operativo, con facilidad y rapidez. Un modelo debe ofrecernos la posibilidad de parametrizar muchos de sus atributos, de igual manera se debe intentar poder facilitar la modificación de las relaciones del sistema y sus entidades, aunque esto último aumenta la dificultad y complejidad del modelado, por lo que se debe de encontrar un punto intermedio.



### 3.1.3. Etapas de una simulación

A la hora de realizar una simulación se siguen los siguientes pasos o etapas (Banks *et al.*, 1996):

1. **Planteamiento del problema:** debe tratarse con el cliente y dejar acordados y cerrados los siguientes puntos concernientes a la simulación que vamos a desarrollar:
  - a. Objeto de la simulación
  - b. Plan de experimentación: tiempo, cantidad y cualidades de los análisis a desarrollar.
  - c. Resultados esperados, análisis a realizar sobre los datos de salida, informes a entregar.
  - d. Interfaz del simulador: complejidad, apariencia
  - e. Determinar si va a ser un trabajo de simulación o de optimización.
2. **Definición del sistema:** deben definirse perfectamente las características del sistema, el alcance o la frontera hasta donde se quiere realizar la simulación y las diferentes interacciones con el medio ambiente que se vayan a considerar
3. **Formulación del modelo:** es un punto crítico del proceso, se debe desarrollar un modelo simple que tome y refleje los principales puntos del sistema real.  
Según quien, y para qué objetivos se elabore el modelo, las características principales a reflejar del sistema real serán unas u otras.  
A posteriori de este punto, según se vayan completando todas las etapas, se introducirán diversas modificaciones con el objetivo de perfeccionar el modelo y darle una mayor complejidad.
4. **Obtención de datos:** según el modelo que se haya planteado en el punto anterior, variarán los datos a recoger, así como la cantidad de ellos. Estos datos generalmente son obtenidos de diversas fuentes tanto primarias (pruebas realizadas, mediciones, experimentos, otras simulaciones ...) como de fuentes secundarias (tablas, otros proyectos u experimentos ...)
5. **Implementación del modelo en la computadora:** basándonos en alguno de los lenguajes computacionales existentes, que elegiremos según nuestras necesidades y conocimientos. Hay que indicar que ya existen lenguajes específicamente creados para programar simulaciones.
6. **Verificación:** se verifica la ausencia de fallos o “bugs” en la programación del modelo. Esto puede ser realizado a base de prueba y error o a través de utilidades de “debugging” ofrecidas por los propios softwares de programación.
7. **Validación:** en este punto se chequea la precisión del modelo y de su programación, se realiza observando las diferencias entre el modelo y el sistema real. Esto no siempre es posible, ya que para ello debe existir un sistema real coincidente o muy próximo al modelo programado; por ejemplo, si estamos realizando un modelo para determinar si es factible realizar una

determinada implantación logística en un proceso productivo, no podemos comparar el modelo con el sistema real.

8. **Diseño de experimentos:** en esta etapa definimos las principales características de las simulaciones a realizar (duración, tamaño del ensayo y cantidad de ensayos).
9. **Experimentación:** etapa en la que realizamos los experimentos que se habían determinado en el punto anterior
10. **Interpretación:** llegado este punto es hora de analizar los resultados de los experimentos realizados, poniendo especial atención en aquellos parámetros que tienen de forma inherente una mayor incertidumbre.
11. **Implementación:** se debe realizar una formación previa y un tutelado en los primeros usos del simulador por parte del cliente de cara a asegurar su correcto manejo en futuras ocasiones.
12. **Documentación:** a parte de la formación ofrecida, es necesario la elaboración de manuales de uso y documentación técnica.

## 3.2. Simulación Montecarlo

La simulación Montecarlo será la empleada en la simulación de este trabajo y se caracteriza por utilizar números aleatorios de manera uniforme, en el intervalo  $[0, 1]$ , y realizando una distribución por probabilidades de ese mismo intervalo a diferentes sucesos o resultados.

El nombre de “Simulación de Montecarlo”, le viene dado por el casino de la ciudad de Mónaco, ya que utilizó como base los números que salen en la ruleta como fuente de generación de números aleatorios para después implementarlos como fuentes de entrada en un modelo, generando así diferentes resultados aleatorios.

### 3.2.1. Generación de números aleatorios

Cuando vamos a estudiar un sistema mediante simulación, generamos números aleatorios para dotar a la simulación de la incertidumbre que tiene por norma general el sistema real.

D. N. Lehmer definió el número aleatorio como “una noción vaga que encierra la idea de una sucesión en la cual, cada término es impredecible para una persona ajena al problema, cuyos dígitos se someten a un cierto número de pruebas, tradicionales para los estadísticos, y depende en cierta forma del uso que se dará a la sucesión”.

Todo método de generación de números aleatorios o pseudo-aleatorios debe producir sucesiones de números que tengan las siguientes características:

1. Uniformemente distribuidas.
2. Estadísticamente independientes
3. Reproducibles.



## Simulación, marco teórico

### 4. Sin repetición dentro de una longitud determinada de la sucesión.

A la hora de incluir aleatoriedad en un modelo, utilizaremos un generador de números aleatorios. Es posible crear números randomizados con todo tipo de funciones de distribución, aplicando números aleatorios  $U(0, 1)$  a la inversa de la función.

No obstante, para algunas funciones como  $N(0, 1)$  no es factible realizar la función inversa, por lo que también citaremos posteriormente algún método para generar números aleatorios aplicados a funciones  $N(0, 1)$ .

Una vez generados, estos números aleatorios son introducidos como parámetros de entrada en el modelo creado para simular las diferentes distribuciones de probabilidad requeridas, para recrear las condiciones del sistema real.

Vamos a ver algunos de los métodos de generación de  $U(0,1)$

- **Método de los cuadrados medios:** consiste en comenzar cogiendo un número al azar de  $2n$  cifras, llamado semilla ( $x_0$ ) y multiplicarlo por sí mismo dándonos un resultado cualquiera. A continuación, tomamos las  $2n$  cifras centrales del número obtenido como parte de nuestro número aleatorio y repetimos la operación de forma indefinida encadenando los números obtenidos. Podemos coger cualquier tramo de esta secuencia, para la semilla 3789 hemos obtenido la siguiente secuencia de números aleatorios: 35657092296485297438323848...

$x_0$	3789
3789	14356521
3565	12709225
7092	50296464
2964	8785296
8529	72743841
7438	55323844
3238	10484644
4846	23483716
4837	23396569
3965	15721225
7212	52012944
0129	16641
641	410881
0881	776161

Ilustración 13. Método de cuadrados medios. Ejemplo.

Como principales contraintes podemos encontrar que determinadas semillas produzcan una repetición cíclica infinita (ver ejemplo  $x_0 = 1358$ , donde  $x_5$  y  $x_9$  coinciden) o que sea irresoluble (ver ejemplo  $x_0 = 2334$ ).

Xo	2334	Xo	1358
2334	5447556	1358	1844164
4755	22610025	8441	71250481
6100	37210000	2504	6270016
2100	4410000	2700	7290000
1000	1000000	2900	8410000
0000	0	4100	16810000
	#¡VALOR!	8100	65610000
#¡VALOR!	#¡VALOR!	6100	37210000
#¡VALOR!	#¡VALOR!	2100	4410000
#¡VALOR!	#¡VALOR!	4100	16810000

Ilustración 14. Método de cuadrados medios. (xo: 2334 y 1358)

- **Método de Lehmer:** el procedimiento de Lehmer para generar números aleatorios es el siguiente:
  - Se genera una semilla ( $x_0$ ) al azar de  $n$  cifras y un factor multiplicador ( $m$ ) de  $k$  cifras
  - Se multiplica  $x_0$  y  $k$ , generando un nuevo número de  $n+k-1$  cifras
  - De este nuevo número se obtiene el valor las últimas  $n$  cifras, restándole el valor de las primeras  $(k-1)$  cifras.
  - Repetimos este proceso de forma indefinida.

Xo	8563	m	25		
X0	8563	214075	4075	2	4073
X1	4073	101825	1825	1	1824
X2	1824	45600	5600	4	5596
X3	5596	139900	9900	1	9899
X4	9899	247475	7475	2	7473
X5	7473	186825	6825	1	6824
X6	6824	170600	0600	1	599
X7	599	14975	4975	1	4974
X8	4974	124350	4350	1	4349
X9	4349	108725	8725	1	8724
X10	8724	218100	8100	2	8098
X11	8098	202450	2450	2	2448
X12	2448	61200	1200	6	1194
X13	1194	29850	9850	2	9848
X14	9848	246200	6200	2	6198
X15	6198	154950	4950	1	4949

SECUENCIA GENERADA	
856340731824559698997473682459949744349872480982448119498486198	

Ilustración 15. Método de Lehmer. Ejemplo.



Simulación, marco teórico

- **Métodos congruenciales:** dos números (a y b) son congruenciales con un módulo (m) si se da la siguiente propiedad: que (a-b) sea divisible por m, es decir que el resto de la fracción (a-b) /m sea cero.  
Para la generación de números aleatorios con este sistema se emplea la siguiente fórmula:

$$X_{n+1} \equiv a^{n+1} \cdot X_n + b \text{ (módulo } m)$$

$x_0$
$x_1 \equiv a \cdot x_0 + b \text{ (módulo } m)$
$x_2 \equiv a \cdot x_1 + b = a^2 \cdot x_0 + (a+1) \cdot b \text{ (módulo } m)$
$x_3 \equiv a^3 \cdot x_0 + (a^2 + a + 1) \cdot b = a^3 \cdot x_0 + ((a^3 - 1) / (a - 1)) \cdot b \text{ (módulo } m)$
...
...
$x_n \equiv a^n \cdot x_0 + ((a^n - 1) / (a - 1)) \cdot b \text{ (módulo } m)$

Tabla 1. Métodos congruenciales

De esta forma los números aleatorios extraídos pertenecen a [0, m-1). Se da que en determinado momento una determinada semilla ya ha salido anteriormente, por lo que entraríamos en una sucesión de ciclos repetitivos. Está demostrado que cuanto más alto sea el valor de m, más alejado será el momento en que esto ocurra.

Ejemplo:

$$x_{n+1} = \left( 5^{n+1} \cdot 7 + \frac{(5^{n+1} - 1)}{4} \cdot 7 \right) \pmod{9}$$

n	$x_n$	$a \cdot x_n + b$	$x_{n+1}$
0	7	$\frac{42}{9} = 4 + \frac{6}{9}$	6
1	6	$\frac{37}{9} = 4 + \frac{1}{9}$	1
2	1	$\frac{12}{9} = 1 + \frac{3}{9}$	3
3	3	$\frac{22}{9} = 2 + \frac{4}{9}$	4
4	4	$\frac{27}{9} = 3 + \frac{0}{9}$	0
5	0	$\frac{7}{9} = 0 + \frac{7}{9}$	7
6	7	$\frac{42}{9} = 4 + \frac{6}{9}$	6

Tabla 2. Ejemplo métodos congruenciales





## Capítulo 4. Desarrollo del simulador

### 4.1. Software de simulación empleado. Microsoft Excel.

Microsoft Excel, es una potente herramienta de computación, presentada en formato de hoja de cálculo, y perteneciente al paquete de ofimática Microsoft Office de la compañía Microsoft.



Ilustración 16. Logotipo de Microsoft

Excel tiene multitud de utilidades, entre las más frecuentemente utilizadas se encuentran desde contabilidad, resolución de problemas, presentación de datos en tablas y gráficos, hasta labores mucho más complejas como programación de software (bien a través de sus funciones lógicas, como se realizará este TFM), o bien ayudado por su lenguaje Visual Basic for Applications (VBA)

Microsoft comenzó con las hojas de cálculo en 1982 cuando lanzó al mercado “Multiplan”, para los sistemas CP/ M, pero su diferenciación y buena parte de su éxito inicial fue ganarse un hueco en los mercados lanzando muy tempranamente su nueva herramienta de hojas de cálculo “Excel” para Macintosh en 1985 y lo adaptó al sistema operativo (SO) Windows en 1987. De esta forma se posicionó con ventaja frente a su principal competidor, Lotus, con su hoja de cálculo “1-2-3”, que había triunfado en SO anteriores.



Ilustración 18. Logotipo de Excel

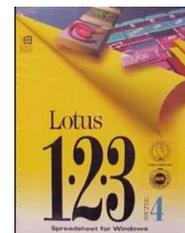


Ilustración 17. Logotipo de 1-2-3

## Desarrollo de un simulador de la producción programado en Excel

Desde 1985 con la v1.0. para Mac hasta la última “Excel 2019” (lanzada en 2018), han existido 15 versiones de Excel, en las cuales se ha ido actualizando, ampliando y mejorando las ya de por sí grandes prestaciones que tenía Excel en sus inicios, así como su interfaz, con cada versión más atractiva, intuitiva y sencilla de manejar,

Si bien no es la última de las versiones de Excel sobre la que se ha realizado el simulador, sí es la penúltima, el Excel 2016 para Mac, por lo que se ha contado con prácticamente la totalidad de las características desarrolladas para Excel a la hora de realizar el proyecto.

De todas estas funcionalidades a nuestra disposición hemos empleado las siguientes: funciones lógicas, funciones aritméticas, funciones de búsqueda, formatos condicionales, insertar formas, combinar celdas, y sobre todo y como base de una simulación de un sistema real, la función de generación de números aleatorios.

Las funciones son la base del lenguaje para la programación del modelo que queremos construir y el resto de herramientas de formato son las que nos facilitan el crear un interfaz atractivo e intuitivo para el usuario del simulador.

- **Funciones lógicas:** nos permite realizar la programación básica del modelo, las funciones básicas son las herramientas que nos permite introducir Excel para estructurar cualquier algoritmo, los principales son los siguientes:
  - **SI:** función que nos permite accionar un condicional, si se cumple una condición nos devuelve un valor, o acciona una determinada fórmula, si no lo cumple nos devuelve un valor diferente o acciona otra formula especificada.
    - =SI (Prueba\_lógica; Valor\_si\_verdadero; Valor\_si\_falso)
    - Prueba lógica – condicionante que se debe cumplir
    - Valor si verdadero – aquello que se ejecuta y nos devuelve si se cumple el condicionante
    - Valor si falso – aquello que se ejecuta y nos devuelve el programa si no se cumple el condicionante

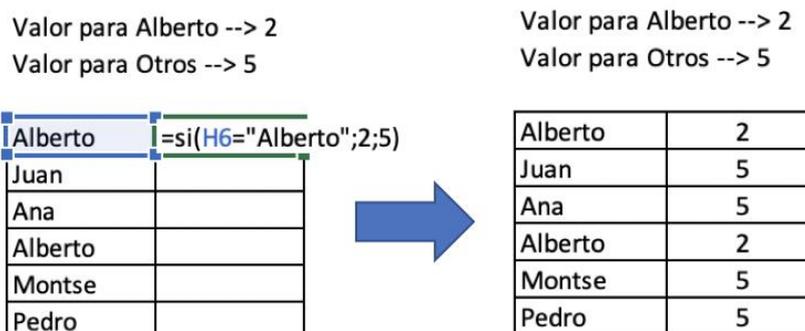


Ilustración 19. Ejemplo de función SI



## Desarrollo del simulador

- **O**: comprueba si alguno de los argumentos introducidos es verdadero, y en caso afirmativo toma el valor “verdadero”. Si ninguno de los argumentos es verdadero devuelve el valor “falso”.
  - =O (Valor\_logico1; Valor\_logico2; Valor\_logico3;)
- **Y**: Verifica si todos los argumentos introducidos son verdaderos, y en caso afirmativo toma el valor verdadero. En caso de que alguno de los argumentos introducidos sea falso, devuelve el valor “falso”.
  - =Y (Valor\_logico1; Valor\_logico2; Valor\_logico3;)
- **SI.ERROR**: en caso de que el resultado de la fórmula que contiene sea un error, devuelve un valor determinado, es muy frecuentemente empleado con búsquedas de valores infructuosas, por ejemplo, buscar un valor en una lista, si esta fórmula de búsqueda da error quiere decir que no ha encontrado el valor buscado, en ese caso se determina que valor queremos que retorne el sistema.
  - =SI.ERROR(Valor;Valor\_si\_error)



- **Funciones de búsqueda y referencia:** otra de las grandes categorías de fórmulas que ofrece el Excel es la de búsqueda y referencia, que como su nombre bien indica sirve para realizar búsquedas de datos, verificaciones de pertenencia, devolvernos coordenadas de una celda determinada dentro de una matriz ... Las más frecuentes y utilizadas son:
  - **BuscarV:** Localiza un valor en la primera columna comenzando por la izquierda de la matriz para luego ofrecer un valor en la misma fila desde una columna previamente determinada. Especificamos el Rango Verdadero (1) para encontrar la coincidencia más cercana en la primera columna, o Falso (0) para encontrar la coincidencia exacta.
    - =BUSCARV(Valor buscado;Matriz de búsqueda;Columna;Rango)

- **BuscarH:** Localiza un valor en la primera fila comenzando por la izquierda de la matriz para luego ofrecer un valor en la misma columna desde una fila previamente determinada. Especificamos el Rango Verdadero (1) para encontrar la coincidencia más cercana en la primera columna, o Falso (0) para encontrar la coincidencia exacta
  - **=BUSCARH**(Valor buscado;Matriz de búsqueda;Fila;Rango)

Quiero buscar la referencia **45323132R** en la siguiente listado de referencias de nuestro almacén Y que me devuelva el stock actual (columna 3)

Quiero buscar la referencia **45323132R** en la siguiente listado de referencias de nuestro almacén Y que me devuelva el stock actual (columna 3)

Cantidad **=buscarv(E8;C18:E25;3;0)**

Cantidad **29**

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
82563984R	Rueda R17	125
16243526R	Limpiaparabrisas	49
79072642R	Retrovisor Azul	405
15237645R	Pantalla Multimedia	24
45323132R	Volante	29
24536745R	Tornillería r12	389
98728792R	Alfombrillas	10
99351211R	Tanque Combustible	354

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
82563984R	Rueda R17	125
16243526R	Limpiaparabrisas	49
79072642R	Retrovisor Azul	405
15237645R	Pantalla Multimedia	24
45323132R	Volante	29
24536745R	Tornillería r12	389
98728792R	Alfombrillas	10
99351211R	Tanque Combustible	354

Ilustración 20. Ejemplo fórmula BuscarV

- **Coincidir:** retorna la ubicación de una referencia en una tabla, que coincide con el valor introducido en un orden determinado. En caso de no encontrar el valor especificado, devolverá la posición del valor inmediatamente inferior.
  - **=COINCIDIR**(Valor buscado;matriz buscada;tipo de coincidencia)

EJEMPLO FUNCIÓN COINCIDIR

LISTADO DE PARTICIPANTES	POSICIÓN
=COINCIDIR(D7;\$G\$7:\$G\$13;0)	
Jennifer	5
Juan	1
Marcos	4
María	2
Mario	7
Sonia	6

ORDEN DE LLEGADA
Juan
María
Alonso
Marcos
Jennifer
Sonia
Mario



EJEMPLO FUNCIÓN COINCIDIR

LISTADO DE PARTICIPANTES	POSICIÓN
Alonso	3
Jennifer	5
Juan	1
Marcos	4
María	2
Mario	7
Sonia	6

ORDEN DE LLEGADA
Juan
María
Alonso
Marcos
Jennifer
Sonia
Mario

Ilustración 21. Ejemplo función coincidir.

- **Elegir:** Devuelve un valor o la ejecución de una fórmula de un listado basándose en un índice dado
  - **=ELEGIR**(núm\_índice; valor1; valor2; ...)



Desarrollo del simulador

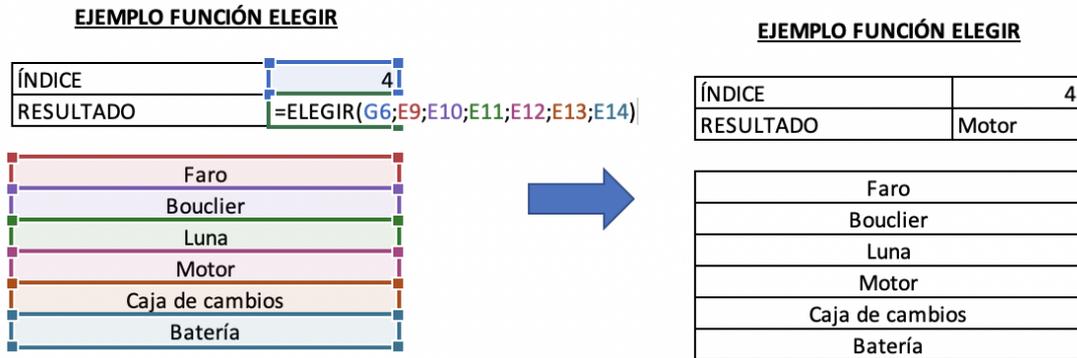


Ilustración 22. Ejemplo Función Elegir

- **Índice:** “Devuelve un valor o referencia de la celda en la intersección de una fila y columna en particular, en un rango especificado” – *Ayuda de Excel*
  - =INDICE(Matriz; Indice\_fila; Indice\_col)

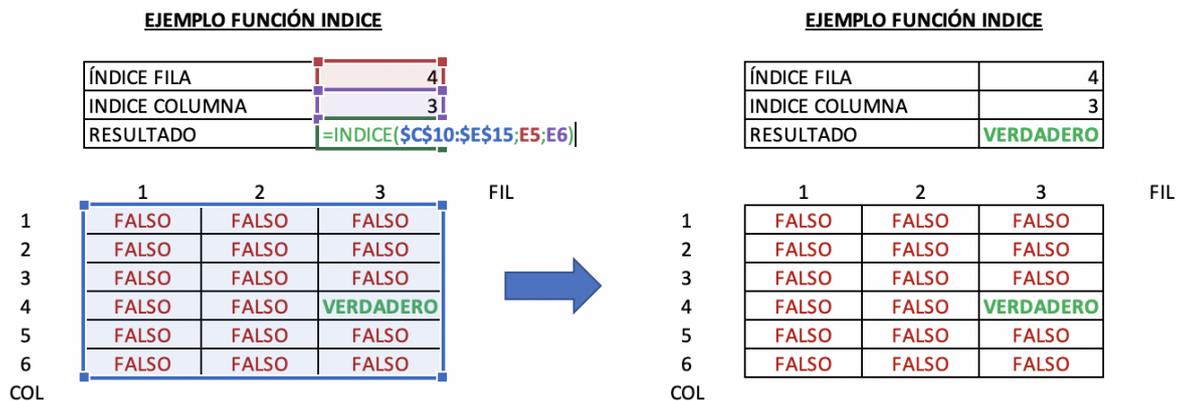


Ilustración 23. Ejemplo Función Indice

- **Funciones matemáticas y trigonométricas:** nos permiten realizar cálculos aritméticos, tales como sumas, multiplicaciones, productos...pero también permite realizar redondeos al alza y a la baja; medias simples y exponenciales. Estas funciones no serán detalladas debido a su extrema simpleza no serán explicadas, solo será añadida una tabla resumen debajo de este párrafo. Y sobre todas las funciones de esta categoría cabe destacar una principalmente, que será sin lugar a dudas uno de los puntos clave de nuestra simulación, la función de generación de números aleatorios, que explicaremos en el punto siguiente: 4.1.1. “Generación de números aleatorios en Excel”

## Desarrollo de un simulador de la producción programado en Excel

FUNCIONES MATEMÁTICAS Y TRIGONOMÉTRICAS MÁS UTILIZADAS		
ALEATORIO	=ALEATORIO()	Devuelve un número aleatorio entre 0 y 1
ALEATORIO.ENTRE	=ALEATORIO.ENTRE(inferior; superior)	Devuelve un número aleatorio entre dos valores
COCIENTE	=COCIENTE( Numerador; denominador)	Realiza un cociente
ENTERO	=ENTERO(número)	Redondea un número, a su superior con cero decimales
FACT	=FACT(número)	Devuelve el factorial de un número
M.C.D.	=M.C.D.(número1;número2;número3; ...)	Devuelve el Máximo Común Divisor
M.C.M.	=M.C.M.(número1;número2;número3; ...)	Devuelve el Mínimo Común Múltiplo
POTENCIA	=POTENCIA(número; potencia)	Devuelve el resultado de elevar un número a otro
PRODUCTO	=PRODUCTO(número1; número2; número3; ...)	Realiza la multiplicación de varios números
RAIZ	=RAIZ(número)	Devuelve la raíz cuadrada de un número
REDONDEAR	=REDONDEAR(número; núm_decimales)	Redondea un número a su entero más próximo
REDONDEAR.MAS	=REDONDEAR.MAS(número; núm_decimales)	Redondea un número a su entero superior
REDONDEAR.MENOS	=REDONDEAR.MENOS(número; núm_decimales)	Redondea un número a su entero inferior
SUBTOTALES	=SUBTOTALES(núm_función; ref1; ref2; ...)	Realiza la función especificada (suma, producto ...) de un conjunto de valores. Se ve afectada por la aplicación de filtros
SUMA	=SUMA(número1; número2; ...)	Realiza la suma de un conjunto de valores
SUMAR.SI.CONJUNTO	=SUMAR.SI.CONJUNTO(rango_suma; rango_criterio1; criterio 1; rango criterio2; criterio2; ...)	Realiza la suma de aquellos valores de un conjunto que cumplan unas condiciones

Ilustración 24. Tabla de funciones matemáticas más utilizadas

### 4.1.1. Generación de números aleatorios en Excel

La función =ALEATORIO(); o =RAND() en inglés, sirve como su propio nombre indica para la generación de números pseudo-aleatorios.

En versiones anteriores a 2003 empleaba un algoritmo de creación de números pseudo-aleatorios que no satisfacía algunos de las pruebas estándar de aleatoriedad. A pesar de que esto solamente tendría incidencia en aquellos usuarios que emplearan dentro de un mismo sistema a partir de un millón o más de números aleatorios, a partir de 2003 el algoritmo fue mejorado para pasar estas pruebas estándar (llamadas pruebas Diehard).

Esta nueva forma más eficaz de generar números aleatorios, está basada en el algoritmo de Mersenne Twister, que fue elaborada por Makoto Matsumoto y Takuji Nishimura, y toma su nombre debido a que la longitud del periodo es un número primo de Marsenne.

Un número de Marsenne, se trata de un número resultado de restar una unidad a cualquier potencia de dos.

$$M_n = 2^n - 1$$

Por lo que un número primo de Marsenne es cualquiera de los números de Marsenne que sea primo.



## Desarrollo del simulador

#	n	Mn	Nº de cifras de Mn	Fecha del descubrimiento	Descubridor
1	2	3	1	antigüedad	Euclides
2	3	7	1	antigüedad	Euclides
3	5	31	2	antigüedad	Euclides
4	7	127	3	antigüedad	Euclides
5	13	8191	4	1456	anónimo
6	17	131071	6	1588	Cataldi
7	19	524287	6	1588	Cataldi
8	31	2147483647	10	1772	Euler
9	61	2.30584E+18	19	1883	Pervushin
10	89	618970019...449562111	27	1911	Powers
11	107	162259276...010288127	33	1914	Powers
12	127	170141183...884105727	39	1876	Lucas
13	521	686479766...115057151	157	30-1-1952	Robinson (SWAC)
14	607	531137992...031728127	183	30-1-1952	Robinson (SWAC)
15	1.279	104079321...168729087	386	25-6-1952	Robinson (SWAC)
16	2.203	147597991...697771007	664	7-10-1952	Robinson (SWAC)
17	2.281	446087557...132836351	687	9-10-1952	Robinson (SWAC)
18	3.217	259117086...909315071	969	8-9-1957	Riesel
19	4.253	190797007...350484991	1.281	3-11-1961	Hurwitz
20	4.423	285542542...608580607	1.332	3-11-1961	Hurwitz
21	9.689	478220278...225754111	2.917	11-5-1963	Gillies
22	9.941	346088282...789463551	2.993	16-5-1963	Gillies
23	11.213	281411201...696392191	3.376	2-6-1963	Gillies
24	19.937	431542479...968041471	6.002	4-3-1971	Tuckerman
25	21.701	448679166...511882751	6.533	30-10-1978	Noll y Nickel
26	23.209	402874115...779264511	6.987	9-2-1979	Noll

#	n	Mn	Nº de cifras de Mn	Fecha del descubrimiento	Descubridor
27	44.497	854509824...011228671	13.395	8-4-1979	Nelson y Slowinski
28	86.243	536927995...433438207	25.962	25-9-1982	Slowinski
29	110.503	521928313...465515007	33.265	28-1-1988	Colquitt y Welsh
30	132.049	512740276...730061311	39.751	20-9-1983	Slowinski
31	216.091	746093103...815528447	65.050	6-9-1985	Slowinski
32	756.839	174135906...544677887	227.832	19-2-1992	Slowinski y Gage
33	859.433	129498125...500142591	258.716	10-1-1994	Slowinski y Gage
34	1.257.787	412245773...089366527	378.632	3-9-1996	Slowinski y Gage
35	1.398.269	814717564...451315711	420.921	13-11-1996	GIMPS / Joel Armengaud
36	2.976.221	623340076...729201151	895.932	24-8-1997	GIMPS / Gordon Spence
37	3.021.377	127411683...024694271	909.526	27-1-1998	GIMPS / Roland Clarkson
38	6.972.593	437075744...924193791	2.098.960	1-6-1999	GIMPS /
39	13.466.917	924947738...256259071	4.053.946	14-11-2001	GIMPS / Michael Cameron
40	20.996.011	125976895...855682047	6.320.430	17-11-2003	GIMPS / Michael Shafer
41	24.036.583	299410429...733969407	7.235.733	15-5-2004	GIMPS / Josh Findley
42	25.964.951	122164630...577077247	7.816.230	18-2-2005	GIMPS / Martin Nowak
43	30.402.457	315416475...652943871	9.152.052	15-12-2005	GIMPS / Curtis Cooper y Steven Boone
44	32.582.657	124575026...053967871	9.808.358	4-9-2006	GIMPS / Curtis Cooper y Steven Boone
45	37.156.667	202254406...308220927	11.185.272	6-9-2008	GIMPS / Hans-Michael Elvenich
46	42.643.801	169873516...562314751	12.837.064	12-4-2009	GIMPS / Odd M. Strindmo
47	43.112.609	316470269...697152511	12.978.189	23-8-2008	GIMPS / Edson Smith
48	57.885.161	581887266...724285951	17.425.170	25-1-2013	GIMPS / Curtis Cooper
49	74.207.281	300376418...086436351	22.338.618	7-1-2016	GIMPS / Curtis Cooper
50	77.232.917	467333183...762179071	23.249.425	26-12-2017	GIMPS / Jonathan Pace
51	82.589.933	148894445...217902591	24.862.048	7-12-2018	GIMPS / Patrick Laroche

Ilustración 25. Tabla de números primos de Mersenne. (Fuente: <https://bit.ly/2WBma17>)

## 4.2. Sistema y modelo

Como se ha definido en el punto 3.1.2. “Sistemas”, un sistema es “una sección de la realidad que es el foco primario de un estudio y está compuesto de componentes que interactúan con otros de acuerdo a ciertas reglas dentro de una frontera identificada para el propósito del estudio”.

En nuestro caso la sección de la realidad que será foco de nuestro estudio, será el taller Lean, acondicionado para desarrollar la tercera producción, y será programado en un modelo tal que nos permita modificar parámetros como la cantidad de bases que hay que dotar para mantener el flujo tenso, pero sin romperse, la cantidad de secciones, o la rapidez de los operarios. Todos esos parámetros tendrán diversos valores, los cuales serán adoptados según una distribución que tendrá como fuente un número aleatorio. Todo esto será desarrollado a continuación.

### ESQUEMA DEL SISTEMA A MODELAR

- **Sistema:** Taller Lean
- **Modelo:** Programado en Excel
- **Entidades:**
  - Solectrón (gama 8 colores - 4 colores por solectrón) ( $8^4 = 4096$  diversidad)
    - Base
    - Secciones (Diversidad 8 colores)
      - Verde
      - Amarillo
      - Azul
      - Rojo

- Verde Claro
- Azul Cian
- Magenta
- Morado
- Línea de Montaje
  - Puesto de montaje 1
  - Puesto de montaje 2
  - Puesto de montaje 3
  - Puesto de montaje 4
- Línea de Reciclean
  - Puesto de Reciclean 1
  - Puesto de Reciclean 2
  - Puesto de Reciclean 3
  - Lavadora
- Stock Inicial
  - Stock de bases
  - Stock de secciones (Diversidad 8 – por colores)
- Stock Intermedio
  - Bandeja de salida
- Stock Secundario
  - Stock de bases
  - Stock de secciones (Diversidad 8 – por colores)

### SISTEMA - DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

A continuación, se puede observar un mapa del flujo del proceso de producción 3 de solectrones:

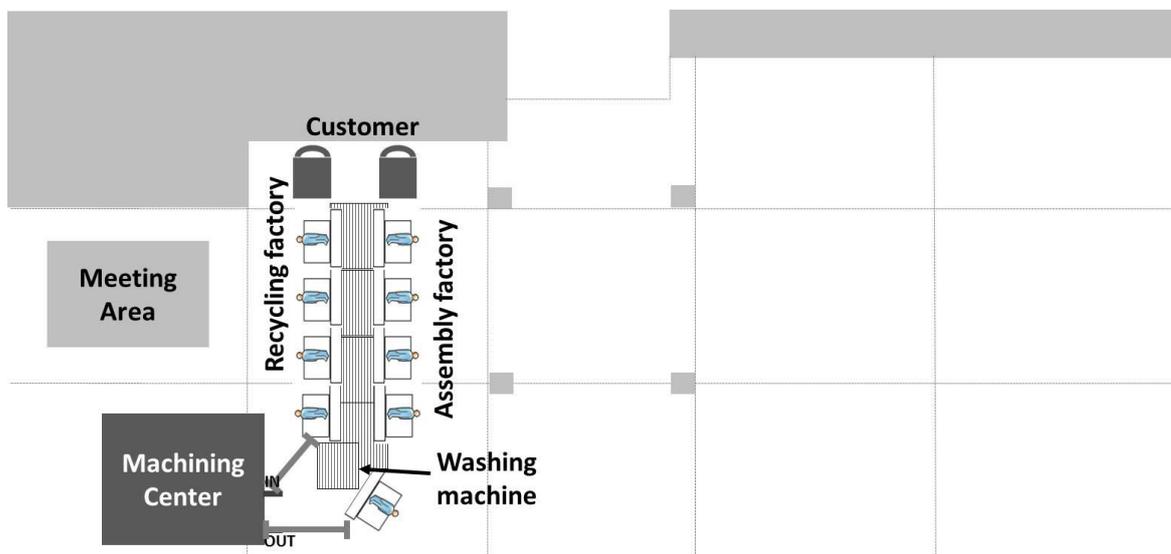


Ilustración 26. Lay Out y proceso de la producción 3



## PROCESO DE MONTAJE

Se comienza con el stock inicial, donde aguardan las bases y las diferentes secciones a ser encicladas en un kit<sup>1</sup> por el picker<sup>2</sup> según la secuencia de producción (a partir de ahora esta secuencia será llamada film firme).

De esta forma la primera base con las secciones que vayan a ser montadas en esta, son cogidos por el primer operario del puesto 1 de montaje (M01), este realiza las operaciones indicadas en su ficha de operaciones (FOS) y el solectrón pasa al puesto de montaje 2 (M02). En este momento el operario M01 coge el siguiente kit del stock inicial.

Con la misma operativa, el solectrón 1 pasa por los puestos M01, M02, M03 y M04 de manera consecutiva para llegar al Stock Intermedio (S1), donde es ubicado en una bandeja. Cada bandeja corresponde a un número de orden de un cliente que comprende una cantidad de solectrones determinada, cada uno de ellos con unas características determinadas.

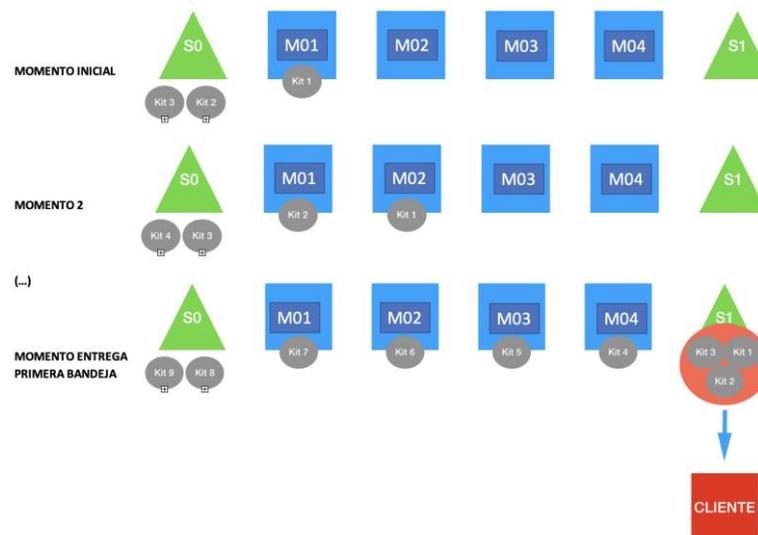


Ilustración 27. Representación flujo Montaje

<sup>1</sup> Un kit se compone de una base más las secciones e insertos que vayan a ser montados en ella.

<sup>2</sup> Operario que coloca las bases con las secciones que corresponden, según el orden de producción indicado por el film firme.

## Desarrollo de un simulador de la producción programado en Excel

Los solectrones llegarán secuenciados y de manera ordenada a la bandeja, ya el film de producción está elaborado acorde a cada pedido de cada cliente. Hasta que una bandeja no está completa con los solectrones demandados por el cliente, esta no abandona el S1 rumbo al cliente.

SECUENCIA PRODUCCIÓN	BANDEJA (ORDEN CLIENTE)	SOLETRON - BANDEJA
1	1	1
2		2
3		3
4		4
5	2	1
6		2
7	3	1
8		2
9		3

CARACTERISTICAS PRODUCTO			
3	4	5	6
3	4	5	6
3	4	5	7
3	4	5	6
8	4	5	9
3	4	5	6
3	4	5	6
10	4	10	9
10	7	3	7

**Ilustración 28. Secuenciación de ordenes. Film de producción.**

En total en la línea de montaje, a lo largo de los 4 puestos, deben realizarse la totalidad de las siguientes operaciones:

1. Montaje de secciones del primer nivel (x4)
2. Montaje de secciones del segundo nivel (x4)
3. Montaje de insertos del segundo nivel (x2)
4. Montaje de secciones del tercer nivel (x4)
5. Montaje de secciones del cuarto nivel (x4)
6. Montaje de insertos del tercer nivel (x2)

Debido a las características geométricas del solectrón, deben respetarse unas reglas básicas de montaje, que siempre y cuando se cumplan, hay libertad para configurar el proceso y orden de montaje. Estas reglas son explicadas en la siguiente ilustración.

VISTA FRONTAL DEL SOLECTRON - ORDEN DE MONTAJE				
	SERIE A	SERIE B	SERIE C	SERIE D
Nivel 4	I5 4A	I6 4B	I7 4C	I8 4D
Nivel 3	3A	3B	3C	3D
Nivel 2	I1 2A	I2 2B	I3 2C	I4 2D
Nivel 1	1A	1B	1C	1D
	Base			

REGLAS ORDEN ASIGNACIÓN:	
Las siguientes series son independientes una de la otra.	
Serie A/	1A - 2A - Inserto I1 - 3A - 4A - Inserto I5
Serie B/	1B - 2B - Inserto I2 - 3B - 4B - Inserto I6
Serie C/	1C - 2C - Inserto I3 - 3C - 4C - Inserto I7
Serie D/	1D - 2D - Inserto I4 - 3D - 4D - Inserto I8
Por ejemplo, para montar el <b>inserto I1</b> es necesario haber montado antes la <b>sección 2A</b> , con independencia de que secciones o insertos hayas montado en la serie B	

**Ilustración 29. Reglas básicas de montaje del solectrón**



## Desarrollo del simulador

Como veremos más adelante una correcta distribución (equilibrado de cadenas) de las tareas a realizar, es fundamental para la optimización de la producción, evitando en la medida de lo posible los cuellos de botella. Para ello se ha realizado también una herramienta en Excel que nos ayuda a optimizar el equilibrado de cadenas.

### PROCESO DE RECICLEAN

Una vez los solectrones han llegado al cliente, después de ser utilizados por el mismo, estos son retornados a la línea de producción en las mismas bandejas en los que fueron entregados, y en el mismo orden.

De esta forma los kits con los solectrones montados llegan a un stock secundario (S2), donde esperan a ser desmontados en la línea de Reciclean. La línea de Reciclean tiene cuatro puestos R01, R02, R03 y LV (R04).

Se comportan de la misma forma que los puestos de montaje, pero a la inversa, R01 toma el primer kit con solectrón que llega a S2 y comienza a realizar sus operaciones de desmonte, una vez terminado pasa el solectrón a R02 y toma el siguiente solectrón a la espera en S2.

La única diferencia con el funcionamiento de montaje es el puesto LV, cuyo operario debe realizar operaciones de desmontaje e introducir las diferentes secciones en la lavandería clasificándolas por colores, llegando de esta forma las secciones al S0 de nuevo.

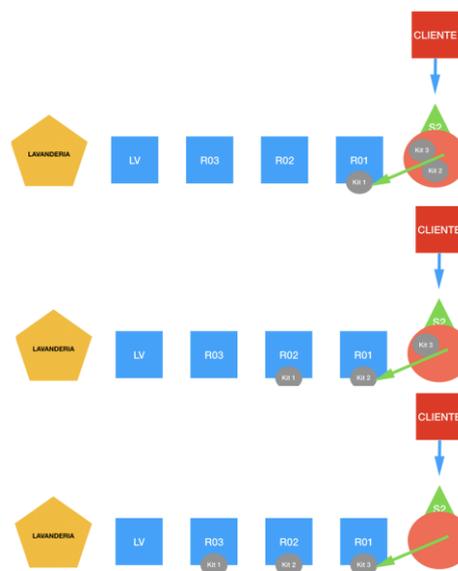


Ilustración 30. Representación de flujo Reciclean

Puede darse el caso que R01 vaya a tomar el siguiente kit para su desmonte, y no haya ningún kit disponible en S2, dado este caso R01 debería esperar a que el cliente

## Desarrollo de un simulador de la producción programado en Excel

libere la próxima bandeja. En el caso de nuestra simulación, el objetivo principal es evitar que pare la cadena de producción y el “one piece flow” sea continuo, sin roturas de flujo, por lo que no se podrá dar esta situación, en caso de darse la simulación se considerará fallida y deberá ponerse a prueba un modelo con otros atributos de entrada.

Las operaciones a realizar en la línea de Reciclean son las siguientes:

1. Desmontaje de los insertos del nivel 4 (x2)
2. Desmontaje de las secciones del nivel 4 (x4)
3. Desmontaje de las secciones del nivel 3 (x4)
4. Desmontaje de los insertos del nivel 2 (x2)
5. Desmontaje de las secciones del nivel 2 (x4)
6. Desmontaje de las secciones del nivel 1 (x4)
7. Introducción de manera clasificada de las secciones desmontadas en la lavadora

De la misma manera que no se puede realizar el montaje del solectrón de forma libre, sino que había que seguir unas reglas de montabilidad debido a la geometría del solectrón, lo mismo sucede a la hora de su desmontaje. A continuación, las reglas básicas a cumplir a la hora de desmontar un solectrón:

**VISTA FRONTAL DEL SOLECTRON - ORDEN DE MONTAJE**

	SERIE A	SERIE B	SERIE C	SERIE D
Nivel 4	I5 4A	I6 4B	I7 4C	I8 4D
Nivel 3	3A	3B	3C	3D
Nivel 2	I1 2A	I2 2B	I3 2C	I4 2D
Nivel 1	1A	1B	1C	1D
	Base			

**REGLAS ORDEN ASIGNACIÓN:**

Las siguientes series son independientes una de la otra.

Serie A/            Inserto I5 - 4A - 3A - Inserto I1 - 2A - 1A  
 Serie B/            Inserto I6 - 4B - 3B - Inserto I2 - 2B - 1B  
 Serie C/            Inserto I7 - 4C - 3C - Inserto I3 - 2C - 1C  
 Serie D/            Inserto I8 - 4D - 3D - Inserto I4 - 2D - 1D

Por ejemplo, para desmontar la **sección 4A** es necesario haber desmontado antes el **inserto I5**, con independencia de que secciones o insertos hayas montado en la serie B

**El último puesto debe desmontar al menos un inserto y una sección**

**La lavadora debe ser la última operación a asignar**

**Ilustración 31. Reglas básicas de desmonte del solectrón**

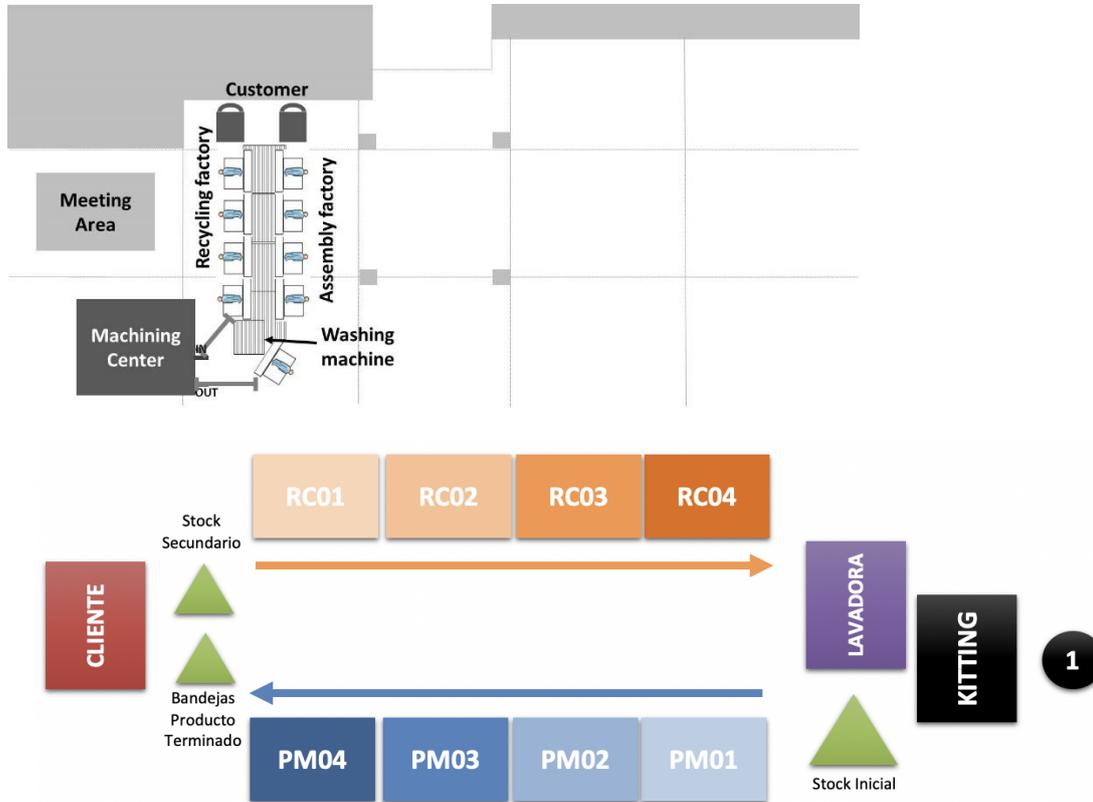
## MODELO - DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Tomando como base en el sistema anteriormente descrito, se ha procedido a desarrollar el siguiente modelo, que serán explicados en las siguientes ilustraciones y flujograma.



## Desarrollo del simulador

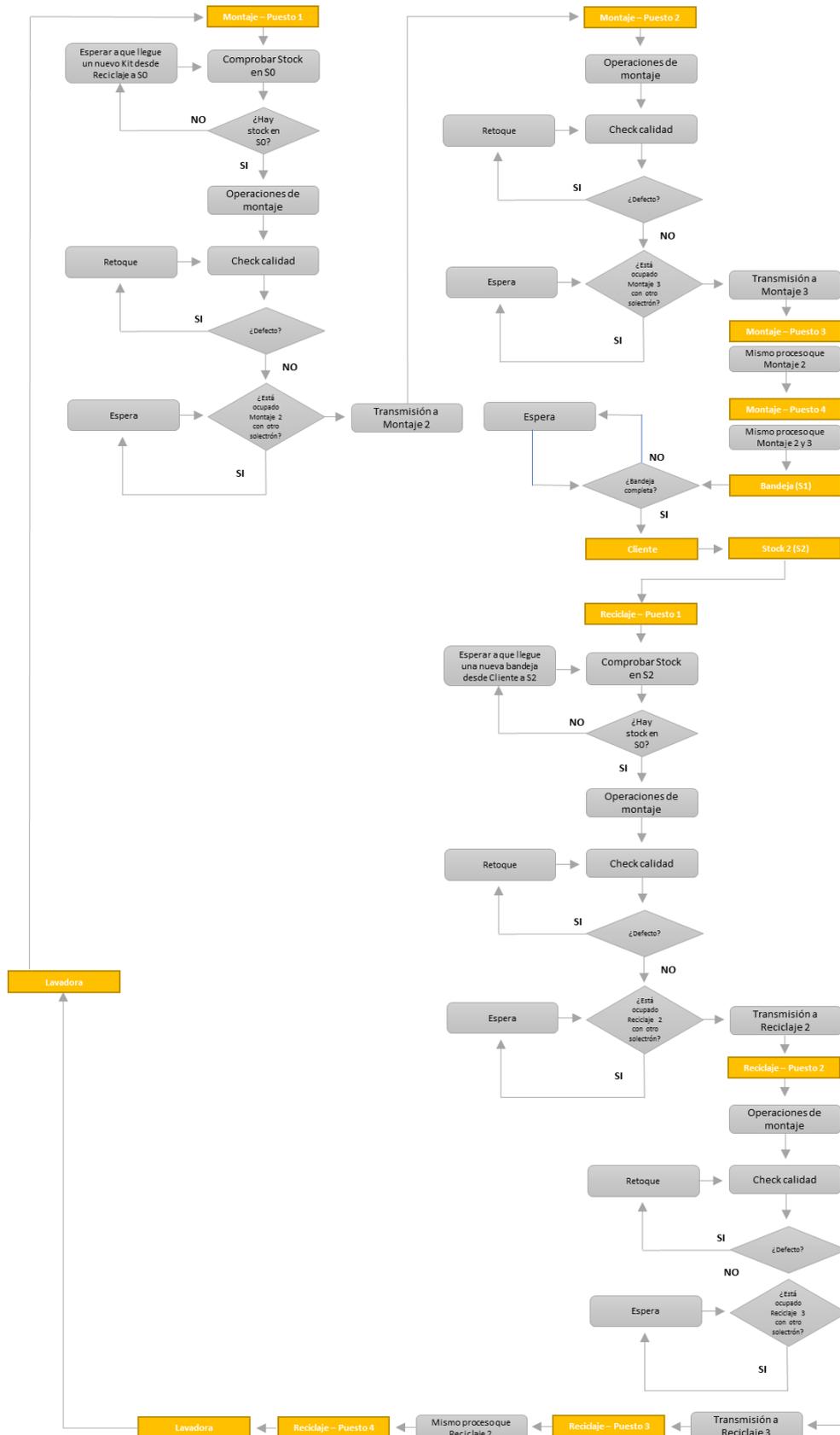
En la siguiente ilustración podemos comparar el layout y flujo del sistema, con la adaptación del mismo (modelo).



**Ilustración 32. Arriba representación del sistema. Abajo representación del modelo.**

El flujograma del sistema podemos encontrarlo en la ilustración de la siguiente página:

# Desarrollo de un simulador de la producción programado en Excel





### 4.3. Guía de Usuario.

El objetivo de este punto es desarrollar una guía de usuario para el cliente de la herramienta de simulación. En ella se dará a conocer el interfaz de la misma, que datos de entrada deben introducirse, cómo y dónde debe hacerse; también nos explicará cómo arrancar la simulación y una vez finalizada, que información nos ofrece de salida y donde encontrarla, así como unas recomendaciones generales de aplicación de estos datos.

En la herramienta podemos encontrar 17 pestañas, divididas en cuatro categorías diferenciadas por colores:

1. Simulador
  - a. Simulador
2. Datos de entrada
  - a. Datos Maestros
  - b. Equilibrado de cadenas
3. Datos intermedios de información y cálculo
  - a. Tabla de tiempos
  - b. Datos Eco
4. Modelo y simulación proceso
  - a. Flujograma
  - b. S0
  - c. M01
  - d. M02
  - e. M03
  - f. M04
  - g. S1
  - h. S2
  - i. R01
  - j. R02
  - k. R03
  - l. LV

Se explicará por este orden, salvo por la pestaña 1. Simulador, la cual explicaremos la última.

#### 4.3.1. Pestaña 2. Datos maestros.

En esta pestaña se deberán introducir los parámetros de la simulación que se va a realizar, en la pantalla se observan dos áreas de entradas de datos, las tablas superiores (Ilustración 33 – **Tabla 01**), en las cuales se parametrizarán los tiempos en las operaciones de montaje y reciclado correspondientemente, y la tabla inferior, (Ilustración 33 – **Tabla 02**) en la cual se introducirán los valores de entrada

## Desarrollo de un simulador de la producción programado en Excel

correspondientes a la dotación de bases necesaria, así como los datos necesarios para realizar el cálculo económico.

The screenshot shows a complex Excel spreadsheet with multiple tables. A red box highlights a large table with columns for 'OPERACIÓN MONTAJE' and 'OPERACIÓN RECICLEAN'. Below this, a smaller table is shown with arrows pointing to 'TABLA 02' and 'TABLA 01'.

Ilustración 33. Vista general interfaz, pestaña "Datos Maestros"

La Tabla 01 – A (Operaciones de Montaje), y la Tabla 01 – B (Operaciones de Montaje), tienen un funcionamiento idéntico:

OPERACIÓN MONTAJE	TIEMPO ÓPTIMO		DESVIACIÓN 1				DESVIACIÓN 2			
	TIEMPO OPERACIÓN	PROBABILIDAD	PROBABILIDAD	RATIO	DESVIACIÓN	TIEMPO	PROBABILIDAD	RATIO	DESVIACIÓN	TIEMPO
Montaje de sección	4,5	65%	10%	75%	1	5,5	10%	85%	2	6,5
Montaje de inserto	7,5	68%	12%	80%	1	8,5	10%	90%	2	9,5
Check calidad	2	60%	10%	70%	0,5	2,5	7%	77%	-0,5	1,5
Retoque	0	90%	5%	95%	3	3	4%	99%	6	6
Transmisión	0,7	80%	17%	97%	7	7,7	3%	100%	18	18,7

OPERACIÓN RECICLEAN	TIEMPO ÓPTIMO		DESVIACIÓN 1				DESVIACIÓN 2			
	TIEMPO OPERACIÓN	PROBABILIDAD	PROBABILIDAD	RATIO	DESVIACIÓN	TIEMPO	PROBABILIDAD	RATIO	DESVIACIÓN	TIEMPO
Desmontaje de sección	4	35%	10%	45%	0,5	4,5	10%	55%	-0,5	3,5
Desmontaje de inserto	7	40%	10%	50%	1	8	10%	60%	-1	6
Transmisión	0,7	80%	19%	99%	1,5	2,2	1%	100%	7	7,7
Lavadora	25	40%	10%	50%	2	27	10%	60%	-2	23

Ilustración 34. Vista en detalle. Datos maestros - Tablas de tiempos de operación.

- Operación a realizar:** el usuario debe introducir los nombres de las operaciones a realizar.
- Tiempo óptimo de operación:** el usuario introducirá aquí los valores de tiempo óptimos para realizar cada operación.
  - Tiempo de operación óptimo en minutos
  - Probabilidad de que el operario realice la operación en el tiempo óptimo.
- Desviación 1:** en esta casilla se documentará los tiempos de operación en caso de que queramos dotar al sistema de la capacidad de simular posibles errores por parte de los operarios, debido a la fatiga, a la falta de habilidad o a posibles accidentes.
  - Documentamos la posibilidad de que se produzca ese error.
  - Ratio: es la probabilidad acumulada entre el tiempo óptimo y las desviaciones. Nunca debe sumar más de 100% y en la última desviación que deseemos documentar debe ser igual a 100%.
  - Desviación: cantidad de minutos que el operario incrementa su tiempo de operación en este caso.
  - Tiempo: tiempo total en minutos que tardaría el operario en realizar la operación. Es la suma de la desviación más el tiempo óptimo.



## Desarrollo del simulador

4. **Desviación 2, 3, (...)**: el programa nos permite documentar diversidad de desviaciones en cada operación

En cuanto a la Tabla 02 – Datos Económicos, el usuario deberá introducir los siguientes parámetros:

DOTACIÓN BASES	8
PRECIO COMPRA BASE (TEI)	19
PRECIO COMPRA ANILLO (TEI)	7
PRECIO MEDIO VENTA SOLECTRON	35
COSTE OPERARIO/AÑO	35000
COSTE M2 /AÑO ALQ. NAVE	65
INTERES (COSTE OP)	0,12

Ilustración 35. Datos Maestros. Parámetros dotación y económicos.

- **Dotación de bases**: es uno de los parámetros claves de la simulación, obtener el número óptimo de bases a dotar al flujo es el principal objetivo. Si compramos menos bases de las óptimas reduciremos la inversión a realizar, así como los costes financieros y de superficie debido al stock, pero sin embargo tensaremos más el flujo, haciéndolo más susceptible de romperse, lo cual nos generara ineficiencias en el proceso, debido a puestos de montaje o desmontaje parados por estar esperando que se libere una base.
- **Precio de compra de la base**: coste de adquisición para la empresa de una base.
- **Precio de compra de un anillo**: coste de adquisición para la empresa de un anillo. Cada solectrón lleva cuatro anillos, aunque 8 posibles, por lo que deberemos comprar 8 anillos por cada base extra.
- **Coste operario/año**: coste que tiene la empresa por cada operario y por año. Un operario trabaja un máximo de 8 horas por jornada, 220 jornadas al año.
- **Coste de alquiler** de un metro cuadrado de nave para stock.
- **Interés (Coste de oportunidad)**: rentabilidad que tendría en un año el dinero dedicado a la inversión necesaria, si en vez de invertirlo en este proyecto lo dedicásemos a otra actividad.

### 4.3.2. Pestaña 3. Equilibrado de cadenas.

La siguiente pestaña, “Equilibrado de cadenas”, no solamente tiene la función de parametrizar la simulación, sino también de servir como interesante herramienta para ayudar al usuario a optimizar la simulación.

La función principal es determinar las tareas a realizar en cada uno de los puestos de las líneas montaje y de reciclaje, partimos de una tabla en blanco para cada una de

## Desarrollo de un simulador de la producción programado en Excel

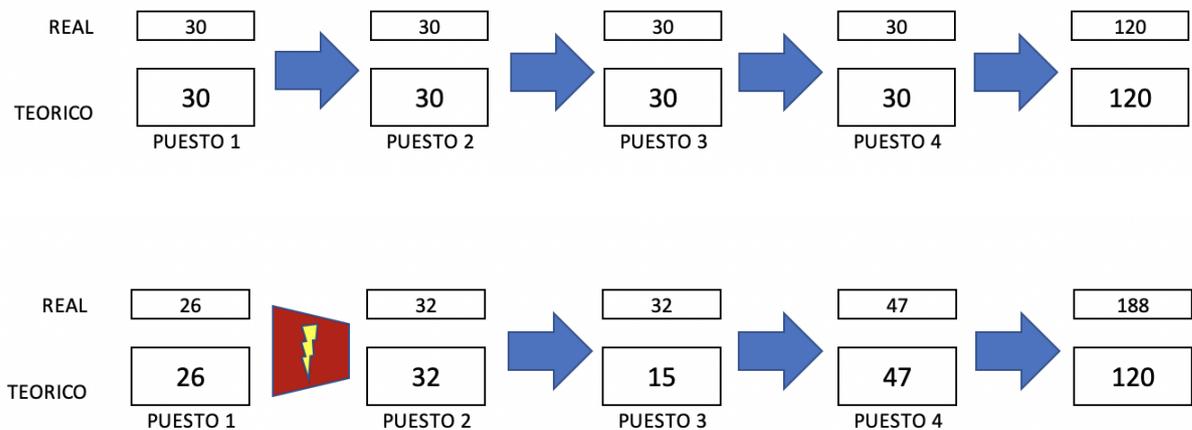
las dos líneas, y con huecos para asignar hasta ocho tareas por puesto (no hemos añadido más, porque se entiende que asignar más de ocho tareas a un solo puesto descompensaría el equilibrado de cadenas, haciendo imposible obtener un resultado óptimo).

Para obtener un resultado óptimo, se tiene que tender a que todos y cada uno de los puestos de la cadena tengan el mismo tiempo teórico de operación, de la manera contraria se formarían cuellos de botella y aumentaría el lead time.

Un ejemplo de ello es la ilustración 36 donde se puede apreciar como la suma de los tiempos de cada uno de los puestos es 120, pero solamente en el primero de los casos, donde el tiempo de operación de todos los puestos está equilibrado se obtiene el tiempo óptimo de 120. En el segundo de los casos podemos observar como el puesto primero al trabajar en un tiempo de ciclo inferior al segundo, tendría que esperar a que el del puesto dos terminase sus operaciones para que el flujo continuase.

De esta forma se determina que el lead time (tiempo que tarda un producto desde que entra en la línea de montaje hasta que sale por el último puesto) es el mayor de los tiempos de ciclos de los puestos que conforman la línea multiplicado por el número de puestos.

Es por ello que es tan importante realizar un buen equilibrado de cadenas.



**Ilustración 36. Explicación de la importancia de un buen equilibrado de cadenas**

En esta herramienta no se va a determinar de base un equilibrado de cadenas óptimo, al no ser parámetros fijos los tiempos de operación, sino que será el propio usuario el cual según la naturaleza y complejidad de las operaciones que vaya a realizar parametrizará en la pestaña "datos maestros" el tiempo óptimo de cada una de las operaciones, así como las posibles desviaciones y sus probabilidades.



### Desarrollo del simulador

MONTAJE					OPERACIONES A REALIZAR				OPERACIÓN		ASIGNADO	ERROR ORDEN	REGLAS ORDEN ASIGNACIÓN:	
PUESTO	Nº OP	CÓDIGO PUESTO	TIPO OPERACIÓN	TIEMPO TEÓRICO										
M01	1	M01-01		0										Las siguientes series son independientes una de la otra. Serie A/ 1A - 2A - Inserto 11 - 3A - 4A - Inserto 15 Serie B/ 1B - 2B - Inserto 12 - 3B - 4B - Inserto 16 Serie C/ 1C - 2C - Inserto 13 - 3C - 4C - Inserto 17 Serie D/ 1D - 2D - Inserto 14 - 3D - 4D - Inserto 18  Por ejemplo, para montar el inserto 11 es necesario haber montado antes la sección 2A, con independencia de que secciones o insertos haya montado en la serie B.
	2	M01-02		0										
	3	M01-03		0										
	4	M01-04		0										
	5	M01-05		0										
	6	M01-06		0										
	7	M01-07		0										
	8	M01-08		0										
M02	1	M02-01		0										
	2	M02-02		0										
	3	M02-03		0										
	4	M02-04		0										
	5	M02-05		0										
	6	M02-06		0										
	7	M02-07		0										
	8	M02-08		0										
M03	1	M03-01		0										
	2	M03-02		0										
	3	M03-03		0										
	4	M03-04		0										
	5	M03-05		0										
	6	M03-06		0										
	7	M03-07		0										
	8	M03-08		0										
M04	1	M04-01		0										
	2	M04-02		0										
	3	M04-03		0										
	4	M04-04		0										
	5	M04-05		0										
	6	M04-06		0										
	7	M04-07		0										
	8	M04-08		0										

RECICLAJE					OPERACIONES A REALIZAR				OPERACIÓN		ASIGNADO	ERROR ORDEN	REGLAS ORDEN ASIGNACIÓN:	
PUESTO	Nº OP	CÓDIGO PUESTO	TIPO OPERACIÓN	TIEMPO TEÓRICO										
R01	1	M01-01		0										Las siguientes series son independientes una de la otra. Serie A/ Inserto 11, 4A, 1A - Inserto 12 - 2A - 1A Inserto 16 - 4B - Inserto 13 - 3B - 1B Serie C/ Inserto 17 - 4C - 3C - Inserto 14 - 2C - 1C Inserto 18 - 4D - 3D - Inserto 15 - 2D - 1D  Por ejemplo, para desmontar la sección 4A es necesario haber desmontado antes el inserto 11, con independencia de que secciones o insertos haya montado en la serie B.  El último puesto debe desmontar al menos un inserto y una sección. La leyenda debe ser la última operación a asignar
	2	M01-02		0										
	3	M01-03		0										
	4	M01-04		0										
	5	M01-05		0										
	6	M01-06		0										
	7	M01-07		0										
	8	M01-08		0										
R02	1	M02-01		0										
	2	M02-02		0										
	3	M02-03		0										
	4	M02-04		0										
	5	M02-05		0										
	6	M02-06		0										
	7	M02-07		0										
	8	M02-08		0										
R03	1	M03-01		0										
	2	M03-02		0										
	3	M03-03		0										
	4	M03-04		0										
	5	M03-05		0										
	6	M03-06		0										
	7	M03-07		0										
	8	M03-08		0										
R04	1	M04-01		0										
	2	M04-02		0										
	3	M04-03		0										
	4	M04-04		0										
	5	M04-05		0										
	6	M04-06		0										
	7	M04-07		0										
	8	M04-08		0										

PARAMETRIZACIÓN DE PUESTOS DE MONTAJE

PARAMETRIZACIÓN DE PUESTOS DE RECICLAJE

Ilustración 37. Interfaz pestaña "Equilibrado de cadenas"

Como el funcionamiento de la herramienta de reciclaje y de montaje tiene un funcionamiento idéntico, se va a explicar solamente como documentar la parametrización de las tareas asignadas a montaje:

1					2				3		REGLAS ORDEN ASIGNACIÓN:
PUESTO	Nº OP	CÓDIGO PUESTO	TIPO OPERACIÓN	TIEMPO TEÓRICO	OPERACIONES A REALIZAR	OPERACIÓN	ASIGNADO	ERROR ORDEN			
M01	1	M01-01		0	Montaje de sección 1A	Montaje de sección 1A				Las siguientes series son independientes una de la otra. Serie A/ 1A - 2A - Inserto 11 - 3A - 4A - Inserto 15 Serie B/ 1B - 2B - Inserto 12 - 3B - 4B - Inserto 16 Serie C/ 1C - 2C - Inserto 13 - 3C - 4C - Inserto 17 Serie D/ 1D - 2D - Inserto 14 - 3D - 4D - Inserto 18  Por ejemplo, para montar el inserto 11 es necesario haber montado antes la sección 2A, con independencia de que secciones o insertos haya montado en la serie B.	
	2	M01-02		0	Montaje de sección 1B	Montaje de sección 1B					
	3	M01-03		0	Montaje de sección 1C	Montaje de sección 1C					
	4	M01-04		0	Montaje de sección 1D	Montaje de sección 1D					
	5	M01-05		0	Montaje de sección 2A	Montaje de sección 2A					
	6	M01-06		0	Montaje de sección 2B	Montaje de sección 2B					
	7	M01-07		0	Montaje de sección 2C	Montaje de sección 2C					
	8	M01-08		0	Montaje de sección 2D	Montaje de sección 2D					
M02	1	M02-01		0	Montaje de inserto 11	Montaje de inserto 11					
	2	M02-02		0	Montaje de inserto 12	Montaje de inserto 12					
	3	M02-03		0	Montaje de inserto 13	Montaje de inserto 13					
	4	M02-04		0	Montaje de inserto 14	Montaje de inserto 14					
	5	M02-05		0	Montaje de sección 3A	Montaje de sección 3A					
	6	M02-06		0	Montaje de sección 3B	Montaje de sección 3B					
	7	M02-07		0	Montaje de sección 3C	Montaje de sección 3C					
	8	M02-08		0	Montaje de sección 3D	Montaje de sección 3D					
M03	1	M03-01		0	Montaje de sección 4A	Montaje de sección 4A					
	2	M03-02		0	Montaje de sección 4B	Montaje de sección 4B					
	3	M03-03		0	Montaje de sección 4C	Montaje de sección 4C					
	4	M03-04		0	Montaje de sección 4D	Montaje de sección 4D					
	5	M03-05		0	Montaje de inserto 15	Montaje de inserto 15					
	6	M03-06		0	Montaje de inserto 16	Montaje de inserto 16					
	7	M03-07		0	Montaje de inserto 17	Montaje de inserto 17					
	8	M03-08		0	Montaje de inserto 18	Montaje de inserto 18					
M04	1	M04-01		0							
	2	M04-02		0							
	3	M04-03		0							
	4	M04-04		0							
	5	M04-05		0							
	6	M04-06		0							
	7	M04-07		0							
	8	M04-08		0							

- Panel de entrada:** aquí se insertará cada una de las operaciones que realiza cada operario, podemos observar como el usuario se encuentra una tabla vacía, dividida para cuatro puestos de montaje y hueco para introducir hasta ocho tareas por puesto.
- Listado de operaciones y tabla de control:** aquí se ve una enumeración de todas las tareas a realizar en la línea de montaje y que hay que distribuir entre

## Desarrollo de un simulador de la producción programado en Excel

los cuatro puestos. Se podrá ver también dos tablas de control, una con el encabezado “ASIGNADO”, que como se verá adelante saltará una alerta si esa tarea ya ha sido asignada (ya que no es posible realizar una misma tarea dos veces), y la segunda alerta con el encabezado “ERROR DE ORDEN”, para avisar si no se está respetando el orden de montaje necesario. De esta forma gracias a estos Poka-yoke visuales se minimizará la posibilidad de errores a la hora de parametrizar.

3. **Reglas de asignación** de tareas para montaje (o desmontaje en la tabla inferior). Son las siguientes:

**REGLAS ORDEN ASIGNACIÓN MONTAJE:**

Las siguientes series son independientes una de la otra.

Serie A/      1A - 2A - **Inserto I1** - 3A - 4A - Inserto I5  
 Serie B/      1B - 2B - Inserto I2 - 3B - 4B - Inserto I6  
 Serie C/      1C - 2C - Inserto I3 - 3C - 4C - Inserto I7  
 Serie D/      1D - 2D - Inserto I4 - 3D - 4D - Inserto I8

Por ejemplo, para montar el **inserto I1** es necesario haber montado antes la **sección 2A**, con independencia de que secciones o insertos hayas montado en la serie B

**REGLAS ORDEN ASIGNACIÓN RECICLAJE:**

Las siguientes series son independientes una de la otra.

Serie A/      Inserto I5 - 4A - 3A - Inserto I1 - 2A - 1A  
 Serie B/      Inserto I6 - 4B - 3B - Inserto I2 - 2B - 1B  
 Serie C/      Inserto I7 - 4C - 3C - Inserto I3 - 2C - 1C  
 Serie D/      Inserto I8 - 4D - 3D - Inserto I4 - 2D - 1D

Por ejemplo, para desmontar la **sección 4A** es necesario haber desmontado antes el **inserto I5**, con independencia de que secciones o insertos hayas montado en la serie B

**El último puesto debe desmontar al menos un inserto y una sección**

**La lavadora debe ser la última operación a asignar**

**Ilustración 38. Reglas de asignación de montaje y desmontaje**

PUESTO	Nº OP	CÓDIGO PUESTO	TIPO OPERACIÓN	TIEMPO TEORICO
M01	1	M01-01		0
	2	M01-02		0
	3	M01-03		0
	4	M01-04		0
	5	M01-05	Montaje de sección	0
	6	M01-06	Montaje de inserto	0
	7	M01-07		0
	8	M01-08		0
M02	1	M01-01		0
	2	M01-02		0
	3	M01-03		0
	4	M01-04		0
	5	M01-05		0
	6	M01-06		0
	7	M01-07		0
	8	M01-08		0

**Ilustración 39. Parametraje de las operaciones por puesto. Manual de Usuario.**

Como se puede ver en las ilustraciones 40 y 41, si incumplimos por error cualquiera de las normas, el propio programa nos alertará en las tablas de control.

STO	TIPO OPERACIÓN	TIEMPO TEORICO	
Montaje de sección	1A	4,5	!!!!
Montaje de sección	1A	4,5	!!!!
		0	
		0	

PUESTO	TIPO OPERACIÓN	TIEMPO TEORICO	
L-01	Montaje de sección 1A	4,5	OK
L-02	Montaje de sección 1B	4,5	OK
L-03		0	
L-04		0	
...		9	

**Ilustración 40. Error de duplicidad de asignación / Check comprobación no duplicidad**



### Desarrollo del simulador

PUESTO	Nº OP	CÓDIGO PUESTO	TIPO OPERACIÓN	TIEMPO TEORICO	ASIGNADO	ERROF
M01	1	M01 - 01	Montaje de sección 1A	4,5	OK	
	2	M01 - 02	Montaje de sección 1B	4,5	OK	
	3	M01 - 03				
	4	M01 - 04				
	5	M01 - 05				
	6	M01 - 06				
	7	M01 - 07				
	8	M01 - 08				
M02	1	M01 - 01				
	2	M01 - 02				
	3	M01 - 03				
	4	M01 - 04				
	5	M01 - 05				
	6	M01 - 06				
	7	M01 - 07				
	8	M01 - 08				
M03	1	M01 - 01				
	2	M01 - 02				
	3	M01 - 03				
	4	M01 - 04				
	5	M01 - 05				
	6	M01 - 06				
	7	M01 - 07				
	8	M01 - 08				
M04	1	M01 - 01				
	2	M01 - 02				
	3	M01 - 03				
	4	M01 - 04				
	5	M01 - 05				
	6	M01 - 06				

OPERACIONES A REALIZAR	OPERACIÓN	ASIGNADO
Montaje de sección 1A	Montaje de sección 1A	X
Montaje de sección 1B	Montaje de sección 1B	X
Montaje de sección 1C	Montaje de sección 1C	
Montaje de sección 1D	Montaje de sección 1D	
Montaje de sección 2A	Montaje de sección 2A	
Montaje de sección 2B	Montaje de sección 2B	
Montaje de sección 2C	Montaje de sección 2C	
Montaje de sección 2D	Montaje de sección 2D	
Montaje de inserto 11	Montaje de inserto 11	
Montaje de inserto 12	Montaje de inserto 12	
Montaje de inserto 13	Montaje de inserto 13	
Montaje de inserto 14	Montaje de inserto 14	
Montaje de sección 3A	Montaje de sección 3A	
Montaje de sección 3B	Montaje de sección 3B	
Montaje de sección 3C	Montaje de sección 3C	
Montaje de sección 3D	Montaje de sección 3D	
Montaje de sección 4A	Montaje de sección 4A	
Montaje de sección 4B	Montaje de sección 4B	
Montaje de sección 4C	Montaje de sección 4C	
Montaje de sección 4D	Montaje de sección 4D	
Montaje de inserto 15	Montaje de inserto 15	
Montaje de inserto 16	Montaje de inserto 16	
Montaje de inserto 17	Montaje de inserto 17	
Montaje de inserto 18	Montaje de inserto 18	

Ilustración 41. Check de verificación de asignación.

Este check de verificación de asignación minimiza el riesgo de olvidar alguna tarea sin asignar, ya que automáticamente marca con una "X" en la lista de tareas, la tarea que se acaba de asignar.

Una vez completa la asignación de las tareas a los cuatro puestos de montaje o reciclaje, se puede ver al lado de las tareas asignadas, el tiempo óptimo para desarrollar esa tarea, así como el acumulado que tiene ese puesto, pudiendo ver como de equilibrados están los puestos de un simple golpe de vista.

PUESTO	Nº OP	CÓDIGO PUESTO	TIPO OPERACIÓN	TIEMPO TEORICO	TIEMPO ACUMULADO	OK
M01	1	M01 - 01	Montaje de sección 1A	4,5	33	OK
	2	M01 - 02	Montaje de sección 1B	4,5		OK
	3	M01 - 03	Montaje de sección 2A	4,5		OK
	4	M01 - 04	Montaje de sección 2B	4,5		OK
	5	M01 - 05	Montaje de inserto 11	7,5		OK
	6	M01 - 06	Montaje de inserto 12	7,5		OK
	7	M01 - 07		0		
	8	M01 - 08		0		
M02	1	M01 - 01	Montaje de sección 1C	4,5	33	OK
	2	M01 - 02	Montaje de sección 1D	4,5		OK
	3	M01 - 03	Montaje de sección 2C	4,5		OK
	4	M01 - 04	Montaje de sección 2D	4,5		OK
	5	M01 - 05	Montaje de inserto 13	7,5		OK
	6	M01 - 06	Montaje de inserto 14	7,5		OK
	7	M01 - 07		0		
	8	M01 - 08		0		
M03	1	M01 - 01	Montaje de sección 3A	4,5	33	OK
	2	M01 - 02	Montaje de sección 3B	4,5		OK
	3	M01 - 03	Montaje de sección 4A	4,5		OK
	4	M01 - 04	Montaje de sección 4B	4,5		OK
	5	M01 - 05	Montaje de inserto 15	7,5		OK
	6	M01 - 06	Montaje de inserto 16	7,5		OK
	7	M01 - 07		0		
	8	M01 - 08		0		
M04	1	M01 - 01	Montaje de sección 3C	4,5	33	OK
	2	M01 - 02	Montaje de sección 3D	4,5		OK
	3	M01 - 03	Montaje de sección 4C	4,5		OK
	4	M01 - 04	Montaje de sección 4D	4,5		OK
	5	M01 - 05	Montaje de inserto 17	7,5		OK
	6	M01 - 06	Montaje de inserto 18	7,5		OK
	7	M01 - 07		0		
	8	M01 - 08		0		

Ilustración 42. Tiempo óptimo de cada tarea (azul) y tiempo acumulado por puesto (rojo)

### 4.3.3. Pestaña 1. Simulador

Una vez parametrizados los datos de entrada del simulador, el usuario ya puede comenzar a realizar las simulaciones necesarias, para ello acudirá a la pestaña 1 “Simulador”, donde se encontrará con el siguiente interfaz.

**2** ARRANCAR SIMULACIÓN      **6** RESET

**3** RESULTADOS (SIMULACIÓN EN CURSO)

LEAD TIME PROMEDIO	198,08 min
TIEMPO PRODUCCIÓN (100 sol)	3452,50 min
ROTURAS DE STOCK	15 veces
STOCK PROMEDIO BASES	1,875
INVERSIÓN	525 €
INGRESOS	2.000 €
COSTES MOD	1.307,77 €
COSTES STOCK	0,08 €
COSTES FINANCIEROS INV	2,06 €
COSTES	1.310 €
BENEFICIO	166 €
INDICE DE RENTABILIDAD (IR)	32%
TIEMPO PERDIDO	357,4
COSTE TIEMPO PERDIDO	135,38 €
INVERSIÓN 1 SOLECTRON EXTRA	109 €

NOTA: Para determinar el número de simulaciones a realizar. Escribir "FIN" en la Columna "F", en la fila siguiente al número de simulaciones que queremos realizar. Ejemplo: si queremos realizar 20 simulaciones, escribir "FIN" en la celda F21.

**5**

MIN	0,0	0,0	0	0,0	0,00 €	0,0%	0,0	0,00 €
PROMEDIO	#[DIV/0]							
MAX	0,0	0,0	0	0,0	0,00 €	0,0%	0,0	0,00 €

**4**

LACIONE	ID	DATOS PRODUCCIÓN			DATOS ECONOMICOS		RUPTURAS STOCK	
		LEAD TIME	TIEMPO DE PRODUCCIÓN	ROTURAS STOCK	STOCK PROMEDIO	BENEFICIO	IR	TIEMPO PERDIDO
	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	7							
	8							
	9							
	10							
	11							
	12							
	13							
	14							
	15							
	16							
	17							
	18							
	19							
	20							
	21							
	22							
	23							
	24							
	25							
	26							
	27							
	28							
	29							
	30							
	31							
	32							
	33							
	34							
	35							
	36							
	37							
	38							
	39							

**1** FIN

Ilustración 43. Interfaz del simulador

1. Lo primero de todo, el usuario debe seleccionar el número de simulaciones que quiere realizar, y como se explica en la nota amarilla: “Para determinar el número de simulaciones a realizar. Escribir "FIN" en la Columna "F", en la fila siguiente al número de simulaciones que se quieran hacer. Ejemplo: si se van a generar 20 simulaciones, debe escribirse "FIN" en la celda F21. No hay un número máximo de simulaciones a realizar, eso si cuantas más simulaciones se realicen más fiable será el resultado, aunque el tiempo de procesado de la simulación será mayor.
2. Botón de arrancar la simulación: pulsando clic en este botón comenzará a realizarse la simulación y a registrarse los datos en la tabla de resultados (5)
3. Información sobre la simulación actual: sirve para mostrar al usuario los datos actuales de inversión a realizar e ingresos previstos, los datos de costes y por tanto de beneficios y rentabilidad de la inversión variarán con cada simulación.
4. Tabla de resultados, donde se muestran los principales indicadores de cada una de las simulaciones realizadas (Lead Time, Tiempo total de producción, nº de roturas de stock, stock promedio, beneficio económico del proyecto, índice de rentabilidad sobre el total de la inversión a realizar).



### Desarrollo del simulador

---

- a. Lead time: promedio de los tiempos que tarda un solectrón desde que entra en producción hasta que entra en la lavadora.
  - b. Tiempo total de producción: tiempo total que se ha tardado en realizar la producción y reciclaje de los cien solectrones del proyecto.
  - c. Beneficio económico: diferencia entre los ingresos previstos de la actividad económica, y los gastos incurridos
  - d. Índice de rentabilidad (IR): cociente entre el beneficio neto y la inversión realizada en el proyecto.
  - e. Tiempo total perdido en M01 por no disponer de stock en S0.
  - f. Coste en MOD asociado al tiempo total perdido por falta de stock.
5. Tabla donde es calculado el mínimo, el máximo y el promedio de los valores claves, de entre todas las simulaciones, de esta forma se puede obtener una buena imagen global del espectro de valores que puede tomar este sistema en la realidad.
  6. Botón de reset: este botón borra los datos de la tabla de simulaciones anteriores.

A partir de este punto, se van a explicar el resto de pestañas que se encuentran en el simulador, pero en las cuales ya no tiene que intervenir el usuario, simplemente le serán útiles para obtener información más detallada de la simulación.

#### **4.3.4. Pestaña 4. Tabla de tiempos.**

En esta pestaña se puede encontrar una tabla en la cual se recogen todos los datos de inicio y fin en todos y cada uno de los puestos por los que han ido pasando todos y cada uno de los 100 solectrones de la simulación. Esta tabla tiene el siguiente diseño:

# Desarrollo de un simulador de la producción programado en Excel

BANDEJA	MO1	MO2	TIEMPOS												Lead Time	Bandeja	
			MONTAJE			M01			R01			RECTCLEAN					
			FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO			
1	0,0	24,7	24,7	59,9	59,9	82,6	115,8	201,2	207,9	207,9	233,6	233,6	258,3	258,3	257,3	257,3	101,0
2	24,7	59,9	59,9	95,1	95,1	128,1	128,1	153,9	207,9	214,6	233,6	259,3	259,3	284,0	284,0	314,0	289,3
3	59,9	95,1	95,1	128,1	128,1	163,3	163,3	186,3	217,9	241,3	259,3	285,7	285,0	309,7	309,7	298,7	238,8
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	
35																	
36																	
37																	
38																	
39																	
40																	
41																	
42																	
43																	
44																	
45																	
46																	
47																	
48																	
49																	
50																	
51																	
52																	
53																	
54																	
55																	
56																	
57																	
58																	
59																	
60																	
61																	
62																	
63																	
64																	
65																	
66																	
67																	
68																	
69																	
70																	
71																	
72																	
73																	
74																	
75																	
76																	
77																	
78																	
79																	
80																	
81																	
82																	
83																	
84																	
85																	
86																	
87																	
88																	
89																	
90																	
91																	
92																	
93																	
94																	
95																	
96																	
97																	
98																	
99																	
100																	

PROMEDIO		199,5
MAX		325,3
MIN		87,6

ROTURAS DE STOCK		10
------------------	--	----

PROMEDIO		199,5
MAX		325,3
MIN		87,6

ROTURAS DE STOCK		10
------------------	--	----

Ilustración 44. Tabla de tiempos



### 4.3.5. Pestaña 5. Datos Eco

En esta pestaña son calculados los datos relacionados con los resultados económicos de la actividad:

#### DATOS ECONÓMICOS

INGRESOS	
PRECIO VENTA MEDIO SOLECTRON	35,00 €
PRODUCCIÓN	100
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>3.500 €</b>

INVERSIÓN	
DOTACIÓN BASES	8

PRECIO COMPRA BASE (TEI)	19 €
PRECIO COMPRA ANILLO (TEI)	7 €
INVERSIÓN / BASE	75 €
INVERSIÓN TOTAL SOLECTRON	600 €

HERRAMIENTAS / OPERARIO	7 €
EPIS	45 €
TOTAL / OPERARIO	52 €
Nº OPERARIOS	8
TOTAL HERRAMIENTAS + EPIS	416 €

TEI (INVERSION INICIAL TOTAL)	1.016 €
-------------------------------	---------

COSTES		
COSTE POR OPERARIO	35.000 €	año
	159 €	día
	20 €	hora
	0,3314 €	minuto

COSTE STOCK (SUPERFICIE)	35	€/m2 año
	15	solectrones /m2
	2,33 €	€/solectron año
	0,0000221 €	€/solectron minuto

COSTE FINANCIERO INVERSIÓN	1.016,00 €	Inversión
	12%	Interes anual (coste op)
	121,92 €	Coste / año
	0,00115 €	Coste / minuto

Ilustración 45. Pestaña Datos Eco

- **INGRESOS**
  - **Precio de venta medio (solectrón):** ingreso por cada solectrón que recibe el cliente.
  - **Producción:** cantidad de solectrones que se pretenden producir en el proyecto. Como trabajamos bajo pedido previo (recibimos un film firme de necesidades del cliente) todos los solectrones producidos son vendidos.
  - **Total, ingresos:** producto del número de solectrones producidos por el precio medio de venta por cada solectrón.
- **INVERSIÓN**
  - **Dotación bases:** cantidad de bases adquiridas al inicio de proyecto, introducido en los parámetros de la pestaña “2. Datos maestros”.
  - **Precio compra base:** inversión a realizar por el proyecto por cada base adquirida.
  - **Precio compra anillo:** inversión a realizar por el proyecto por cada anillo adquirido. Por cada base hay que invertir en ocho anillos, uno por color.

- **Inversión / base:** inversión necesaria a realizar por cada base que incluyamos en la dotación.
- **Herramientas:** inversión inicial a realizar por el proyecto en herramientas por cada uno de los operarios
- **EPIs:** inversión inicial a realizar por el proyecto en Equipos de Protección individual por cada uno de los operarios.
- **Inversión por operario:** la suma de las inversiones a realizar por cada operario.
- **Numero de operarios**
- **Total inversión operarios:** número de operarios por la inversión a realizar por operario.
  
- **Total inversión:** cantidad total a invertir para comenzar el proyecto.
  
- **COSTES**
  - **Coste por operario:** en cada una de las fracciones de tiempo
  - **Coste de stock (superficie):** coste de la superficie a emplear para tener el stock de bases, secciones e insertos cuando no están siendo utilizados en el proceso productivo.
  - **Coste financiero (inversión):** coste de financiar la inversión a realizar para el proyecto, puede ser el tipo de interés que nos cobre una entidad financiera externa, en caso de ser este el origen de la financiación, o puede ser el coste de oportunidad de tener nuestros recursos empleados en este proyecto y no en otro, en caso ser una fuente de financiación interna.

#### 4.3.6. Pestaña 6. Flujograma

En esta pestaña podemos, por información, ver una representación gráfica del proceso simulado. Corresponde a la ilustración 32 visto en el apartado 3.2. “Sistema y modelo”

#### 4.3.7. Pestaña 7. S0

A partir de esta pestaña comienza el núcleo de la simulación, donde realmente se desarrolla el cálculo de los tiempos y los stocks.

En S0, podemos encontrar cuatro distintas tablas:

- **Tabla Salida:** en esta se registran todas las salidas de bases y secciones del stock. En qué tiempo y que secciones son cogidas del stock por el primer puesto M01.
- **Tabla Entrada:** quedan anotadas todas las entradas a S0 a través de la lavadora, cuando finaliza el proceso de reciclaje.



## Desarrollo del simulador

- **Tabla Cálculo:** no aporta ningún valor añadido al usuario, simplemente es una tabla necesaria para que el programador pueda realizar operaciones intermedias de cara a calcular el stock en cada momento (Tabla Stock), con los datos de las tablas Salida y Entrada.
- **Tabla Stock:** en esta tabla quedan recogidas ordenadas cronológicamente todas las entradas y salidas de bases y secciones del stock.

Las bases están representadas en gris con el número 2, y las secciones por colores y numeradas del 3 al 10. El sentido de esta numeración es para facilitar las labores del programador, y los colores corresponden al color de las secciones y el gris al color de la base.

STOCK										
TIEMPO	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
INICIAL	15	30	30	30	30	30	30	30	30	30
1	0	14	29	29	29	29	30	30	30	30
2	32,7	13	28	28	28	28	30	30	30	30
3	64,7	12	27	27	27	28	29	30	30	30
4	99,9	11	26	26	26	27	29	30	30	30
5	132,6	10	26	25	25	27	29	29	29	30
6	167,1	9	25	24	24	26	29	29	29	30
7	202,8	8	24	23	23	25	29	29	29	30
8	237,5	7	24	22	23	25	29	29	28	29
9	272,2	6	23	22	23	25	28	29	28	28

Ilustración 46. Tabla Stock

SALIDA										
TIEMPO	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0
32,7	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0
64,7	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	0	0
99,9	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0
132,6	-1	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0
167,1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0
202,8	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0
237,5	-1	0	-1	0	0	0	0	-1	-1	0
272,2	-1	-1	0	0	0	-1	0	0	0	-1
305,4	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0

Ilustración 47. Tabla Salida

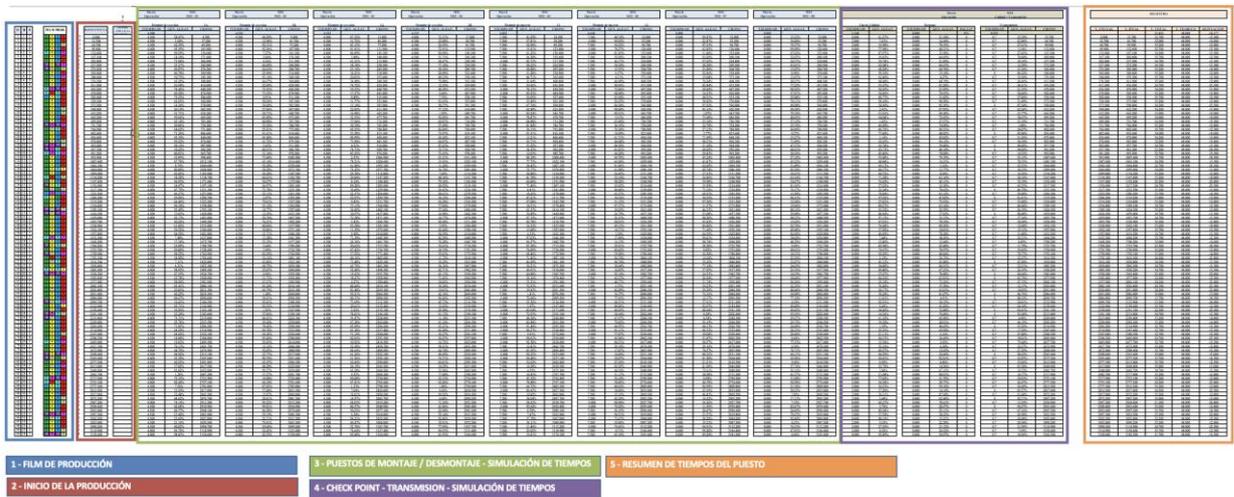
ENTRADA										
TIEMPO	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
301,9	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
378,6	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
373,3	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
449	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
432	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0
469	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
485,4	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
530,4	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0
597,8	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
653	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
617,7	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0

Ilustración 48. Tabla Entrada

### 4.3.8. Pestaña 8 a 11 y 14 a 17. Puestos de Montaje y Reciclaje

Todas las pestañas de puestos de montaje y reciclaje tienen la misma configuración, funcionamiento e interfaz, salvo el puesto M01, que a mayores incluye una tabla con la información del film firme (pedidos del cliente secuenciados). Por lo que se limitará la explicación a la pestaña M01, y es extrapolable al resto de puestos de montaje y reciclaje.

#### M01



#### 1. Film de producción (exclusivo de M01) – Ilustración 49:

- Orden de producción: número de solectrón producido, desde el primero hasta el número cien de la producción.
- Bandeja de entrega: número de bandeja en el cual se va a entregar el solectrón al cliente, se encuentran también secuenciadas.
- Nº solectrón dentro de la bandeja
- Film de producción: secuencia de las características de cada solectrón a producir.

O	B	S	FILM PROD.			
1	1	1	3	4	5	6
2	1	2	3	4	5	6
3	1	3	3	4	5	7
4	1	4	3	4	5	6
5	2	1	8	4	5	9
6	2	2	3	4	5	6
7	3	1	3	4	5	6
8	3	2	10	4	10	9
9	3	3	10	7	3	7
10	4	4	3	4	5	6

Ilustración 49. Film de producción (M01).

#### 2. Inicio de la producción (exclusivo de M01) – Ilustración 50:



## Desarrollo del simulador

- Cronometro inicial: momento en que el puesto M01 coge un solectrón de S0.
- Check ¿Espera por falta de stock?: marca una “X” en caso de no quedaran bases disponibles en S0 cuando el operario del puesto M01 haya necesitado cogerla, y ha tenido que esperar a que llegara una nueva base a S0 procedente de la línea de reciclaje. Un alto número de veces que haya sucedido es el principal indicador de una dotación de bases insuficientes.
- Tiempo de espera

CRONO INICIAL	¿ESPERA POR FALTA DE STOCK?	TIEMPO EN ESPERA
0,000		
34,200		
58,900		
83,600		
116,300		
151,500		
175,200		
210,900		
326,300	X	91,200
368,700	X	7,400

Ilustración 50. Inicio de la producción (M01)

### 3. Puestos de montaje/desmontaje – simulación de tiempos – Ilustración 51:

- Identificación de puesto - operación (1)
- Descripción de la operación (2)
- Tiempo empleado en realizar la operación (3)
- Momento en el cual termina de realizar la operación (4)

OPERACIÓN 1 DEL PUESTO M01				OPERACIÓN 2 DEL PUESTO M01			
Puesto M01 Operación M01 - 01		Puesto M01 Operación M01 - 02		Puesto M01 Operación M01 - 02		Puesto M01 Operación M01 - 02	
Montaje de sección 1A				Montaje de sección 1B			
TIEMPO OP.	GEN. ALEAT.	CRONO		TIEMPO OP.	GEN. ALEAT.	CRONO	
4,325				4,375			
4,000	76,47%	4,000		4,000	76,02%	8,000	
4,500	11,95%	38,700		4,500	59,11%	43,200	
4,500	1,88%	63,400		4,000	91,95%	67,400	
4,500	22,09%	88,100		4,500	62,06%	92,600	
4,500	64,68%	120,800		4,500	47,44%	125,300	
4,500	29,37%	156,000		4,000	80,45%	160,000	
4,500	19,00%	179,700		4,500	56,10%	184,200	
4,500	56,82%	215,400		4,500	16,33%	219,900	
4,500	11,65%	330,800		4,500	41,27%	335,300	
4,000	97,64%	372,700		4,000	88,31%	376,700	
4,000	78,12%	403,700		4,500	35,13%	408,200	
4,500	15,29%	437,400		4,500	52,02%	441,900	
4,000	72,25%	471,600		4,000	95,96%	475,600	
4,500	18,04%	542,600		4,000	75,39%	546,600	
4,000	69,15%	553,300		4,500	12,89%	557,800	
4,500	34,06%	589,000		4,500	27,07%	593,500	
4,500	19,04%	683,400		4,000	78,39%	687,400	

Ilustración 51. Puestos de montaje/desmontaje - simulación de tiempos

### 4. Check point, transmisión – Simulación de tiempos – Ilustración 52

- Identificación, descripción del puesto (1)
- Simulación del tiempo de operación del check de calidad (2)

## Desarrollo de un simulador de la producción programado en Excel

- c. Simulación del tiempo de retoque cuando sea necesario (3)
- d. Simulación de la transmisión del solectrón al siguiente puesto (4)

CHECK CALIDAD + TRANSMISIÓN DEL PUESTO M01									
Puesto Operación					M01 Calidad + Transmisión				
<b>2</b> Check Calidad		<b>3</b> Retoque			<b>4</b> Transmisión				
TIEMPO OP.	GEN. ALEAT.	TIEMPO OP.	GEN. ALEAT.	FALLO?	TIEMPO OP.	GEN. ALEAT.	CRONO		
1,340		0,000	0%		0,588				
0,000	85,75%	0,000	95,69%	0	0,7	42,13%	12,200		
0,000	90,64%	0,000	56,13%	0	0,7	63,41%	37,400		
2,000	47,74%	0,000	45,45%	0	0,7	11,96%	72,600		
2,000	55,59%	0,000	58,86%	0	0,7	40,54%	107,800		
2,000	37,86%	0,000	41,77%	0	0	91,88%	142,800		
2,000	37,55%	0,000	95,74%	0	0,7	51,74%	178,000		
2,000	57,67%	0,000	67,99%	0	0,7	68,00%	212,700		
2,000	5,52%	0,000	86,52%	0	0,7	16,37%	245,700		
0,000	87,16%	0,000	86,44%	0	0	83,06%	294,500		
0,000	93,20%	0,000	42,81%	0	0,7	55,69%	328,200		
2,000	51,58%	0,000	20,71%	0	0,7	53,27%	363,400		
2,000	22,54%	0,000	90,37%	0	0,7	47,32%	388,100		
0,000	68,21%	0,000	45,54%	0	0,7	42,51%	425,900		
2,000	43,96%	0,000	39,96%	0	0,7	46,94%	466,900		

Ilustración 52. Check de calidad + transmisión

### 5. Registro de tiempos del puesto – Ilustración 53:

- a. Tiempo inicial de producción del solectrón en el puesto M0X
- b. Tiempo final de producción del solectrón en el puesto M0X
- c. Tiempo total de producción del solectrón en el puesto M0X
- d. Tiempo teórico de producción del solectrón en el puesto M0X
- e. Desviación: tiempo teórico – tiempo total.

REGISTRO				
T. INICIAL	T. FINAL	T. TOTAL	T. TEORICO	DESVIACIÓN
		30,850	48,000	-17,150
0,000	11,700	11,700	48,000	-36,300
11,700	46,900	35,200	48,000	-12,800
46,900	80,400	33,500	48,000	-14,500
80,400	115,400	35,000	48,000	-13,000
115,400	150,100	34,700	48,000	-13,300
150,100	174,800	24,700	48,000	-23,300
174,800	210,000	35,200	48,000	-12,800
210,000	245,200	35,200	48,000	-12,800

Ilustración 53. Registro de tiempos del puesto

### 4.3.9. Pestaña 12. S1 - Stock intermedio de producto terminado (bandejas)

El cliente puede realizar pedidos (órdenes) desde uno hasta cuatro solectrones dentro del mismo pedido, todos los solectrones del mismo pedido deben ser entregados a la vez.

Una vez terminado de montarse el solectrón, este abandona la línea de montaje hacia el stock intermedio de producto terminado (S1), el cual es depositado en la



## Desarrollo del simulador

bandeja de entrega al cliente. Este electrón se quedará en la bandeja en espera hasta que la bandeja este completa según la orden del cliente.

El interfaz que se encontrará el usuario será el siguiente:

The image shows a screenshot of a simulation interface. On the left, there is a small table titled "TABLA DE TIEMPOS POR BANDEJA" (Table of times per tray) with a red border. This table lists tray IDs and their completion times. To the right of this table is a much larger, detailed data table with many columns and rows, representing the simulation's internal data. The red highlight is on the first table, indicating it is the primary one for user interaction.

Ilustración 54. Tabla de tiempos por bandeja

Como se puede apreciar podrá ver dos tablas, la primera de ellas (y resaltada en rojo en la Ilustración 54, el usuario puede encontrar información acerca de los tiempos en que las bandejas han sido completadas y entregadas al cliente. La segunda tabla, más grande, es empleada por el programador para calcular los tiempos reflejados en la primera tabla.

### 4.3.10. Pestaña S2. Stock inicial de la línea de reciclaje

Del mismo modo que el cliente recibe los solectrones terminados en bandejas, en esas mismas bandejas devuelve el producto a la línea de reciclaje. Como devuelve una bandeja con desde uno hasta cuatro solectrones usados, y desde la línea de reciclaje, en el puesto R01 no es posible tratar más de un solectrón a la vez, debemos crear un stock inicial para la línea de reciclaje.

El interfaz para el usuario es el siguiente:

## Desarrollo de un simulador de la producción programado en Excel

TIEMPOS DE ENTRADA AL STOCK											TIEMPOS DE SALIDA DEL STOCK										
		ENTRADA											SALIDA								
BANDEJA	SOL	TIEMPO	BASES	G	Y	R	C	S	F	M	TIEMPO	BASES	G	Y	R	C	S	F	M		
1	1	224,90	1	1	1	1	0	0	0	0	224,90	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	
1	2	224,90	1	1	1	1	0	0	0	0	241,60	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	
1	3	224,90	1	1	1	1	0	1	0	0	258,30	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	0	0	
1	4	224,90	1	1	1	1	0	0	0	0	265,00	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	
2	1	284,60	1	0	1	1	0	0	1	1	301,70	-1	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	
2	2	284,60	1	1	1	1	0	0	0	0	308,40	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	
3	1	502,60	1	1	1	1	1	0	0	0	502,60	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	
3	2	502,60	1	0	1	0	0	0	0	1	509,30	-1	0	-1	0	0	0	0	-1	-1	
3	3	502,60	1	1	0	0	0	1	0	0	516,00	-1	-1	0	0	0	-1	0	0	-1	
4	1	627,00	1	1	1	1	1	0	0	0	627,00	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	
4	2	627,00	1	1	0	1	0	1	0	1	633,00	-1	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	
4	3	627,00	1	1	1	1	1	0	0	0	629,70	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	
4	4	627,00	1	1	1	1	1	0	0	0	627,00	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	
5	1	754,70	1	0	0	0	0	0	1	1	754,70	-1	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	
5	2	754,70	1	0	0	0	1	0	1	0	771,40	-1	0	0	0	-1	0	-1	0	0	
6	1	906,20	1	0	1	1	1	0	1	0	906,20	-1	0	-1	-1	-1	0	-1	0	0	
6	2	906,20	1	1	1	1	1	0	0	0	912,90	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	

Ilustración 55. Interfaz de S2

A partir de S2, el puesto R01 irá tomando solectrones y comienza el proceso de reciclaje, que concluye en el puesto LV(R04), donde las bases, las secciones y los insertos vuelven a S0 y se disponen a ser montados de nuevo.

### 4.3.11. Tabla de tiempos de espera de simulación.

Con el objetivo de que el usuario se haga una idea del tiempo de reacción del simulador, a continuación, expondremos una tabla con los tiempos que ha tardado en realizar las simulaciones.

Estamos trabajando con un ordenador portátil de las siguientes características:

Información del hardware:	
Nombre del modelo:	MacBook Pro
Identificador del modelo:	MacBookPro14,3
Nombre del procesador:	Intel Core i7
Velocidad del procesador:	2,8 GHz
Cantidad de procesadores:	1
Cantidad total de núcleos:	4
Caché de nivel 2 (por núcleo):	256 KB
Caché de nivel 3:	6 MB
Memoria:	16 GB

Ilustración 56. Características del hardware con el que se realiza la simulación.

Nº simulaciones	Tiempo
5	0:01:16
10	0:01:92
15	0:02:50
20	0:03:15
25	0:03:68
50	0:06:68
100	0:13:02
150	0:18:92

Ilustración 57. Tiempos de simulación

## 4.4. Manual del programador

En este apartado se explicará cómo está programado el modelo en Excel para simular el sistema real y crear la herramienta de simulación que empleará el usuario final.



## Desarrollo del simulador

---

Los objetivos de realizar este apartado son dos, el primero de ellos permitir que el usuario que desee profundizar en el programa sea capaz de entender mejor el funcionamiento del mismo, y en segundo lugar permitir que en caso de que suceda cualquier desavenencia pueda volver a ser programado o reparado.

# Capítulo 5. Optimización de un proceso con la herramienta desarrollada

A continuación, se va a realizar un ejemplo de simulación con unos parámetros dados, que nos sirvan como ejemplo y como muestra de solo una de las múltiples utilidades que nos ofrece la herramienta, así como la propuesta del desarrollador de este TFM y programador, de como interpretar los resultados de la simulación.

## 5.1. Simulación uno. (Doce bases)

### 5.1.1. Parámetros de la simulación uno.

En la tabla de parametrización de tiempos, se han establecido las siguientes distribuciones de tiempos para los procesos:

Montaje de sección	Probabilidad	65,0%	10,0%	10,0%	5,0%	5,0%	2,5%	2,5%				
	Tiempo	4,5	5,5	2	3	4	5	3,5				
Montaje de inserto	Probabilidad	68,0%	12,0%	10,0%	5,0%	5,0%						
	Tiempo	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5						
Check calidad	Probabilidad	70,0%	10,0%	7,0%	5,0%	4,0%	3,0%	1,0%				
	Tiempo	2	2,5	1,5	3	1,25	1,5	3,75				
Retoque	Probabilidad	90,0%	5,0%	3,5%	1,0%	0,5%						
	Tiempo	0	3	6	14	20						
Transmisión mont	Probabilidad	80,0%	17,0%	3,0%								
	Tiempo	0,7	7,7	18								
Desmontaje de sección	Probabilidad	35,0%	10,0%	10,0%	7,0%	7,0%	7,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	4,0%
	Tiempo	4	4,5	3,5	5,5	6	2,5	6,5	7	2	7,5	2
Desmontaje de inserto	Probabilidad	40,0%	10,0%	10,0%	8,0%	8,0%	7,0%	7,0%	6,0%	2,0%	1,0%	1,0%
	Tiempo	7	8	6	8,5	5,5	9	5	10,5	11	11,5	4
Transmisión	Probabilidad	80,0%	17,0%	3,0%								
	Tiempo	0,7	7,7	18								
Lavadora	Probabilidad	75,0%	10,0%	10,0%	2,5%	2,5%						
	Tiempo	25	27	23	30	20						

Ilustración 58. Parametrización de tiempos en la simulación uno.

Se realizará la simulación uno partiendo de una dotación de 12 bases, ya que es el número de bases que se necesitarían para no parar la cadena en ningún momento si estuvieran los puestos 100% equilibrados y sin desviaciones en el tiempo de operarios (por ejemplo, si fueran autómatas y no operarios).

De esta forma se han introducido los siguientes parámetros en el simulador:

DOTACIÓN BASES	12
PRECIO COMPRA BASE (TEI)	3,00 €
PRECIO COMPRA ANILLO (TEI)	1,50 €
PRECIO MEDIO VENTA SOLECTRON	45,00 €
COSTE OPERARIO/AÑO	40.000 €
COSTE M2 /AÑO ALQ. NAVE	65 €
INTERES (COSTE OP)	12%
TIEMPO MEDIO DE USO (CLIENTE)	15



## Optimización de un proceso con la herramienta desarrollada

### Ilustración 59. Parámetros simulación uno.

Respecto al equilibrado de cadenas, los puestos de las líneas de montaje y reciclaje realizarán las siguientes operaciones:

PUESTO	Nº OP	CÓDIGO PUESTO	TIPO OPERACIÓN		TIEMPO TEORICO		
M01	1	M01-01	Montaje de sección	1A	4,5	33	OK
	2	M01-02	Montaje de sección	1B	4,5		OK
	3	M01-03	Montaje de sección	2A	4,5		OK
	4	M01-04	Montaje de sección	2B	4,5		OK
	5	M01-05	Montaje de inserto	11	7,5		OK
	6	M01-06	Montaje de inserto	12	7,5		OK
	7	M01-07			0		
	8	M01-08			0		
M02	1	M01-01	Montaje de sección	1C	4,5	33	OK
	2	M01-02	Montaje de sección	1D	4,5		OK
	3	M01-03	Montaje de sección	2C	4,5		OK
	4	M01-04	Montaje de sección	2D	4,5		OK
	5	M01-05	Montaje de inserto	13	7,5		OK
	6	M01-06	Montaje de inserto	14	7,5		OK
	7	M01-07			0		
	8	M01-08			0		
M03	1	M01-01	Montaje de sección	3A	4,5	33	OK
	2	M01-02	Montaje de sección	3B	4,5		OK
	3	M01-03	Montaje de sección	4A	4,5		OK
	4	M01-04	Montaje de sección	4B	4,5		OK
	5	M01-05	Montaje de inserto	15	7,5		OK
	6	M01-06	Montaje de inserto	16	7,5		OK
	7	M01-07			0		
	8	M01-08			0		
M04	1	M01-01	Montaje de sección	3C	4,5	33	OK
	2	M01-02	Montaje de sección	3D	4,5		OK
	3	M01-03	Montaje de sección	4C	4,5		OK
	4	M01-04	Montaje de sección	4D	4,5		OK
	5	M01-05	Montaje de inserto	17	7,5		OK
	6	M01-06	Montaje de inserto	18	7,5		OK
	7	M01-07			0		
	8	M01-08			0		
R01	1	M01-01	Desmontaje de inserto	15	7	36	OK
	2	M01-02	Desmontaje de inserto	16	7		OK
	3	M01-03	Desmontaje de inserto	17	7		OK
	4	M01-04	Desmontaje de inserto	18	7		OK
	5	M01-05	Desmontaje de sección	4A	4		OK
	6	M01-06	Desmontaje de sección	4B	4		OK
	7	M01-07			0		
	8	M01-08			0		
R02	1	M01-01	Desmontaje de sección	4C	4	35	OK
	2	M01-02	Desmontaje de sección	4D	4		OK
	3	M01-03	Desmontaje de sección	3A	4		OK
	4	M01-04	Desmontaje de sección	3B	4		OK
	5	M01-05	Desmontaje de sección	3C	4		OK
	6	M01-06	Desmontaje de sección	3D	4		OK
	7	M01-07	Desmontaje de sección	2A	4		OK
	8	M01-08	Desmontaje de inserto	11	7		OK
R03	1	M01-01	Desmontaje de inserto	12	7	34	OK
	2	M01-02	Desmontaje de inserto	13	7		OK
	3	M01-03	Desmontaje de sección	2B	4		OK
	4	M01-04	Desmontaje de sección	2C	4		OK
	5	M01-05	Desmontaje de sección	1A	4		OK
	6	M01-06	Desmontaje de sección	1B	4		OK
	7	M01-07	Desmontaje de sección	1C	4		OK
	8	M01-08			0		
R04	1	M01-01	Desmontaje de sección	2D	4	40	OK
	2	M01-02	Desmontaje de inserto	14	7		OK
	3	M01-03	Desmontaje de sección	1D	4		OK
	4	M01-04			0		
	5	M01-05			0		
	6	M01-06			0		
	7	M01-07			0		
	8	M01-08	Lavadora	LV	25		OK

### Ilustración 60. Equilibrado de cadenas en la simulación uno.

A continuación se procederá a realizar la simulación, para ello se debe fijar antes el número de simulaciones a realizar, cuanto más grande sea el número de simulaciones obtendremos un resultado más representativo, pero también el tiempo de procesado de las simulaciones será mayor. En este caso el autor del trabajo considera que realizar cincuenta simulaciones de una producción de cien solectrones es suficientemente representativo.

## 5.1.2. Resultados de la simulación.

A continuación, se presiona el botón “Arrancar simulación”, el sistema ha tardado seis segundos en mostrarnos los resultados de las 50 simulaciones.

## Desarrollo de un simulador de la producción programado en Excel

SIMULACION	ID	DATOS PRODUCCIÓN				DATOS ECONOMICOS		RUPTURAS STOCK	
		LEAD TIME	TIEMPO DE PRODUCCIÓN	ROTURAS STOCK	STOCK PROMEDIO	BENEFICIO	IR	TIEMPO PERDIDO	COSTE
	1	340,0	3294,7	19	2,5	2.653,54 €	445,2%	224,3	84,96 €
	2	331,1	3227,5	22	2,7	2.679,03 €	449,5%	228,2	86,44 €
	3	343,0	3324,8	27	2,9	2.642,08 €	443,3%	240,7	91,17 €
	4	327,8	3185,5	21	2,7	2.694,97 €	452,2%	237,0	89,77 €
	5	338,9	3279,5	24	2,8	2.659,28 €	446,2%	202,3	76,63 €
	6	338,0	3242,2	25	2,7	2.673,45 €	448,6%	232,0	87,88 €
	7	317,3	3251,0	9	2,4	2.670,14 €	448,0%	124,4	47,12 €
	8	317,0	3154,1	12	2,3	2.706,92 €	454,2%	113,3	42,92 €
	9	341,1	3333,4	23	2,8	2.638,83 €	442,8%	230,1	87,16 €
	10	329,7	3255,7	10	2,1	2.668,38 €	447,7%	102,7	38,90 €
	11	332,7	3215,5	13	2,1	2.683,64 €	450,3%	120,5	45,64 €
	12	340,7	3361,8	22	2,9	2.628,04 €	440,9%	225,5	85,42 €
	13	318,5	3269,9	11	2,6	2.662,95 €	446,8%	116,0	43,94 €
	14	320,1	3205,0	15	2,5	2.687,59 €	450,9%	143,2	54,24 €
	15	333,5	3226,5	15	2,3	2.679,44 €	449,6%	172,1	65,19 €
	16	337,0	3291,1	16	2,3	2.654,92 €	445,5%	153,6	58,18 €
	17	329,1	3185,2	13	2,1	2.695,13 €	452,2%	112,3	42,54 €
	18	330,8	3237,7	14	2,3	2.675,20 €	448,9%	197,0	74,62 €
	19	326,7	3234,0	17	2,6	2.676,57 €	449,1%	171,5	64,96 €
	20	338,2	3301,3	28	3,1	2.650,98 €	444,8%	260,7	98,75 €
	21	337,3	3307,1	24	2,8	2.648,81 €	444,4%	244,8	92,73 €
	22	344,3	3336,6	23	2,7	2.637,62 €	442,6%	284,0	107,58 €
	23	331,2	3237,0	16	2,4	2.675,45 €	448,9%	169,7	64,28 €
	24	326,8	3271,7	19	2,9	2.662,23 €	446,7%	228,0	86,36 €
	25	334,4	3241,7	21	2,6	2.673,65 €	448,6%	202,4	76,67 €
	26	350,8	3332,8	29	3,0	2.639,03 €	442,8%	319,1	120,87 €
	27	350,9	3375,9	28	2,9	2.622,69 €	440,0%	317,1	120,11 €
	28	326,8	3230,3	11	2,2	2.678,01 €	449,3%	171,6	65,00 €
	29	330,4	3191,6	17	2,4	2.692,68 €	451,8%	215,6	81,67 €
	30	320,2	3235,5	9	2,1	2.676,04 €	449,0%	55,8	21,14 €
	31	329,8	3197,3	19	2,5	2.690,51 €	451,4%	194,1	73,52 €
	32	342,4	3307,4	23	2,6	2.648,71 €	444,4%	251,3	95,19 €
	33	330,4	3209,2	19	2,5	2.685,99 €	450,7%	167,4	63,41 €
	34	331,0	3187,8	18	2,5	2.694,11 €	452,0%	236,6	89,62 €
	35	342,6	3262,7	21	2,6	2.665,68 €	447,3%	227,9	86,33 €
	36	324,7	3149,1	21	2,6	2.708,79 €	454,5%	199,5	75,57 €
	37	333,7	3210,8	20	2,5	2.685,38 €	450,6%	198,6	75,23 €
	38	332,5	3240,2	19	2,6	2.674,22 €	448,7%	165,7	62,77 €
	39	327,9	3236,7	8	1,9	2.675,61 €	448,9%	107,3	40,64 €
	40	344,8	3303,6	28	3,0	2.650,12 €	444,7%	300,9	113,98 €
	41	335,6	3278,9	19	2,6	2.659,53 €	446,2%	266,1	100,80 €
	42	339,5	3285,9	20	2,6	2.656,87 €	445,8%	198,6	75,23 €
	43	333,9	3253,0	16	2,4	2.669,38 €	447,9%	174,6	66,14 €
	44	340,2	3270,7	28	2,9	2.662,61 €	446,7%	312,5	118,37 €
	45	319,9	3158,0	16	2,5	2.705,42 €	453,9%	185,9	70,42 €
	46	316,3	3123,0	15	2,6	2.718,70 €	456,2%	144,2	54,62 €
	47	343,2	3263,0	26	2,7	2.665,55 €	447,2%	220,2	83,41 €
	48	340,3	3320,7	27	3,0	2.643,63 €	443,6%	334,6	126,74 €
	49	323,7	3214,4	7	2,1	2.684,05 €	450,3%	52,7	19,96 €
	50	322,5	3127,5	21	2,6	2.716,99 €	455,9%	195,1	73,90 €
FIN	51								

Ilustración 61. Resultados simulación uno.

	DATOS PRODUCCIÓN				DATOS ECONOMICOS		RUPTURAS STOCK		INGRESOS	INVERSIÓN	COSTE SOLECTRON EXTRA
	LEAD TIME	TIEMPO DE PRODUCCIÓN	ROTURAS STOCK	STOCK PROMEDIO	BENEFICIO	IR	TIEMPO PERDIDO	COSTE			
MIN	316,3	3123,0	7	1,9	2.622,69 €	440,0%	52,7	19,96 €	4.500 €		
PROMEDIO	332,8	3248,7	18,88	2,6	2.670,98 €	448,2%	199,0	75,37 €	596 €		
MAX	350,9	3375,9	29	3,1	2.718,70 €	456,2%	334,6	126,74 €	180 €		

Ilustración 62. Indicadores simulación uno.

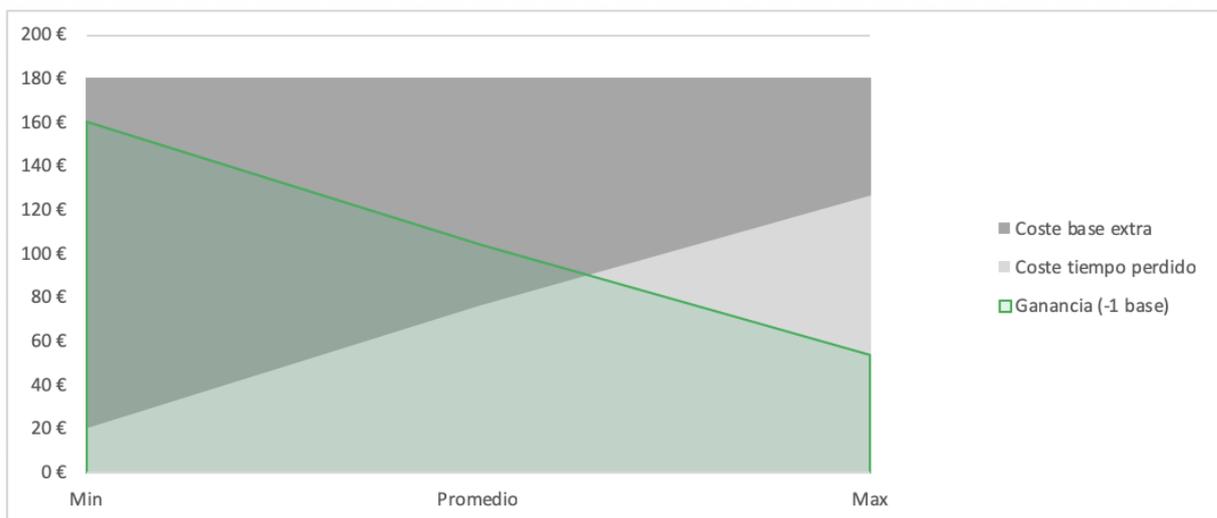
La recomendación del autor es llevarse estos datos a otra tabla Excel para comparar posteriormente los datos de todas las simulaciones y realizar un análisis en profundidad. De la misma forma, esto será de utilidad para crear gráficas y mostrarlo de manera visual.



## Optimización de un proceso con la herramienta desarrollada

Se observa de los resultados que las roturas de stock se encuentran entre 7 y 29, con un promedio de 18,9. Como ya se ha introducido anteriormente, en caso de ser una línea de producción en la cual los operarios no cometieran desviaciones en los tiempos de operación y que los tiempos de las operaciones de los puestos se encontrasen totalmente equilibrados, el flujo sería totalmente tenso y no habría paradas. Como no es este nuestro caso, que a parte de no encontrarse equilibrados los puestos, los operarios no tardan siempre el mismo tiempo para una misma operación, esto nos genera que ese flujo tenso se rompa ocasionalmente.

No obstante, en el caso que estamos estudiando con los costes parametrizados, el coste de parar la línea se puede observar que no resulta excesivo. Como se puede ver en la ilustración 62, se pararía la línea entre 7 y 29 veces, lo que significaría perder entre 52 y 334 minutos con un coste asociado de entre 19,96 € y 126,74 €. La inversión necesaria para adquirir un solectrón en este caso es de 180 €.



**Ilustración 63. Ganancias reducción de una base extra. Simulación uno-dos.**

Para poder realizar una comparación entre dos simulaciones y obtener conclusiones fiables, se debe realizar en iso-condiciones, a excepción de una de las variables que será objeto de estudio. De esta manera se puede observar como varían los resultados de un sistema, con la alteración de uno de los parámetros.

De esta manera, de forma muy visual, el análisis lleva a realizar una simulación reduciendo la inversión y comprando a principio de proyecto una base menos. ¿Se conseguirá mejorar la rentabilidad del proyecto de esta forma?

## 5.2. Simulación dos. (Once bases)

SIMULACIONE	ID	DATOS PRODUCCIÓN				DATOS ECONOMICOS		RUPTURAS STOCK	
		LEAD TIME	TIEMPO DE PRODUCCIÓN	ROTURAS STOCK	STOCK PROMEDIO	BENEFICIO	IR	TIEMPO PERDIDO	COSTE
	1	317,4	3296,2	29	2,7	2.668,01 €	459,2%	311,5	117,99 €
	2	321,1	3322,5	32	2,8	2.658,02 €	457,5%	344,0	130,30 €
	3	311,1	3257,9	23	2,4	2.682,58 €	461,7%	262,5	99,43 €
	4	307,3	3238,8	18	2,2	2.689,84 €	463,0%	219,8	83,26 €
	5	286,7	3176,6	14	2,5	2.713,42 €	467,0%	185,4	70,23 €
	6	317,0	3329,6	22	2,4	2.655,36 €	457,0%	242,4	91,82 €
	7	313,2	3271,1	29	2,6	2.677,54 €	460,9%	280,1	106,10 €
	8	310,9	3264,8	24	2,4	2.679,95 €	461,3%	236,6	89,62 €
	9	303,5	3193,0	20	2,2	2.707,22 €	466,0%	135,3	51,25 €
	10	315,9	3284,5	28	2,7	2.672,45 €	460,0%	260,0	98,48 €
	11	313,7	3219,8	29	2,6	2.697,01 €	464,2%	229,6	86,97 €
	12	314,2	3273,9	30	2,7	2.676,47 €	460,7%	302,6	114,62 €
	13	302,0	3230,5	15	2,1	2.693,00 €	463,5%	113,0	42,80 €
	14	313,7	3260,2	29	2,7	2.681,67 €	461,6%	322,7	122,23 €
	15	316,7	3315,6	26	2,5	2.660,66 €	457,9%	322,3	122,08 €
	16	305,6	3220,0	14	2,1	2.696,99 €	464,2%	145,7	55,19 €
	17	308,0	3266,5	15	2,1	2.679,33 €	461,2%	164,5	62,31 €
	18	319,0	3311,0	27	2,6	2.662,40 €	458,2%	376,9	142,77 €
	19	315,3	3288,7	26	2,5	2.670,88 €	459,7%	256,1	97,01 €
	20	317,5	3289,5	27	2,8	2.670,55 €	459,6%	264,6	100,23 €
	21	314,0	3248,9	32	2,8	2.685,95 €	462,3%	292,4	110,76 €
	22	320,6	3306,6	32	2,8	2.664,05 €	458,5%	334,8	126,82 €
	23	325,5	3331,6	35	3,0	2.654,55 €	456,9%	400,7	151,78 €
	24	289,3	3176,6	5	1,9	2.713,48 €	467,0%	43,0	16,29 €
	25	312,3	3322,7	23	2,7	2.657,95 €	457,5%	274,7	104,05 €
	26	312,1	3272,8	21	2,5	2.676,91 €	460,7%	236,1	89,43 €
	27	321,8	3282,6	40	3,3	2.673,11 €	460,1%	435,6	165,00 €
	28	306,0	3245,2	15	2,1	2.687,42 €	462,6%	163,6	61,97 €
	29	311,1	3249,1	25	2,5	2.685,90 €	462,3%	297,8	112,80 €
	30	311,7	3231,1	16	2,0	2.692,78 €	463,5%	209,6	79,39 €
	31	304,7	3190,3	21	2,3	2.708,24 €	466,1%	215,0	81,44 €
	32	295,2	3185,6	7	1,9	2.710,06 €	466,4%	75,3	28,52 €
	33	305,4	3269,6	14	2,1	2.678,16 €	461,0%	149,9	56,78 €
	34	307,3	3241,5	20	2,3	2.688,80 €	462,8%	255,1	96,63 €
	35	320,6	3367,0	23	2,5	2.641,16 €	454,6%	254,8	96,52 €
	36	310,5	3290,4	19	2,4	2.670,24 €	459,6%	236,5	89,58 €
	37	297,2	3153,9	14	2,1	2.722,07 €	468,5%	157,7	59,73 €
	38	307,3	3208,4	27	2,7	2.701,33 €	464,9%	209,4	79,32 €
	39	309,8	3237,2	20	2,2	2.690,45 €	463,1%	178,7	67,69 €
	40	314,2	3213,6	25	2,5	2.699,37 €	464,6%	235,2	89,09 €
	41	310,1	3240,3	28	2,7	2.689,23 €	462,9%	294,5	111,55 €
	42	322,4	3368,7	27	2,8	2.640,49 €	454,5%	314,3	119,05 €
	43	321,3	3279,7	29	2,7	2.674,28 €	460,3%	292,6	110,83 €
	44	320,5	3292,2	31	2,7	2.669,53 €	459,5%	268,0	101,52 €
	45	305,6	3207,8	19	2,2	2.701,61 €	465,0%	254,8	96,52 €
	46	318,5	3323,0	25	2,7	2.657,84 €	457,5%	281,8	106,74 €
	47	324,2	3373,5	32	2,9	2.638,66 €	454,2%	356,6	135,08 €
	48	301,7	3196,2	19	2,4	2.705,99 €	465,7%	185,2	70,15 €
	49	322,0	3325,7	33	2,9	2.656,80 €	457,3%	327,8	124,17 €
	50	300,5	3176,1	22	2,5	2.713,61 €	467,1%	233,8	88,56 €
FIN	51								

Ilustración 64. Resultados simulación dos.

	DATOS PRODUCCIÓN - 12 bases				DATOS ECONOMICOS		RUPTURAS STOCK		INGRESOS	INVERSIÓN	COSTE SOLECTRON EXTRA
	LEAD TIME	TIEMPO DE PRODUCCIÓN	ROTURAS STOCK	STOCK PROMEDIO	BENEFICIO	IR	TIEMPO PERDIDO	COSTE			
MIN	286,7	3153,9	5	1,9	2.638,66 €	454,2%	43,0	16,29 €	4.500 €	596 €	180 €
PROMEDIO	311,5	3262,4	23,52	2,5	2.680,87 €	461,4%	248,8	94,25 €			
MAX	325,5	3373,5	40	3,3	2.722,07 €	468,5%	435,6	165,00 €			

Ilustración 65. Indicadores simulación dos.

Tras obtener los resultados de las simulaciones, se puede observar como se confirma el análisis que realizamos en la simulación primera; al reducir el número de bases, y a pesar de haber aumentado el tiempo perdido por roturas de stock, el hecho

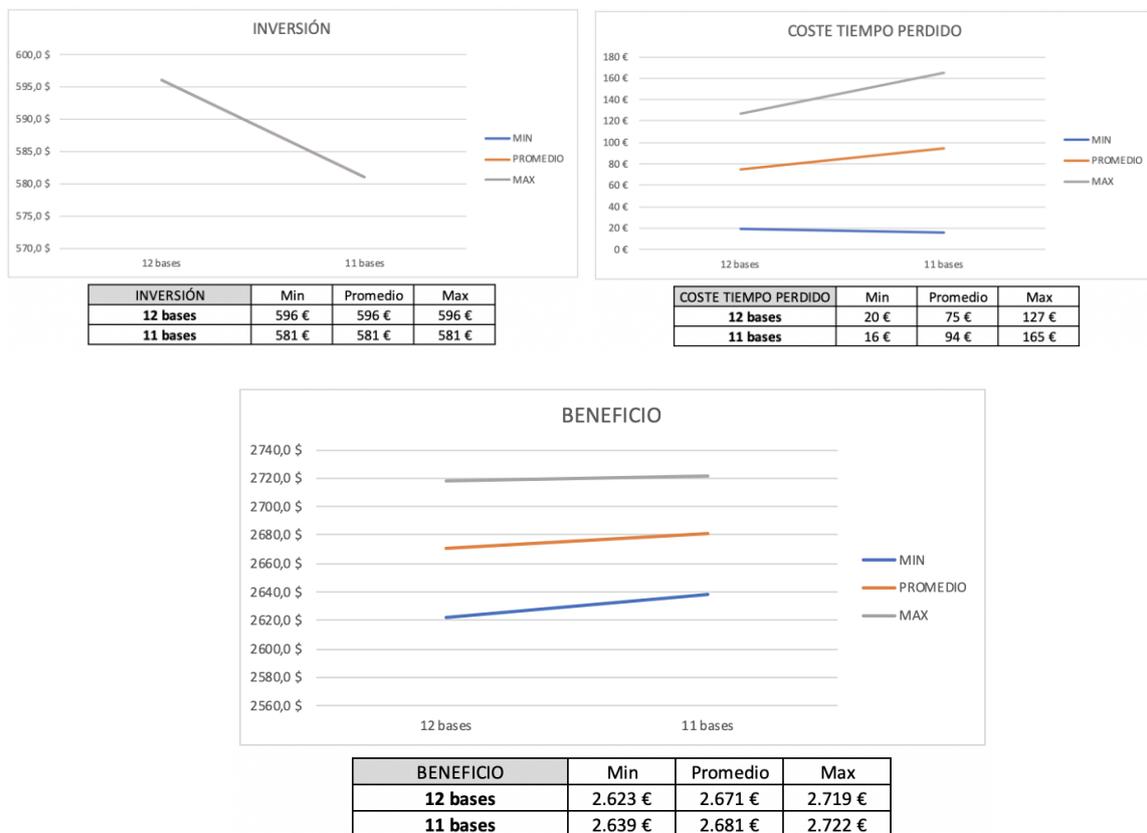


## Optimización de un proceso con la herramienta desarrollada

de haber reducido la inversión inicial ha conducido a aumentar el beneficio global del proyecto.

PROMEDIO	Bases	Inversión	Tiempo perdido	Coste tiempo perdido	Beneficio
<b>Simulación 1</b>	12	596 €	199,0	75,37 €	2.670,98 €
<b>Simulación 2</b>	11	581 €	248,8	94,25 €	2.680,87 €

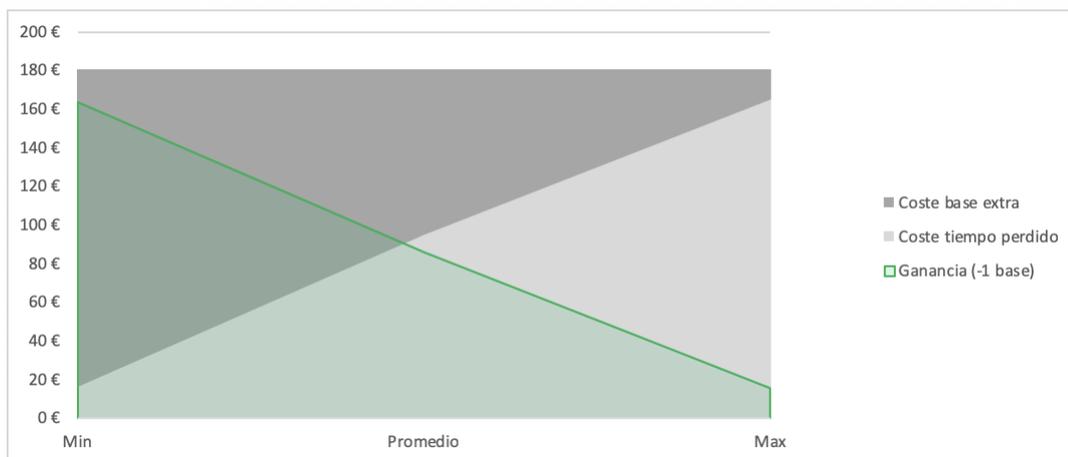
**Ilustración 66. Comparativa de resultados promedios entre simulación uno y dos.**



**Ilustración 67. Gráficos comparativos simulación uno y dos.**

Tras realizar estos gráficos se puede apreciar perfectamente el aumento de eficiencia entre la simulación uno y dos. Esto conduce directamente a plantearse si con once bases se está siendo óptimos o por el contrario se pueden obtener aún mejores resultados.

A continuación, se realizará el mismo análisis que en la simulación uno, con once solectrones se para entre 5 y 40 veces por rotura de stock en S0, lo cual traducido a coste para el proyecto se transforma entre 16,29 € y 165 €. De la misma forma que sucedía en la simulación uno, sigue siendo menos costoso para el proyecto el peor de los escenarios en cuanto a costes de parada que adquirir una base suplementaria.



**Ilustración 68. Ganancias reducción de una base extra. Simulación dos-tres.**

Visto el análisis realizado, procedemos a realizar la simulación con una base menos (diez).



Optimización de un proceso con la herramienta desarrollada

### 5.3. Simulación tres. (Diez bases)

SIMULACIONE	ID	DATOS PRODUCCIÓN				DATOS ECONOMICOS		RUPTURAS STOCK	
		LEAD TIME	TIEMPO DE PRODUCCIÓN	ROTURAS STOCK	STOCK PROMEDIO	BENEFICIO	IR	TIEMPO PERDIDO	COSTE
	1	288,8	3276,8	28	2,4	2.690,46 €	475,3%	287,1	108,75 €
	2	295,5	3349,8	25	2,2	2.662,77 €	470,5%	264,0	100,00 €
	3	282,4	3270,9	17	2,0	2.692,73 €	475,7%	167,1	63,30 €
	4	281,8	3225,9	19	2,1	2.709,81 €	478,8%	202,0	76,52 €
	5	289,5	3277,1	32	2,7	2.690,32 €	475,3%	329,7	124,89 €
	6	282,1	3235,0	22	2,3	2.706,33 €	478,2%	332,8	126,06 €
	7	287,0	3264,8	29	2,5	2.695,00 €	476,1%	292,1	110,64 €
	8	288,6	3330,8	30	2,6	2.669,94 €	471,7%	320,9	121,55 €
	9	284,6	3233,2	21	2,1	2.707,03 €	478,3%	260,4	98,64 €
	10	291,8	3304,1	23	2,2	2.680,11 €	473,5%	257,0	97,35 €
	11	283,9	3220,9	32	2,6	2.711,65 €	479,1%	303,6	115,00 €
	12	293,3	3304,5	31	2,6	2.679,93 €	473,5%	387,6	146,82 €
	13	289,3	3272,5	32	2,6	2.692,07 €	475,6%	342,5	129,73 €
	14	285,0	3240,3	23	2,2	2.704,32 €	477,8%	210,7	79,81 €
	15	295,9	3288,1	44	3,0	2.686,11 €	474,6%	469,4	177,80 €
	16	281,8	3237,7	23	2,3	2.705,30 €	478,0%	280,5	106,25 €
	17	291,3	3239,2	39	2,8	2.704,69 €	477,9%	315,4	119,47 €
	18	264,9	3168,8	10	2,0	2.731,48 €	482,6%	111,6	42,27 €
	19	283,5	3228,7	27	2,4	2.708,72 €	478,6%	299,4	113,41 €
	20	277,6	3177,9	14	1,9	2.728,03 €	482,0%	149,1	56,48 €
	21	297,5	3339,5	33	2,5	2.666,65 €	471,1%	426,5	161,55 €
	22	283,2	3216,7	29	2,4	2.713,26 €	479,4%	316,0	119,70 €
	23	291,6	3274,4	39	2,9	2.691,32 €	475,5%	393,6	149,09 €
	24	290,2	3269,3	32	2,6	2.693,28 €	475,8%	373,0	141,29 €
	25	289,5	3278,5	33	2,6	2.689,80 €	475,2%	276,6	104,77 €
	26	289,8	3273,1	33	2,7	2.691,84 €	475,6%	377,4	142,95 €
	27	282,5	3187,7	27	2,3	2.724,28 €	481,3%	286,8	108,64 €
	28	279,8	3212,4	20	2,1	2.714,93 €	479,7%	197,1	74,66 €
	29	286,2	3274,8	23	2,3	2.691,23 €	475,5%	277,2	105,00 €
	30	289,0	3303,0	22	2,2	2.680,53 €	473,6%	258,2	97,80 €
	31	299,6	3324,4	36	2,6	2.672,37 €	472,2%	410,4	155,45 €
	32	291,7	3294,5	42	3,1	2.683,68 €	474,1%	379,9	143,90 €
	33	285,6	3275,7	25	2,5	2.690,87 €	475,4%	300,4	113,79 €
	34	287,0	3282,8	27	2,4	2.688,18 €	474,9%	261,9	99,20 €
	35	271,5	3216,1	16	2,1	2.713,52 €	479,4%	155,2	58,79 €
	36	285,4	3245,3	23	2,2	2.702,43 €	477,5%	300,2	113,71 €
	37	280,6	3247,8	16	2,1	2.701,49 €	477,3%	201,8	76,44 €
	38	294,0	3312,1	35	2,6	2.677,04 €	473,0%	367,3	139,13 €
	39	281,6	3226,9	29	2,5	2.709,39 €	478,7%	285,9	108,30 €
	40	286,0	3291,0	26	2,5	2.685,06 €	474,4%	274,5	103,98 €
	41	284,4	3258,3	24	2,3	2.697,48 €	476,6%	272,2	103,11 €
	42	286,9	3325,6	18	2,1	2.671,96 €	472,1%	253,2	95,91 €
	43	280,1	3212,5	24	2,4	2.714,86 €	479,7%	154,4	58,48 €
	44	293,0	3299,3	30	2,5	2.681,91 €	473,8%	287,1	108,75 €
	45	289,0	3271,7	24	2,3	2.692,40 €	475,7%	329,0	124,62 €
	46	279,5	3226,3	22	2,3	2.709,63 €	478,7%	260,8	98,79 €
	47	282,8	3240,8	32	2,8	2.704,09 €	477,8%	409,7	155,19 €
	48	279,0	3174,2	22	2,1	2.729,42 €	482,2%	223,4	84,62 €
	49	266,6	3172,0	14	2,1	2.730,25 €	482,4%	173,4	65,68 €
	50	291,8	3273,1	31	2,5	2.691,86 €	475,6%	377,7	143,07 €
FIN	51								

Ilustración 69. Resultados simulación tres.

	DATOS PRODUCCIÓN - 12 bases				DATOS ECONOMICOS		RUPTURAS STOCK		INGRESOS	INVERSIÓN	COSTE SOLECTRON EXTRA
	LEAD TIME	TIEMPO DE PRODUCCIÓN	ROTURAS STOCK	STOCK PROMEDIO	BENEFICIO	IR	TIEMPO PERDIDO	COSTE			
MIN	264,9	3168,8	10	1,9	2.662,77 €	470,5%	111,6	42,27 €	4.500 €		
PROMEDIO	285,9	3258,9	26,56	2,4	2.697,24 €	476,5%	288,9	109,42 €	581 €		
MAX	299,6	3349,8	44	3,1	2.731,48 €	482,6%	469,4	177,80 €	180 €		

Ilustración 70. Indicadores simulación tres.

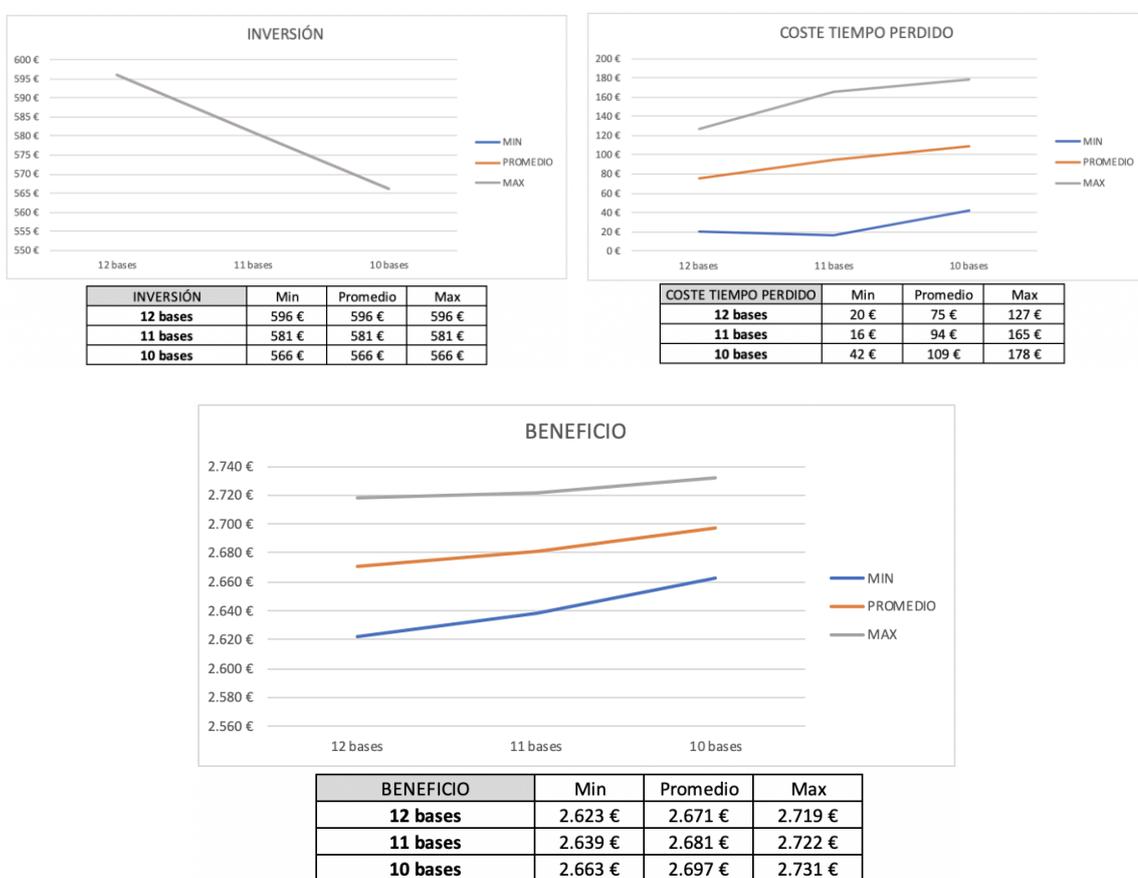
## Desarrollo de un simulador de la producción programado en Excel

PROMEDIO	Bases	Inversión	Tiempo perdido	Coste tiempo perdido	Beneficio
<b>Simulación 1</b>	12	596 €	199,0	75,37 €	2.670,98 €
<b>Simulación 2</b>	11	566 €	248,8	94,25 €	2.680,87 €
<b>Simulación 3</b>	10	566 €	288,9	109,42 €	2.697,24 €

**Ilustración 71. Evolución de resultados (Sim. 1 - Sim. 3)**

En esta tercera simulación se vuelve a verificar el aumento de beneficio medio del proyecto, en todas sus simulaciones, tanto las más favorables como las menos favorables.

A continuación, se puede observar la evolución de los indicadores a través de las diferentes simulaciones:

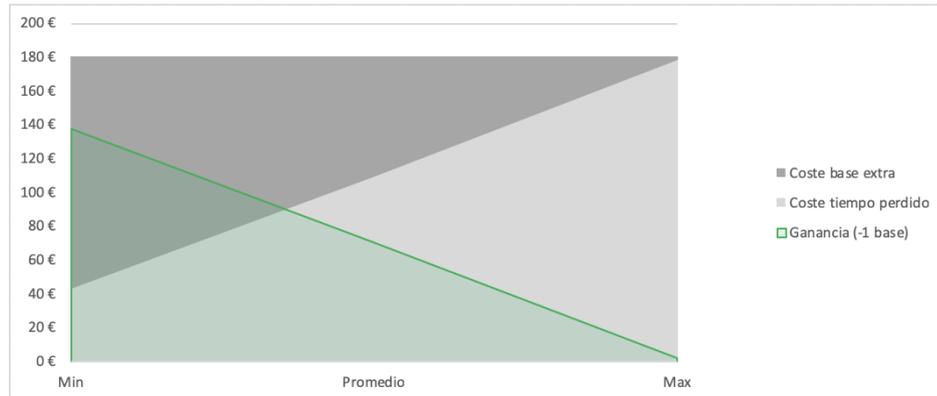


**Ilustración 72. Evolución de los indicadores. (Sim.1 - Sim 3.)**

Como en anteriores ocasiones se analiza a continuación la comparación entre el coste de un solectrón con el coste que supone el tiempo perdido.



## Optimización de un proceso con la herramienta desarrollada



**Ilustración 73. Ganancias reducción de una base extra. Simulación tres-cuatro.**

Como se puede ver en la ilustración superior, la inversión en una base (180 €) sigue siendo superior a los costes debidos a la pérdida de tiempo debido a falta de stock. Sin embargo en aquellas simulaciones con mayor despilfarro de tiempo se va aproximando al coste de invertir en una base más. Procedemos a simular con nueve bases.

## 5.4. Simulación cuatro. (Nueve bases)

SIMULACIONE	ID	DATOS PRODUCCIÓN				DATOS ECONOMICOS		RUPTURAS STOCK	
		LEAD TIME	TIEMPO DE PRODUCCIÓN	ROTURAS STOCK	STOCK PROMEDIO	BENEFICIO	IR	TIEMPO PERDIDO	COSTE
	1	270,1	3350,9	34	2,4	2.677,39 €	485,9%	392,3	148,60 €
	2	269,6	3307,5	42	2,7	2.693,84 €	488,9%	525,7	199,13 €
	3	272,3	3356,1	38	2,5	2.675,41 €	485,6%	547,2	207,27 €
	4	240,9	3211,9	12	1,9	2.730,18 €	495,5%	161,2	61,06 €
	5	262,4	3313,0	30	2,4	2.691,78 €	488,5%	384,5	145,64 €
	6	244,8	3240,5	21	2,3	2.719,30 €	493,5%	269,9	102,23 €
	7	246,8	3206,7	19	2,2	2.732,13 €	495,9%	310,3	117,54 €
	8	261,6	3259,6	31	2,3	2.712,05 €	492,2%	336,4	127,42 €
	9	265,6	3293,7	34	2,3	2.699,11 €	489,9%	362,4	137,27 €
	10	252,7	3320,5	25	2,4	2.688,93 €	488,0%	292,6	110,83 €
	11	253,1	3269,0	19	1,9	2.708,52 €	491,6%	231,2	87,58 €
	12	226,3	3243,7	8	2,3	2.718,09 €	493,3%	127,3	48,22 €
	13	276,3	3394,2	35	2,4	2.660,96 €	482,9%	388,3	147,08 €
	14	254,4	3214,9	21	2,0	2.729,04 €	495,3%	272,8	103,33 €
	15	256,2	3278,8	18	2,0	2.704,79 €	490,9%	260,0	98,48 €
	16	283,0	3434,1	56	3,2	2.645,74 €	480,2%	716,2	271,29 €
	17	264,7	3295,0	28	2,2	2.698,63 €	489,8%	317,0	120,08 €
	18	274,3	3408,8	31	2,3	2.655,43 €	481,9%	448,3	169,81 €
	19	258,1	3320,3	21	2,1	2.689,04 €	488,0%	189,1	71,63 €
	20	249,4	3244,2	23	2,2	2.717,90 €	493,3%	315,6	119,55 €
	21	264,2	3322,2	30	2,4	2.688,28 €	487,9%	419,6	158,94 €
	22	261,0	3276,6	24	2,0	2.705,62 €	491,0%	282,9	107,16 €
	23	263,5	3291,4	28	2,3	2.699,99 €	490,0%	326,2	123,56 €
	24	271,1	3332,7	34	2,4	2.684,30 €	487,2%	460,6	174,47 €
	25	263,0	3249,0	35	2,4	2.716,06 €	492,9%	377,1	142,84 €
	26	267,6	3273,9	37	2,5	2.706,61 €	491,2%	343,6	130,15 €
	27	267,2	3307,1	29	2,1	2.694,04 €	488,9%	306,0	115,91 €
	28	263,4	3286,1	26	2,1	2.702,02 €	490,4%	389,6	147,58 €
	29	263,0	3266,4	24	2,0	2.709,50 €	491,7%	345,9	131,02 €
	30	248,3	3164,5	24	2,2	2.748,15 €	498,8%	154,0	58,33 €
	31	264,8	3290,5	34	2,4	2.700,31 €	490,1%	344,0	130,30 €
	32	261,9	3343,9	25	2,2	2.680,07 €	486,4%	329,2	124,70 €
	33	256,5	3248,8	30	2,4	2.716,14 €	492,9%	323,7	122,61 €
	34	264,4	3302,3	26	2,1	2.695,86 €	489,3%	374,7	141,93 €
	35	259,2	3260,1	17	1,9	2.711,90 €	492,2%	223,7	84,73 €
	36	278,1	3428,5	31	2,2	2.647,96 €	480,6%	492,0	186,36 €
	37	218,9	3255,1	8	2,6	2.713,73 €	492,5%	202,0	76,52 €
	38	226,5	3203,7	10	2,4	2.733,25 €	496,1%	142,9	54,13 €
	39	265,6	3362,9	25	2,2	2.672,86 €	485,1%	340,4	128,94 €
	40	253,5	3222,8	28	2,4	2.726,01 €	494,7%	340,0	128,79 €
	41	274,8	3350,4	42	2,7	2.677,55 €	485,9%	479,2	181,52 €
	42	255,8	3276,1	17	1,9	2.705,83 €	491,1%	338,7	128,30 €
	43	272,3	3358,4	27	2,1	2.674,58 €	485,4%	381,0	144,32 €
	44	250,1	3163,8	23	2,1	2.748,42 €	498,8%	254,6	96,44 €
	45	261,0	3260,4	25	2,1	2.711,77 €	492,2%	277,9	105,27 €
	46	256,1	3243,4	31	2,4	2.718,19 €	493,3%	373,0	141,29 €
	47	263,5	3257,6	31	2,4	2.712,80 €	492,3%	367,0	139,02 €
	48	264,1	3280,9	34	2,4	2.703,96 €	490,7%	412,5	156,25 €
	49	262,9	3318,4	27	2,3	2.689,73 €	488,2%	304,0	115,15 €
	50	267,3	3353,2	28	2,2	2.676,53 €	485,8%	345,3	130,80 €
FIN	51								

Ilustración 74. Resultados simulación cuatro.

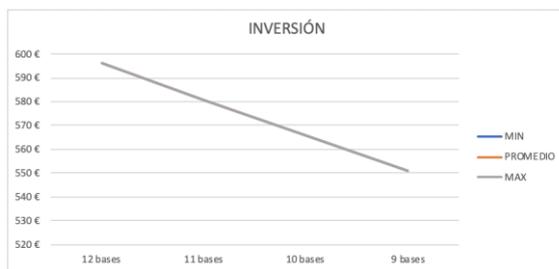
	DATOS PRODUCCIÓN - 12 bases				DATOS ECONOMICOS		RUPTURAS STOCK		INGRESOS	INVERSIÓN	COSTE SOLECTRON EXTRA
	LEAD TIME	TIEMPO DE PRODUCCIÓN	ROTURAS STOCK	STOCK PROMEDIO	BENEFICIO	IR	TIEMPO PERDIDO	COSTE			
MIN	218,9	3163,8	8	1,9	2.645,74 €	480,2%	127,3	48,22 €	4.500 €	551 €	180 €
PROMEDIO	259,8	3290,3	27,12	2,3	2.700,40 €	490,1%	338,0	128,03 €			
MAX	283,0	3434,1	56	3,2	2.748,42 €	498,8%	716,2	271,29 €			

Ilustración 75. Indicadores simulación cuatro.



## Optimización de un proceso con la herramienta desarrollada

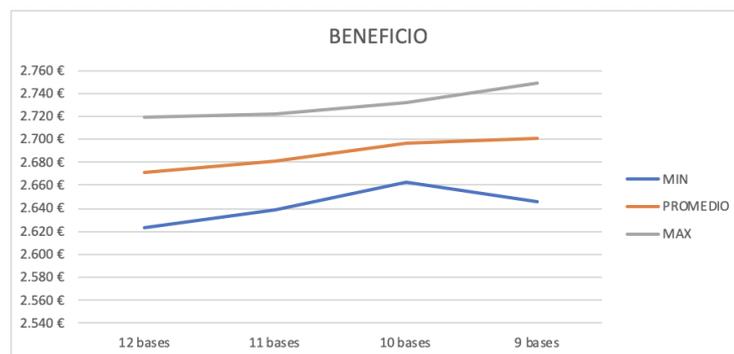
PROMEDIO	Bases	Inversión	Tiempo perdido	Coste tiempo perdido	Beneficio
<b>Simulación 1</b>	12	596 €	199,0	75,37 €	2.670,98 €
<b>Simulación 2</b>	11	581 €	248,8	94,25 €	2.680,87 €
<b>Simulación 3</b>	10	566 €	288,9	109,42 €	2.697,24 €
<b>Simulación 4</b>	9	551 €	338,0	128,03 €	2.700,40 €



INVERSIÓN	Min	Promedio	Max
<b>12 bases</b>	596 €	596 €	596 €
<b>11 bases</b>	581 €	581 €	581 €
<b>10 bases</b>	566 €	566 €	566 €
<b>9 bases</b>	551 €	551 €	551 €



COSTE TIEMPO PERDIDO	Min	Promedio	Max
<b>12 bases</b>	20 €	75 €	127 €
<b>11 bases</b>	16 €	94 €	165 €
<b>10 bases</b>	42 €	109 €	178 €
<b>9 bases</b>	48 €	128 €	271 €



BENEFICIO	Min	Promedio	Max
<b>12 bases</b>	2.623 €	2.671 €	2.719 €
<b>11 bases</b>	2.639 €	2.681 €	2.722 €
<b>10 bases</b>	2.663 €	2.697 €	2.731 €
<b>9 bases</b>	2.646 €	2.700 €	2.748 €

**Ilustración 76. Evolución de los indicadores. (Sim.1 - Sim 4.)**

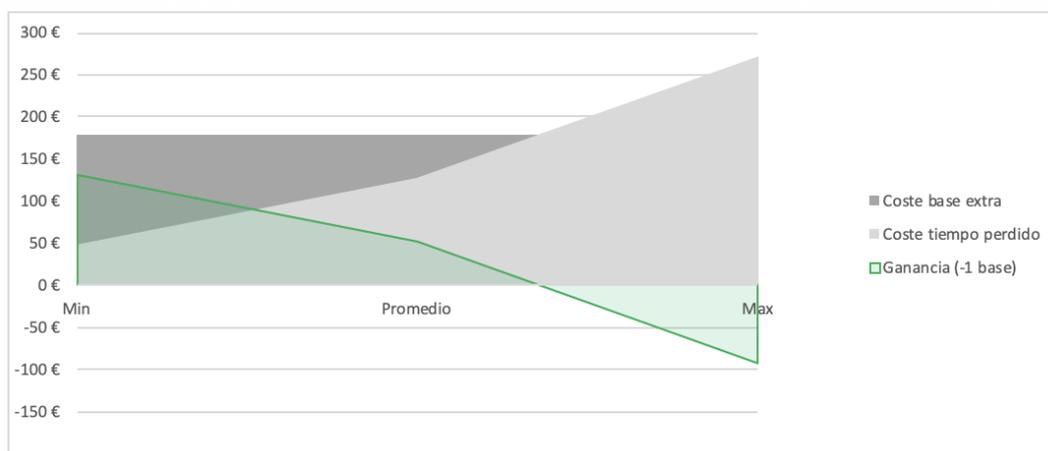
Tras ver los resultados y evolución de los indicadores, estos comienzan a mostrar peores resultados que en la simulación anterior con una base más, aunque solamente en el peor de los escenarios, los más cercanos al mínimo de beneficio en las cincuenta simulaciones.

Desde que comenzamos a realizar las simulaciones con doce bases y hasta la simulación anterior con diez bases, el beneficio ha ido en aumento tanto en los mejores como en los peores escenarios de todas las simulaciones realizadas, por lo que se puede asegurar que reduciendo hasta diez bases con una certeza total se ira optimizando el beneficio del proyecto.

## Desarrollo de un simulador de la producción programado en Excel

Sin embargo, a partir de nueve bases, se comienza a tener probabilidades de obtener resultados peores que en la simulación anterior, aunque de momento solo en los peores escenarios de la simulación (altas probabilidades de mejorar los resultados con nueve bases).

En la gráfica inmediatamente a continuación, se observa como si comparamos el coste del tiempo perdido con nueve bases y el potencial beneficio de reducir una base más, empieza a observarse como aumentan las probabilidades de que los beneficios decrezcan.



**Ilustración 77. Ganancias reducción de una base extra. Simulación cuatro-cinco.**

Se procede a realizar la simulación cinco.



Optimización de un proceso con la herramienta desarrollada

## 5.5. Simulación cinco. (ocho bases)

SIMULACION	ID	DATOS PRODUCCIÓN				DATOS ECONOMICOS		RUPTURAS STOCK	
		LEAD TIME	TIEMPO DE PRODUCCIÓN	ROTURAS STOCK	STOCK PROMEDIO	BENEFICIO	IR	TIEMPO PERDIDO	COSTE
	1	228,3	3275,6	20	1,9	2.721,07 €	507,7%	309,1	117,08 €
	2	242,9	3395,5	35	2,2	2.675,55 €	499,2%	389,0	147,35 €
	3	250,2	3373,8	38	2,3	2.683,77 €	500,7%	539,3	204,28 €
	4	237,1	3325,4	28	2,0	2.702,17 €	504,1%	383,0	145,08 €
	5	239,5	3344,4	21	1,8	2.694,98 €	502,8%	314,1	118,98 €
	6	242,0	3365,9	29	2,0	2.686,80 €	501,3%	435,3	164,89 €
	7	235,5	3320,3	27	1,9	2.704,11 €	504,5%	331,5	125,57 €
	8	244,5	3455,6	32	2,1	2.652,75 €	494,9%	434,5	164,58 €
	9	243,0	3364,3	41	2,4	2.687,37 €	501,4%	468,3	177,39 €
	10	249,2	3446,5	34	2,2	2.656,20 €	495,6%	500,8	189,70 €
	11	249,0	3430,0	39	2,4	2.662,44 €	496,7%	515,7	195,34 €
	12	242,4	3405,6	32	2,1	2.671,72 €	498,5%	384,0	145,45 €
	13	232,8	3333,9	26	2,0	2.698,94 €	503,5%	388,9	147,31 €
	14	236,3	3341,8	30	2,2	2.695,93 €	503,0%	388,8	147,27 €
	15	248,9	3469,6	35	2,3	2.647,42 €	493,9%	583,4	220,99 €
	16	243,2	3416,2	32	2,1	2.667,70 €	497,7%	420,3	159,20 €
	17	246,7	3429,2	38	2,3	2.662,75 €	496,8%	476,2	180,38 €
	18	244,4	3413,3	31	2,1	2.668,81 €	497,9%	376,4	142,58 €
	19	241,7	3446,6	24	2,0	2.656,18 €	495,6%	383,2	145,15 €
	20	245,0	3418,2	31	2,1	2.666,94 €	497,6%	432,9	163,98 €
	21	241,7	3382,6	30	2,1	2.680,45 €	500,1%	408,7	154,81 €
	22	255,0	3528,6	42	2,4	2.625,02 €	489,7%	490,9	185,95 €
	23	241,2	3398,5	30	2,1	2.674,42 €	499,0%	434,6	164,62 €
	24	240,3	3418,2	25	2,0	2.666,95 €	497,6%	339,5	128,60 €
	25	245,7	3402,3	37	2,3	2.672,96 €	498,7%	460,9	174,58 €
	26	249,3	3393,7	41	2,4	2.676,21 €	499,3%	601,1	227,69 €
	27	240,7	3384,1	27	2,0	2.679,89 €	500,0%	390,7	147,99 €
	28	230,8	3345,4	17	1,7	2.694,60 €	502,7%	274,1	103,83 €
	29	243,4	3383,3	29	2,0	2.680,20 €	500,0%	360,7	136,63 €
	30	242,5	3413,6	31	2,1	2.668,69 €	497,9%	456,7	172,99 €
	31	236,2	3335,5	30	2,0	2.698,33 €	503,4%	459,7	174,13 €
	32	244,6	3430,5	33	2,2	2.662,27 €	496,7%	480,8	182,12 €
	33	241,3	3367,8	31	2,1	2.686,06 €	501,1%	467,8	177,20 €
	34	232,2	3313,4	28	2,1	2.706,71 €	505,0%	345,9	131,02 €
	35	231,8	3375,5	19	1,8	2.683,17 €	500,6%	295,4	111,89 €
	36	234,0	3368,1	28	2,2	2.685,94 €	501,1%	412,9	156,40 €
	37	236,5	3288,3	33	2,1	2.716,23 €	506,8%	426,0	161,36 €
	38	231,0	3239,2	27	2,1	2.734,87 €	510,2%	387,3	146,70 €
	39	247,2	3399,8	41	2,4	2.673,89 €	498,9%	594,1	225,04 €
	40	239,1	3358,7	27	1,9	2.689,54 €	501,8%	395,8	149,92 €
	41	248,8	3446,6	33	2,1	2.656,16 €	495,6%	502,7	190,42 €
	42	249,5	3473,5	36	2,2	2.645,94 €	493,6%	459,3	173,98 €
	43	228,4	3271,9	18	1,8	2.722,48 €	507,9%	278,5	105,49 €
	44	246,7	3457,0	27	2,0	2.652,23 €	494,8%	440,8	166,97 €
	45	230,0	3266,2	28	2,2	2.724,61 €	508,3%	385,4	145,98 €
	46	240,3	3364,1	30	2,1	2.687,47 €	501,4%	422,1	159,89 €
	47	232,6	3305,5	26	1,9	2.709,72 €	505,5%	348,9	132,16 €
	48	229,6	3277,3	29	2,2	2.720,40 €	507,5%	357,0	135,23 €
	49	243,8	3389,5	28	1,9	2.677,86 €	499,6%	409,3	155,04 €
	50	237,4	3322,6	32	2,1	2.703,21 €	504,3%	388,2	147,05 €
FIN	51								

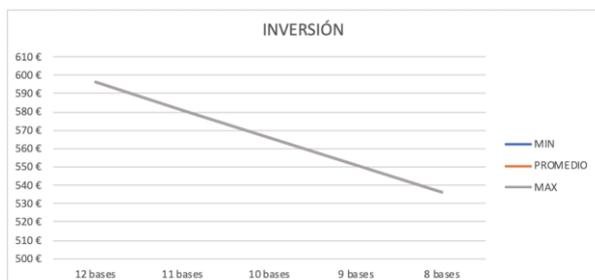
Ilustración 78. Resultados simulación cinco.

	DATOS PRODUCCIÓN - 12 bases				DATOS ECONOMICOS		RUPTURAS STOCK		INGRESOS	INVERSIÓN	COSTE SOLECTRON EXTRA
	LEAD TIME	TIEMPO DE PRODUCCIÓN	ROTURAS STOCK	STOCK PROMEDIO	BENEFICIO	IR	TIEMPO PERDIDO	COSTE			
MIN	228,3	3239,2	17	1,7	2.625,02 €	489,7%	274,1	103,83 €	4.500 €	536 €	180 €
PROMEDIO	240,7	3377,5	30,32	2,1	2.682,40 €	500,4%	418,6	158,56 €			
MAX	255,0	3528,6	42	2,4	2.734,87 €	510,2%	601,1	227,69 €			

Ilustración 79. Indicadores simulación cinco.

## Desarrollo de un simulador de la producción programado en Excel

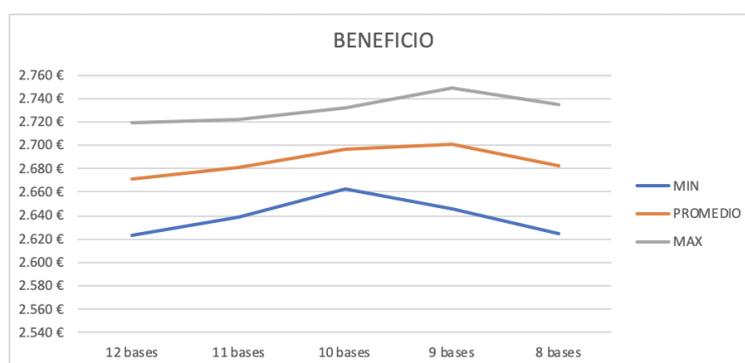
PROMEDIO	Bases	Inversión	Tiempo perdido	Coste tiempo perdido	Beneficio
<b>Simulación 1</b>	12	596 €	199,0	75,37 €	2.670,98 €
<b>Simulación 2</b>	11	581 €	248,8	94,25 €	2.680,87 €
<b>Simulación 3</b>	10	566 €	288,9	109,42 €	2.697,24 €
<b>Simulación 4</b>	9	551 €	338,0	128,03 €	2.700,40 €
<b>Simulación 5</b>	8	536 €	418,6	158,56 €	2.682,40 €



INVERSIÓN	Min	Promedio	Max
<b>12 bases</b>	596 €	596 €	596 €
<b>11 bases</b>	581 €	581 €	581 €
<b>10 bases</b>	566 €	566 €	566 €
<b>9 bases</b>	551 €	551 €	551 €
<b>8 bases</b>	536 €	536 €	536 €



COSTE TIEMPO PERDIDO	Min	Promedio	Max
<b>12 bases</b>	20 €	75 €	127 €
<b>11 bases</b>	16 €	94 €	165 €
<b>10 bases</b>	42 €	109 €	178 €
<b>9 bases</b>	48 €	128 €	271 €
<b>8 bases</b>	104 €	159 €	228 €



BENEFICIO	Min	Promedio	Max
<b>12 bases</b>	2.623 €	2.671 €	2.719 €
<b>11 bases</b>	2.639 €	2.681 €	2.722 €
<b>10 bases</b>	2.663 €	2.697 €	2.731 €
<b>9 bases</b>	2.646 €	2.700 €	2.748 €
<b>8 bases</b>	2.625 €	2.682 €	2.735 €

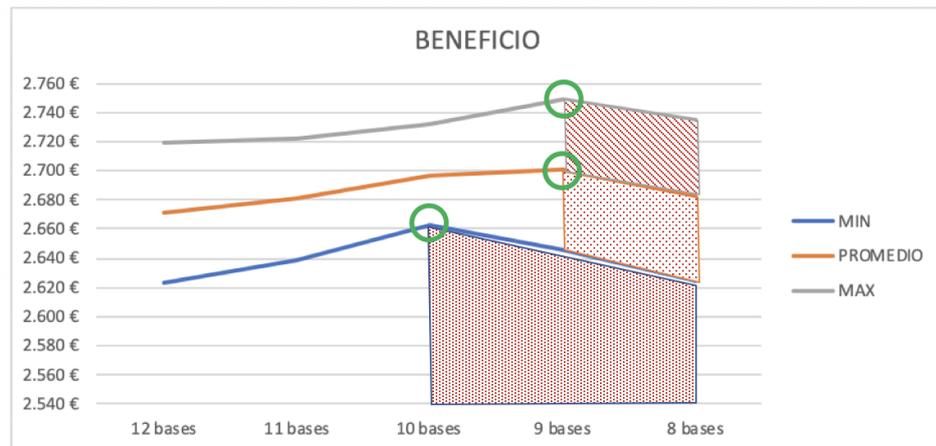
**Ilustración 80. Evolución de los indicadores. (Sim.1 - Sim 5.)**

Finalmente tras realizar la quinta simulación con ocho bases, uno puede darse cuenta en las gráficas de evolución de los indicadores, como respecto a la cuarta simulación con nueve bases, hemos disminuido el beneficio en todas las simulaciones de las cincuenta realizadas, tanto en las más favorables como en las más desfavorables. Queda por lo tanto descartado realizar una nueva simulación con siete bases, ya que el beneficio sería todavía inferior.

Por lo tanto, con este análisis se ha llegado a la conclusión de que el beneficio del proyecto, dados unos parámetros fijos, se optimiza con nueve bases en promedio, no obstante, habría una pequeña probabilidad de que se optimizase con diez bases si se diera el peor de los escenarios que nos devuelven las simulaciones (ver ilustración 81)



## Optimización de un proceso con la herramienta desarrollada



BENEFICIO	Min	Promedio	Max
<b>12 bases</b>	2.623 €	2.671 €	2.719 €
<b>11 bases</b>	2.639 €	2.681 €	2.722 €
<b>10 bases</b>	2.663 €	2.697 €	2.731 €
<b>9 bases</b>	2.646 €	2.700 €	2.748 €
<b>8 bases</b>	2.625 €	2.682 €	2.735 €

**Ilustración 81. Maximización de los beneficios - bases.**

## Capítulo 6. Estudio económico

En este capítulo, el autor del TFM reflejará el coste que hubiera tenido para una empresa los servicios de estudio y desarrollo de una herramienta de simulación en Excel, y el posterior análisis de optimización de los beneficios del proyecto de producción.

Escandallo de costes para una primera vez primera vez, teniendo que realizar el desarrollo herramienta y el análisis de optimización:

Coste de la hora/Ingeniería	30,00 €/hora
<b>COSTES ESTUDIO</b>	
Desarrollo de la herramienta	135 horas
Redacción del manual usuario	25 horas
Análisis optimización proyecto	30 horas
Redacción del estudio	40 horas
<b>TOTAL</b>	<b>230 horas</b>
<b>TOTAL COSTE ESTUDIO</b>	<b>6.900 €</b>
Coste equipo Informatico	1.500 €
Amortización (años)	5
Coste ( 1 trimestre)	75 €
Licencia Microsoft Office Profesional	230 €
<b>TOTAL COSTE</b>	<b>7.205 €</b>

**Ilustración 82. Escandallo costes nuevo cliente.**

En el caso de un cliente para el cual ya se haya trabajado sobre su proceso productivo y tenga la herramienta de simulación creada, el coste de contratación de los servicios sería:

Coste de la hora/Ingeniería	30,00 €/hora
<b>COSTES ESTUDIO</b>	
Actualización/adaptación simulador	20 horas
Actualización del manual usuario	10 horas
Análisis optimización proyecto	30 horas
Redacción del estudio	25 horas
<b>TOTAL</b>	<b>85 horas</b>
<b>TOTAL COSTE ESTUDIO</b>	<b>2.550 €</b>
Coste equipo Informatico	1.500 €
Amortización (años)	5
Coste (1 mes)	25 €
<b>TOTAL COSTE</b>	<b>2.575 €</b>

**Ilustración 83. Escandallo costes de cliente en cartera.**



# Conclusiones y futuros desarrollos

Seguramente que este último punto sea el más subjetivo de todo este TFM, en él se darán en primera persona la valoración del autor sobre el valor añadido que aporta este proyecto, tanto para el autor (desarrollo personal/profesional) como para el futuro usuario de la herramienta, así como otras ideas para las cuales pueda ser útil esta herramienta y otras posibles vías de desarrollo futuras que se puedan realizar para completar o mejorar esta herramienta.

Antes de comenzar el proyecto el autor poseía ya conocimientos tanto de flujos logísticos como de Microsoft Excel, no obstante, a lo largo de este proyecto el mismo autor ha ido explorando y profundizando en conceptos teóricos logísticos y potenciando sus conocimientos en programación en Excel.

## CONCLUSIONES:

- Es fundamental para cualquier empresa poseer un medio para realizar simulaciones, que permita conocer los diversos resultados (y sus probabilidades) de una acción antes de acometerla.
- Si bien hay software específico para simular producciones y flujos logísticos, gracias a Excel estas simulaciones son aplicables en la todos los campos de la empresa, (producción, logística, dirección financiera, investigación de mercados y marketing...), siendo posible enlazar todas estas ramas en una simulación en un solo sistema, y observando como afectan los cambios en un determinado campo de la empresa, no solo en sus propios resultados, sino en los resultados del resto de los campos.  
En el caso estudiado hemos creado un modelo en los que se interrelacionan la producción, la logística y los resultados financieros.
- Gracias a las herramientas informáticas disponibles hoy en día, la ratio coste-beneficio de disponer de una herramienta de simulación es mínimo.

## POSIBLES FUTUROS DESARROLLOS

- Profundizar el desarrollo de optimizaciones sobre el modelo presentado e implementables en el sistema real. Un ejemplo: ver como afectaría al resultado del proyecto la inversión en destornilladores eléctricos, aumentando la inversión, pero sin embargo reduciendo los costes operacionales...
- Desarrollo y profundización en otros procesos de la empresa, interrelacionándolos con los ya existentes, pudiendo llegar a simular un entorno industrial completo:
  - Interacción con proveedores
  - Simulación del transporte
  - Calculo de bucle de embalajes necesario

## Desarrollo de un simulador de la producción programado en Excel

---

- Creación de un módulo de investigación de mercado, relacionado con las ventas y este a su vez con la producción a realizar
- Etc... Excel nos permite infinitas posibilidades de desarrollo
- Elaboración de un sistema de estadística, que permita estudiar y ofrecer al cliente las probabilidades de éxito según los parámetros que varíe.

Como ha quedado reflejado, esta herramienta de simulación en Excel tiene infinidad de posibilidades, que hacen que sea perfectamente adaptable a las necesidades solicitadas por el cliente.

Después de todo el proceso de realización de este TFM y ayudado por la experiencia profesional del propio autor, a este no le cabe duda de la gran utilidad e importancia que tiene para cualquier proyecto o empresa poder recrear un escenario y conocer que resultados se obtendrán según que variables se modifiquen, sin antes realizar inversión alguna, sin tener que parar la producción en curso para experimentar, sin asumir riesgo de ningún tipo, más que el coste de implementación de esta herramienta, que supone una inversión al alcance de hasta las más pequeñas empresas.



## Referencias

- Banks J., Carson J.S., Nelson B.L, 1996, “Discrete-Event System Simulation. Second Edition.”, Prentice-Hall, New Jersey.
- Fishman G.S., 1978, “Conceptos y métodos en la simulación digital de eventos discretos”, Limusa, México.
- Kelton W.D., Sadowski R.P., Sadowski D.A., 1998, “Simulation with Arena”, Mc Graw Hill, Boston.
- Law A.M., Kelton W.D., 1991, “Simulation Modeling & Analysis”, Second Edition, McGraw-Hill, New York.
- Ogunnaiké B.A., Harmon Ray W., 1994, “Process Dynamics, Modeling and Control”, Oxford, New York.
- Renault Communication, “La aventura automovilística”, Éditions Gallimard.
- Rodríguez Jiménez, C., “FASA y el 4/4. Así empezó todo”, El Mundo, 2008.
- Shannon R.E., 1988, “Simulación de Sistemas. Diseño, desarrollo e implementación”, Trillas, México.
- Tarifa, E.E., “Teoría de Modelos y Simulación”, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
- El learn by doing NO es nuestra metodología. – 080formacion.es - <https://bit.ly/2MmM18S>
- Escuela Lean. <https://bit.ly/2HTPbNk>
- FASA-Renault – Wikipedia - <https://bit.ly/2Kpa0BY>
- Grupo Renault – Historia de Renault - <https://bit.ly/2WBLCU9>
- Grupo Renault – Empresas del grupo - <https://bit.ly/2WBLCU9>
- Historia de la marca de coches Renault – Autobild.es - <https://bit.ly/2Wm8iIo>
- La colaboración universidad – empresa en Europa – Redtransfer.org - <https://bit.ly/2Xn2wTp>
- La historia de Renault – Noticias.coches.com - <https://bit.ly/2HRFeQn>
- La oferta de prácticas, colaboración más habitual entre la Universidad y la empresa en España.
- Radiografía de la cooperación Universidad-Empresa en España. Lacamara.es - <https://bit.ly/2Kmi1md>
- Lean Manufacturing, conceptos, técnicas e implementación - <https://bit.ly/2JVbMLI>
- Learn by doing: el método de aprendizaje natural. Madridiario.es - <https://bit.ly/2JVzNlu>
- Mersenne Twister – Wikipedia - <https://bit.ly/30LWwG8>
- Metodología Lean Manufacturing, qué es y cómo implementarla en tu empresa.
- Leanmanufacturing10.com - <https://bit.ly/2luUiXW>
- Metodología Learn by doing – Eada.edu - <https://bit.ly/2JTHZ60>
- Microsoft Excel, Wikipedia, <https://bit.ly/1owzaji>
- Números de Marsenne - Wikipedia- <https://bit.ly/2WBma17>
- Renault historia - <https://bit.ly/2XloeHj>
- Renault Nissan Consulting – Acerca de nosotros - <https://bit.ly/318jebI>
- Riesgos relacionados con la ergonomía. Riesgoslaborales.feteugt-sma.es - <https://bit.ly/2HSiv6D>
- Soporte Microsoft Office - <https://bit.ly/2YTRvto>
- “Taylorismo” - Real Academia de la lengua Española - <https://bit.ly/2XloeHj>
- Universidad de Valladolid – Eureded.cu - <https://bit.ly/2QIRwxq>.
- \*Nota: enlaces a páginas web acortados con la herramienta <https://bitly.com>
- \*Nota: enlaces web consultados entre marzo y junio de 2019.