



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Facultade de Economía e Empresa

Trabajo de
fin de grado

La mejora de
procesos en
situaciones de
recursos limitados

Un modelo de dinámica de
sistemas

Rubén Lage Domínguez

Tutor: Rafael María García
Rodríguez

Grado en Administración y Dirección de Empresas
Año 2016

Resumen

La existencia de retrasos desde la puesta en marcha de un programa de mejora de procesos hasta que éste es efectivo es la razón por la que muchas empresas fracasan en la implementación de dichos programas, cayendo en el fenómeno conocido como trampa de la capacidad. La importancia de este problema reside en que, si los encargados del proceso productivo son conscientes de los retrasos comentados, cambiando con ello su modelo mental, podrían hacer frente a la trampa de la capacidad y, con ello, lograr que los programas de calidad que implementen sean exitosos. En este trabajo, previo repaso de la bibliografía existente sobre este tema, haremos uso de la dinámica de sistemas para demostrar cómo, tras una situación desfavorable en el corto plazo, los programas de mejora de procesos proporcionan a largo plazo resultados beneficiosos y sostenibles. Para ello, haremos uso de diagramas causales, diagramas de flujos, y simularemos las diferentes políticas propuestas. Por último, incluiremos un anexo en el que se documentan todas las ecuaciones que han sido utilizadas para construir el modelo de simulación de este trabajo.

Palabras clave: mejora de procesos, gestión de calidad, trampa de la capacidad, política, retrasos

Número de palabras: 14.987

Resumo

A existencia de retrasos desde a posta en marcha dun programa de mellora de procesos ata que é efectiva é a razón pola que moitas empresas fracasan na implementación de ditos programas, caendo no coñecido como fenómeno da trampa da capacidade. A importancia de este problema atópase en que, se os encargados son conscientes destes retrasos, cambiando así o seu modelo mental, poderían facer frente a esta trampa da capacidade e, polo tanto, lograr que os programas de calidade que implementen sexan exitosos. Neste traballo, previo repaso da bibliografía existente sobre este tema, faremos uso da dinámica de sistemas para demostras cómo, tras unha situación desfavorable no curto prazo, os programas de mellora de procesos proporcionan a longo prazo resultados beneficiosos e sostibles. Para iso, faremos uso de diagramas causales, diagramas de fluxos, e simularemos as diferentes políticas propostas. Por último, incluiremos un anexo no que se documentan todas as ecuaciones que foron utilizadas para construír o modelo de simulación deste traballo.

Palabras clave: mellora de procesos, xestión de calidade, trampa da capacidade, política, retrasos

Número de palabras: 14.987

Abstract

Delays between the beginning of a process improvement program and its results are the reason why most of the companies fail when they try to implement these programs, falling into the well-known phenomenon called capability trap. The importance of this problem is that, if managers are aware of these delays, changing their mental models, they would be able to face the capability trap and, thus, success in the implementation of a quality program. Throughout this thesis, and after a review of the current bibliography, we will use the dynamic system discipline to demonstrate how, after an unfavourable situation in the short term, process improvement programs provide beneficial and sustainable results in the long term. In order to show this, we will use causal diagrams, stock diagrams and the simulation of the proposed policies. Finally, we will include an annex with the equations used to create the simulation model used in this thesis.

Keywords: process improvement, quality management, capability trap, policy, delays

Amount of words: 14.987

Índice

INTRODUCCIÓN.....	10
1. LOS PROGRAMAS DE MEJORA Y LA TRAMPA DE LA CAPACIDAD	11
1.1 CONTEXTO Y EXPLICACIÓN	11
1.2 CONCEPTOS PREVIOS.....	14
1.3 LA LÓGICA EMPRESARIAL SOBRE ESTA CUESTIÓN.....	15
1.3.1 <i>La física del problema.....</i>	<i>15</i>
1.3.1.1 El output neto del proceso	15
1.3.1.2 Los productos defectuosos de un proceso productivo.....	16
1.3.2 <i>Decisión en la asignación de recursos.....</i>	<i>17</i>
1.3.2.1 Destinar recursos al output neto.....	18
1.3.2.2 Destinar recursos a la mejora de procesos.....	18
1.3.3 <i>¿Qué decisión toman las empresas?.....</i>	<i>19</i>
1.3.4 <i>La trampa de la capacidad.....</i>	<i>20</i>
1.3.4.1 El por qué de la trampa de la capacidad	22
1.3.4.2 La atribución errónea de errores.....	23
1.3.4.3 Aprendizaje supersticioso y bucle de confirmación de la atribución errónea:.....	24
1.3.4.4 La mejora de procesos bajo la trampa de la capacidad.....	26
1.4 DIAGRAMA CAUSAL.....	27
1.5 DIAGRAMA DE FLUJO.....	30
1.5.1 <i>Output bruto y output neto.....</i>	<i>30</i>
1.5.2 <i>Los problemas del proceso.....</i>	<i>32</i>
1.5.3 <i>Horas extra y cansancio.....</i>	<i>34</i>
1.5.4 <i>La asignación de recursos.....</i>	<i>37</i>
1.5.5 <i>Políticas aplicables.....</i>	<i>40</i>
1.5.5.1 Política de producción.....	40
1.5.5.2 Política de corrección de productos defectuosos.....	40
1.5.5.3 Política de horas extra.....	42
1.5.5.4 Política preventiva.....	43
2. SIMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	44

2.1	SITUACIÓN DE EQUILIBRIO	44
2.2	SIMULACIÓN DE LAS POLÍTICAS PROPUESTAS.....	45
2.2.1	<i>Política de producción</i>	45
2.2.2	<i>Política de corrección de productos defectuosos</i>	48
2.2.3	<i>Política de horas extra</i>	50
2.2.4	<i>Política preventiva</i>	54
2.3	RESULTADOS FINANCIEROS	56
2.3.1	<i>Simulación de los resultados financieros</i>	57
2.4	ELECCIÓN DE LA POLÍTICA	60
	CONCLUSIONES	62
	BIBLIOGRAFÍA	63
	ANEXO 1 - HORAS DEDICADAS	67
	ANEXO 2 - ECUACIONES DEL MODELO.....	68

Índice de figuras

Figura 1. Cálculo del Output Neto.	15
Figura 2. Creación de Productos Defectuosos.	16
Figura 3. Distribución de recursos.	17
Figura 4. Efecto de la trampa de la capacidad en el output neto.	21
Figura 5. Diagrama Causal.	27
Figura 6. Diagrama de flujo del output neto.	30
Figura 7. Diagrama de flujo de productos defectuosos.	31
Figura 8. Diagrama de flujo de los problemas del proceso.	32
Figura 9. Diagrama de flujo de los problemas del proceso.	33
Figura 10. Diagrama de flujo del cansancio.	34
Figura 11. Diagrama de flujo del cansancio.	35
Figura 12. Factor de Recuperación.	36
Figura 13. Relación Cansancio – Productividad.	36
Figura 14. Relación Cansancio - Aparición Problemas.	37
Figura 15. Diagrama de flujo de la asignación de recursos.	37
Figura 16. Diagrama de flujo Horas al Output Neto.	39
Figura 17. Relación Productos Defectuosos - Horas a la Corrección.	41
Figura 18. Relación Horas Extra - Diferencia Output Neto.	42
Figura 19. Relación Efectividad - Horas de Mejora de Procesos.	43
Figura 20. Evolución del output en equilibrio.	44
Figura 21. Evolución del output con política de producción.	45
Figura 22. Distribución de horas con política de producción.	47
Figura 23. Evolución del output con política correctiva.	48
Figura 24. Distribución de horas con política correctiva.	49
Figura 25. Productos defectuosos con política correctiva.	50
Figura 26. Evolución del output con horas extra.	51
Figura 27. Distribución de horas con horas extra.	52
Figura 28. Cansancio, productividad y horas extra.	53
Figura 29. Evolución del output con política preventiva.	54
Figura 30. Distribución de horas con política preventiva.	55
Figura 31. Diagrama de flujo de recursos financieros.	56

Figura 32. Finanzas política de producción.....58
Figura 33. Finanzas política horas extra.....58
Figura 34. Finanzas política correctiva.....59
Figura 35. Finanzas política preventiva.....60

Índice de táboas

Tabla 1. Horas dedicadas al Trabajo de Fin de Grado.67

Introducción

La gestión de calidad es un área donde en las últimas décadas se han centrado grandes esfuerzos de investigación. El mejor ejemplo de ello son los numerosos programas de mejora de calidad que han sido publicados en los últimos 50 años: desde el TQM hasta el control estadístico de la calidad, pasando por el Six Sigma o las certificaciones ISO. Sin embargo, en la mayoría de los casos estos programas no proporcionan los resultados esperados cuando son aplicados por las empresas.

El objetivo de este trabajo es explicar, a través de la dinámica de sistemas, una de las principales causas del fracaso de estos programas: los errores en su implementación. Más concretamente, nos referiremos al retardo que existe desde que se pone en marcha el proceso de mejora hasta que se logra mejorar el resultado de la empresa como la principal razón que lleva a las empresas a fracasar en la implementación de los programas de mejora.

Para ello, en primer lugar realizaremos un repaso a la bibliografía existente, e introduciremos conceptos como la trampa de la capacidad. Posteriormente, trasladaremos este marco teórico al área de la dinámica de sistemas a través del desarrollo de diagramas causales y diagramas de flujo. Por último, realizaremos simulaciones que nos permitirán verificar la validez de las diferencias políticas planteadas.

1. Los programas de mejora y la trampa de la capacidad

1.1 Contexto y explicación

Tradicionalmente, las decisiones de las empresas han sido acompañadas de informes realizados por empresas consultoras. “El 2014 vuelve a ser un año de crecimiento y tanto los indicios como las previsiones de las empresas del sector apuntan a un 2015 todavía más positivo” Asociación Española de Empresas de Consultoría, (2015, p. 4). Una parte muy importante de este creciente gasto se encuentra en los servicios de consultoría se encuentra en la consultoría de procesos.

En las últimas décadas se han propuesto una gran variedad de programas de mejora de procesos y gestión de calidad, entre ellos el conocido como Total Quality Management, definido por Kaynak, (2003, p. 2) como “la filosofía holística de gestión que busca la mejora continua en todas las funciones de una empresa, que se logrará sólo si el concepto de calidad total es utilizado desde la adquisición de recursos hasta el servicio postventa”. Así mismo, Powell, (1995, p. 16) afirma que el TQM:

Enfatiza la mejora continua, cumplir con los requisitos del cliente, reducir la reparación, pensar en el largo plazo, incrementar el trabajo en equipo e involucración de los trabajadores, el rediseño del proceso, el estudio de la competencia, la resolución de problemas en equipo, la medición constante de resultados y la relación cercana con proveedores.

Las principales ventajas de aplicar un programa de gestión de calidad como el TQM son dos. En primer lugar, “una reducción en la producción defectuosa y su corrección implica una reducción en costes, lo que significa un aumento en los beneficios” Kober, Subraamanniam, & Watson (2012, p. 423). En segundo lugar, Reed, Lemak, & Mero (2000, p. 19) afirman que “el proceso de TQM tiene el potencial de crear una ventaja sostenible. Sus componentes individuales incluyen un carácter tácito y

forman un sistema complejo, produciendo la ambigüedad causal que puede proteger de la imitación la ventaja conseguida con el TQM". Esta ventaja competitiva dará lugar a un aumento de la cuota de mercado y, con ello, a un aumento de los beneficios.

A pesar de poseer unas bases razonables para lograr mejorar los resultados de la empresa, la evidencia empírica muestra resultados muy dispares en la aplicación de los programas de mejora de calidad, no sólo en la aplicación del TQM, sino en la aplicación de cualquier otro programa de calidad como el Six Sigma o el control estadístico de la calidad. Por un lado, existen estudios que confirman la relación de causalidad positiva entre la gestión de la calidad y los resultados de la empresa. Así pues, en su estudio realizado sobre 108 empresas que han implementado el TQM, Easton & Jarrell (1998, p. 298) afirman: "el mayor descubrimiento de este estudio es la clara evidencia de que el rendimiento en el largo plazo de las empresas que han implementado el Total Quality Management ha mejorado".

No obstante, existen otros estudios en donde esta relación de causalidad positiva es refutada. Arana Landín, Heras Saizarbitoria, Ochoa Laburu, & Andonegi Martinez (2004, p. 151) sostienen que, en un estudio realizado sobre 800 empresas de la Comunidad del País Vasco, se obtiene como resultado que las empresas que utilizan sistemas de gestión de calidad mediante la certificación ISO 9000 eran más rentables que las empresas que no lo implementaban. No obstante:

Las empresas eran también más rentables en el periodo previo a la certificación. Por estos motivos, da la sensación de que la certificación no contribuye a esa diferencia de rentabilidad, sino que la causa de esa diferencia de rentabilidad entre las empresas certificadas y no certificadas es debida a que las empresas más rentables tienen una mayor tendencia a certificarse.

Las principales razones que pueden dar lugar al fracaso al aplicar los programas de gestión de calidad son tres:

- **Errores en la medición de la efectividad del problema.** Ghalayini, Noble, & Crowe (1997, p.208) afirman que las métricas tradicionales de medición de los programas de calidad "intentan cuantificar el rendimiento y el esfuerzo de mejora únicamente a través de términos financieros. Muchos esfuerzos de mejora son difíciles de cuantificar en dólares, aunque pueden tener un gran impacto en el éxito general". Esto puede provocar que los directivos decidan abandonar un programa

de mejora de calidad al ver que las métricas no están mejorando, aún cuando el programa sí esté siendo efectivo, pero no sobre esas métricas.

- **Fallos en la implantación de las políticas.** Champan, Murray, & Mellor (1997, p. 433) afirman que, para lograr una implantación exitosa de los programas de calidad, “las estrategias de calidad deben estar alineadas con la estrategia global de la compañía y debe formar parte de la misión y visión de la empresa”. Esto implica alinear la estrategia de gestión de calidad con la estrategia de recursos humanos, a lo que Sterman, Kofman, & Repenning (1997, p. 504) afirman que “Un liderazgo débil, un entrenamiento insuficiente, métricas inadecuadas o incentivos contraproducentes pueden destruir un programa organizativo y sus políticas internas”. Por tanto, en los casos en los que dichos programas no sean acompañados de una política acorde de recursos humanos y de una implementación a nivel global, los resultados obtenidos no serán los esperados.
- **Existencia de retardos.** Beer (2003, p. 624) señala que el incremento del valor en bolsa se produce a los cinco años de implementar un programa de mejora de calidad. La visión cortoplacista de los directivos hará que éstos opten por abandonar el programa, al no obtenerse resultados favorables en el corto plazo.

La conclusión es que, si bien la teoría de los distintos programas de calidad muestra resultados ventajosos para las empresas, en la aplicación práctica de dichos programas los resultados obtenidos son heterogéneos. Para analizar esta disparidad en los resultados, haremos uso de modelos, definidos por Ramil, Rey, Lodeiro, & Arranz (s.f., p. 9) como “representaciones simplificadas de la realidad, generalmente expresadas en forma matemática, que se elaboran con el objetivo de aislar un determinado fenómeno para deducir sus leyes de comportamiento”, y, más concretamente, de modelos de dinámica de sistemas.

1.2 Conceptos previos

Con el objetivo de facilitar el seguimiento de este trabajo, en este apartado explicaremos los conceptos particulares de la dinámica de sistemas que serán utilizados en este trabajo:

Empezaremos definiendo los diagramas causales, una de las herramientas más utilizadas en la dinámica de sistemas a la hora de comenzar a desarrollar un modelo. “Un diagrama causal consiste en variables conectadas por flechas que denotan influencia de causalidad entre las variables” Sterman (2000, p. 138). La polaridad de las flechas establece el signo de relación causal de las variables. Así pues, “una flecha positiva implica que si la causa aumenta (disminuye), la variable afectada se incrementa (disminuye) por encima (por debajo) del valor que habría tomado en otro caso” Sterman (2000, p. 139). De la misma forma, “una flecha negativa implica que si la causa aumenta (disminuye), la variable afectada disminuye (aumenta) por debajo (por encima) del valor que habría tomado en otro caso” Sterman (2000, p. 139). En este trabajo, las flechas positivas serán representadas con un signo “+” en su cabeza, y las negativas con un signo “-”.

La existencia de relaciones entre las variables da lugar a la presencia de bucles, que pueden ser positivos o negativos. Un bucle positivo es aquel que “genera crecimiento exponencial y colapso, y el crecimiento o colapso continúa a un ritmo cada vez más acelerado” Senge (199, p. 119). Un bucle negativo es aquel que “genera fuerzas de resistencia que terminan por limitar el crecimiento, pero también corrigen los problemas, conservan la estabilidad y consiguen el equilibrio”. Senge (1999, p. 122)

Tras la elaboración del diagrama causal, el siguiente paso de la creación de un modelo será la elaboración del diagrama de flujo, en donde se establecerán tanto las relaciones cualitativas de las variables como sus ecuaciones. En estos diagramas la figura más importante es la variable nivel o stock, representada a través de un rectángulo, la cual recogerá un nivel que se irá acumulando a lo largo del tiempo. Esta variable puede ser modificada únicamente a través de sus flujos de entrada y de salida, representados a través de una tubería.

1.3 La lógica empresarial sobre esta cuestión

1.3.1 La física del problema

1.3.1.1 El output neto del proceso

Un proceso productivo es una serie de actividades que tienen como fin la transformación de un input en un output. Por tanto, la variable a analizar para comprobar la efectividad de un proceso productivo es el output neto, definido como el número de unidades que se han realizado de forma correcta y que puede ser puestas a la venta. Para el cálculo del output neto se tendrán en cuenta tres variables:

- **Output Bruto:** número de unidades que han sido producidas, tanto de forma defectuosa como de forma correcta. Como se puede observar a través de la polaridad positiva de la flecha que une “Output Bruto” y “Output Neto” en la Figura 1, ceteris paribus, un aumento del output bruto provoca un aumento del output neto.
- **Aparición de Productos Defectuosos:** número de productos fabricados en cada período que resultan defectos y, por tanto, no pueden ser puestos a la venta. Ceteris paribus, un incremento de la aparición de productos defectuosos provoca una caída del output neto.
- **Corrección de Productos Defectuosos:** cantidad de productos defectuosos que son corregidos, convirtiéndolos en output que puede ser vendido. Ceteris paribus, un incremento de la corrección de productos defectuosos aumenta el output neto.

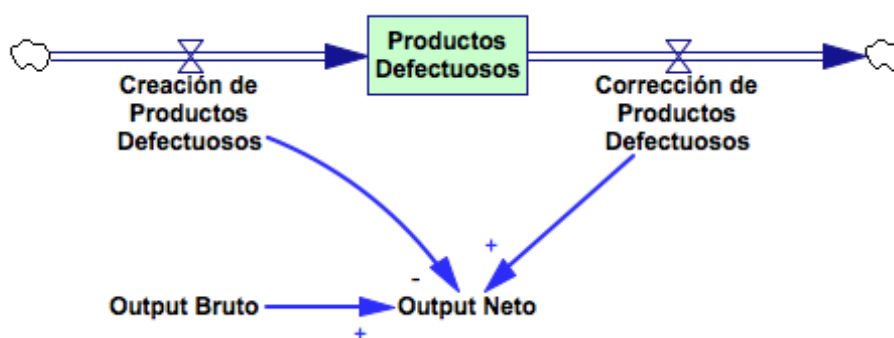


Figura 1. Cálculo del Output Neto.

Fuente: elaboración propia a partir de Repenning (2002, p. 276)

1.3.1.2 Los productos defectuosos de un proceso productivo

En la Figura 1 puede verse que “productos defectuosos” representan el nivel acumulado de unidades producidas de forma incorrecta. Este nivel puede reducirse a través de la corrección de productos defectuosos, y se ve incrementada a través de la creación de productos defectuosos.

Como puede observarse en la Figura 2, la creación de productos defectuosos viene determinada por los problemas que presenta el proceso, definidos por Sterman & Repenning (1997, p. 8) como “las características del proceso productivo, ya sean físicas o comportamentales, que dan lugar a defectos”, como podría ser el uso de una materia prima errónea, que daría lugar a productos defectuosos hasta que sea descubierto y corregido.

Repenning & Sterman (2002, p. 276) afirman que “los problemas aparecen a medida que el capital productivo envejece y los cambios en los productos, procesos o exigencias de los clientes crean conflictos con las rutinas, habilidades y capital productivo existentes.” Estos problemas pueden ser corregidos a través de una política preventiva, donde se opte por solucionar los problemas del proceso en lugar de solucionar los productos defectuosos que estos problemas crean. Sterman & Repenning (1997, p. 9) se refiere a esta política preventiva al afirmar:

La definición de estas variables permite conocer el poder de la distinción que el TQM hace entre prevención de defectos y solución de defectos. Un problema en el proceso crea un continuo flujo de productos defectuosos, reduciendo de forma permanente el output neto, a menos que cada uno de los productos defectuosos sea corregido. Sin embargo, una vez el problema es corregido, la creación de productos defectuosos será disminuida para siempre.

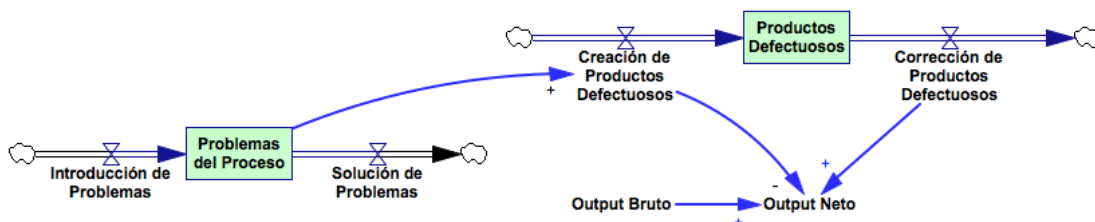
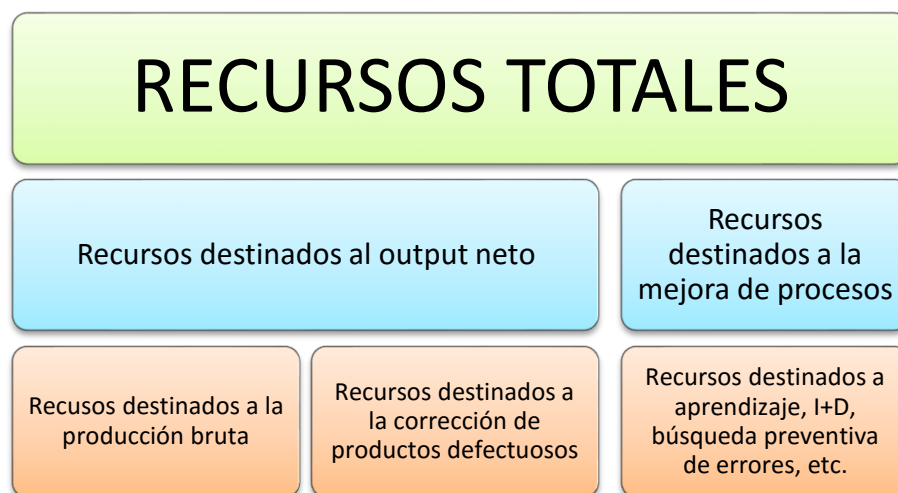


Figura 2. Creación de Productos Defectuosos.
Fuente: elaboración propia a partir de Repenning (2002, p. 276)

1.3.2 Decisión en la asignación de recursos

Supongamos un proceso productivo que logra alcanzar el output objetivo. Supongamos asimismo que, en un determinado momento, se produce un aumento en este output objetivo debido a un aumento de la demanda o a un aumento impuesto por el encargado. El problema que estamos abordando viene definido por la limitación de los recursos existentes en una empresa. Este concepto de escasez sigue la definición de economía propuesta por Samuelson (2006, p. 4): “La economía es el estudio de cómo las sociedades utilizan recursos escasos para producir bienes valiosos y distribuirlos entre diferentes personas”. Para paliar la brecha de output neto, los encargados del proceso productivo poseen dos alternativas:

- **Aumentar la proporción de recursos destinados al output neto**, reduciendo con ello los recursos destinados a la mejora del proceso. Esto se puede lograr a través de un aumento de los recursos destinados a la producción, o aumentando los recursos destinados a la corrección de productos defectuosos.
- **Aumentar la proporción de recursos destinados a la mejora de procesos**, reduciendo con ello los recursos destinados al output neto. Este aumento se logrará a través de destinar más recursos a actividades de formación, I+D, o búsqueda preventiva de problemas en el proceso productivo.



*Figura 3. Distribución de recursos.
Fuente: elaboración propia*

1.3.2.1 Destinar recursos al output neto

Un incremento de los recursos destinados al output neto, ya sea a través de un aumento de los recursos destinados a la producción bruta o a la corrección de productos defectuosos dará lugar, de forma inmediata, a un incremento en el output del proceso.

Esta solución, si bien resulta atractiva por su inmediatez, presenta un problema de sostenibilidad: el incremento en el output neto se producirá durante y sólo durante el período en el que se incremente los recursos dedicados al output neto. Una vez dichos recursos se reduzcan, el output se reducirá proporcionalmente.

En un principio, los problemas del proceso no se ven afectados por este incremento de los recursos destinados a la producción. No obstante, como veremos en el apartado siguiente, la existencia de retrasos provocará que la disminución del tiempo destinado a la mejora de procesos dé lugar, en períodos posteriores, a un aumento de los problemas del proceso que provocarán, manteniendo los recursos destinado al output neto constantes, una disminución de dicho output neto.

Nos encontramos ante una situación que, a pesar de la mejora producida en el corto plazo, es perjudicial para la empresa a largo plazo.

1.3.2.2 Destinar recursos a la mejora de procesos

Supongamos esta vez que los encargados del proceso productivo deciden incrementar los recursos destinados a la mejora de procesos.

La principal característica de este proceso de mejora es la existencia de un retraso, provocado por las dificultades que presenta el encontrar los defectos de un proceso productivo, o el tiempo requerido para desarrollar y asimilar nuevas técnicas productivos. La magnitud del retraso dependerá tanto de la naturaleza del proceso como de la cultura organizativa de la empresa. Castro Fernández (2011, p. 7) sostiene que las mayores dificultades a la hora de realizar un proyecto de innovación se engloban bajo el “cambio en la cultura de trabajo”. Así, en aquellas empresas con una cultura organizativa de innovación los retrasos en la mejora de procesos serán menores que en las empresas que no posean esta cultura.

La consecuencia de estos retrasos será una disminución inicial del rendimiento actual, dado que, en un principio, los problemas del proceso no son corregidos, pero los recursos destinados al output neto se reducen. No obstante, en el largo plazo, se logrará una disminución de los problemas del proceso, que permitirá lograr un output neto superior para un mismo nivel de recursos destinados a la producción. A diferencia de los efectos del incremento de los recursos destinado al output neto, la corrección de los problemas del proceso sí es un fenómeno que perdura en el largo plazo.

En este caso, nos encontramos ante una situación que, aún siendo perjudicial para la empresa en el corto plazo, es beneficiosa a largo plazo.

1.3.3 ¿Qué decisión toman las empresas?

A pesar de que destinar recursos a la mejora de procesos es beneficio a largo plazo, Repenning & Sterman (2002, p. 279) señalan varias razones por las que las empresas tienden a optar por aumentar los recursos destinados al output neto:

- **El output de los procesos es más notable que sus problemas:** Lassiter, Geers, Munhall, Ploutz-Snyder, & Breitenbecher (2002, p. 299) definen, tomando como referencia los estudios empíricos de otros autores, la causalidad ilusoria como aquel fenómeno que “ocurre cuando las personas atribuyen de forma injustificada la causalidad a un estímulo simplemente porque es más notable o saliente que otros estímulos disponibles”. El output de un proceso es un elemento tangible y acumulable (como los productos creados o los productos defectuosos), mientras que los problemas del proceso están camuflados en el propio proceso.
- **Retrasos:** Destinar más recursos a la mejora de procesos provocará una caída en el corto plazo del output neto del proceso, debido al retraso existente en la mejora de procesos. En entornos de presión por reducir la diferencia entre output neto objetivo y actual, los encargados no optarán por mover recursos hacia la mejora de procesos al no poder permitir una caída del output neto que aumente aún más dicha diferencia.
- **Incertidumbre:** A través de su estudio, (Ellsberg, 1961) sostiene que en una decisión entre dos opciones, en la mayoría de los casos se tiende a escoger aquella

donde la probabilidad es conocida. Su estudio dio lugar a la paradoja de Ellsberg, utilizada como evidencia de la aversión al riesgo de los agentes decisores en condiciones de incertidumbre. Destinar mayores recursos hacia el output neto proporciona resultados ciertos y tangibles, como un aumento de las unidades fabricadas, mientras que destinar recursos a la mejora de procesos da lugar a recursos no cuantificables y, por tanto, inciertos, al no poder determinarse con exactitud qué problemas se han evitado ni cuánto ha mejorado el proceso productivo.

- **Costes hundidos:** “Los costes hundidos dan lugar a una tendencia a continuar un proceso una vez se ha realizado una inversión de dinero, esfuerzo o tiempo. La justificación psicológica para este comportamiento está en el deseo de no parecer derrochador” Arkes & Blumer (1985, p. 124). La mejora de procesos permite evitar nuevos productos defectuosos, pero no corrige los productos defectuosos existentes. Los encargados tienden a corregir estos productos defectuosos buscando así recuperar las inversiones realizadas en dichos productos, aún cuando estas inversiones son costes hundidos que no deberían afectar a la decisión de distribución de recursos.

1.3.4 La trampa de la capacidad

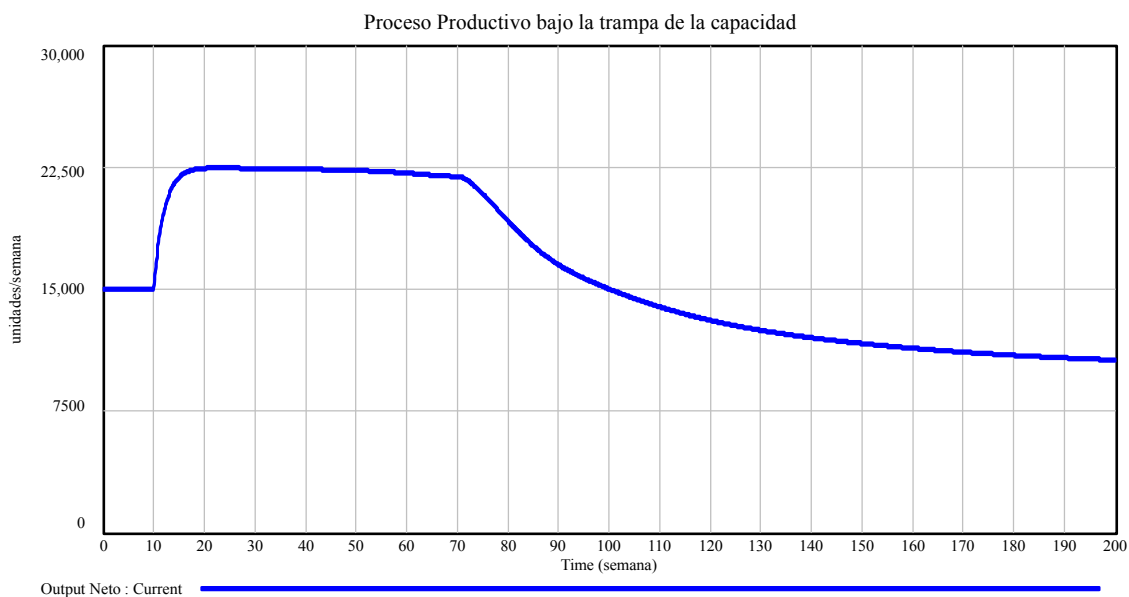
Como analizaremos posteriormente con más detalle, destinar recursos al output neto o a la mejora de procesos dará lugar a la aparición de círculos tanto viciosos como virtuosos. En caso de que, debido al aumento inicial de los recursos destinados al output neto, aumenten los problemas del proceso, será necesario seguir aumentando los recursos al output neto para lograr la misma producción, entrando en un círculo vicioso. Por el contrario, una reducción de los problemas del proceso derivada de un aumento de los recursos destinado a la mejora de procesos dará lugar a una reducción de la creación de productos defectuosos, que permitirá reducir el tiempo destinado a la producción para lograr el mismo output neto, y con ello aumentar aún más el tiempo destinado a la mejora de procesos. En este caso, estaremos ante un círculo virtuoso. Nos encontramos ante un fenómeno conocido como “dependencia del camino”, definido por Sydow, Schreyögg, & Koch (2009, p. 704) como

Un proceso desencadenado por un evento crítico que lleva a una situación delicada, está gobernado por bucles de retroalimentación que dan lugar a un patrón de acciones específico, que gana más y más predominancia sobre otras

alternativas, y que lleva, al menos de forma potencial, a un “lock-in” organizativo, entendido como una variedad limitada de acciones que es estratégicamente ineficiente.”

A pesar de las ventajas que proporciona el comportamiento virtuoso de los círculos, en la mayoría de casos el comportamiento de estos círculos es el de círculo vicioso, debido a un fenómeno muy común: la trampa de la capacidad. Repenning & Sterman (2002, p. 282) se refiere a ella del siguiente modo:

Ante una diferencia entre el rendimiento actual y el objetivo, se puede optar por destinar más recursos a la producción o a la corrección de defectos, opciones que reducirán el tiempo disponible para la mejora. Estas respuestas son tentadoras porque producen ganancias inmediatas, mientras que los costes son distantes en espacio y tiempo, inciertos, y difíciles de detectar. Pero, mientras que el rendimiento del proceso en el corto plazo se mejora, la reducción del tiempo dedicado a la mejora provoca una caída de la capacidad del proceso. Los trabajadores se encontrarán de nuevo con un rendimiento inferior al objetivo, forzando un movimiento aún mayor de recursos a la producción en detrimento de la mejora de procesos.



*Figura 4. Efecto de la trampa de la capacidad en el output neto.
Fuente: elaboración propia*

1.3.4.1 El por qué de la trampa de la capacidad

Una vez conocidas las consecuencias negativas de la trampa de la capacidad, las empresas deberían ser conscientes de que se encuentran en ella y, por tanto, deberían realizar acciones para salir de ella. Sin embargo, existen varias razones que hacen que, una vez se ha entrado en la trampa de la capacidad, lograr salir sea una tarea complicada.

Una de las principales razones que se encuentra en la racionalidad limitada de los agentes decisores, a la que Sterman (2000, p. 598) se refiere, parafraseando a Herbert Simon, como:

La capacidad de la mente humana para formular y resolver problemas complejos es muy pequeña comparada con el tamaño del problema cuya solución se requiere para un comportamiento objetivamente racional en el mundo real o incluso para una aproximación razonable a esa racionalidad objetiva.

Esta racionalidad limitada dificultará que los agentes decisores asocien causas y consecuencias distantes en el espacio y en el tiempo, y, por tanto, provocará que dichos agentes obtengan el feedback de sus acciones basándose únicamente en el corto plazo. Harmandad, Repenning, & Sterman (2009, p. 332) afirman que “el aprendizaje es lento e inefectivo cuando las organizaciones no tienen en cuenta los retrasos existentes desde que se toma una acción hasta que todas sus consecuencias ocurren”.

Comprobemos el feedback que los encargados del proceso productivo obtienen en base a sus dos posibles acciones:

- Si aumentan los recursos destinados al output neto, centrándose en el corto plazo, concluirán que dicha acción ha provocado un incremento del output neto del proceso, por tanto la política ha sido efectiva.
- La puesta en marcha de un programa de mejora de procesos, reduciendo con ello los recursos destinados al output neto, causará una caída inmediata en el rendimiento del proceso, por lo que los agentes decisores concluirán que el programa no está funcionando y lo abandonarán.

Por esta razón, y debido al no ser conscientes del aumento de los problemas del proceso en el largo plazo al reducir los recursos destinados a la mejora de procesos, los

encargados tienden a aumentar los recursos destinados al output neto para alcanzar el output objetivo.

Aunque, una vez conocidas las consecuencias de estas acciones, sería coherente que los encargados optasen por incrementar el tiempo destinado a la mejora de procesos en caso de percibir síntomas de que han caído en la trampa de la capacidad, identificar dichos síntomas es una tarea complicada debido, principalmente, a dos factores: la atribución errónea de errores y el aprendizaje supersticioso.

1.3.4.2 La atribución errónea de errores

Cuando no se logra alcanzar el output objetivo, los encargados deberán atribuir la responsabilidad a uno de los factores productivos: el proceso productivo en sí, o los trabajadores. Si consideran que el problema se encuentra en el proceso en sí, se destinarán más recursos a la mejora de procesos, mientras que si considera que el problema se encuentra en los trabajadores, se destinarán más recursos a la producción o la corrección de errores a través de una mayor presión sobre ellos.

Sterman (2001, p. 16) afirma que “para establecer causalidad nos basamos en mapas cognitivos que ignoran el feedback, las relaciones no lineales o los retrasos, usando señales como la proximidad en espacio y tiempo de causa y efecto o la precedencia temporal de las causas”. En un proceso productivo, lo más cercano en espacio y tiempo para los encargados serán los trabajadores, lo que hará que tiendan a considerar que la razón por la que no se están alcanzando los objetivos son los propios trabajadores. Por tanto, incrementarán los recursos destinados al output neto, reduciendo los recursos destinados a la mejora de procesos, y dando lugar al círculo vicioso comentado anteriormente y a la entrada en la trampa de la capacidad.

Ross (1977, p. 183) define el error fundamental de atribución como “la tendencia de los encargados de la atribución a infravalorar el impacto de los factores situacionales y sobreestimar los factores disposicionales”. Este fenómeno contribuye a que los encargados del proceso productivo consideren que los errores se encuentran en los trabajadores (factores disposicionales) en lugar de en el proceso productivo (factor situacional).

1.3.4.3 Aprendizaje supersticioso y bucle de confirmación de la atribución errónea:

Levitt & March (1988, p. 325) afirman que “el aprendizaje supersticioso sucede cuando la experiencia subjetiva del aprendizaje es convincente, pero no existen evidencias claras de las conexiones entre consecuencias y resultados”.

Como hemos visto anteriormente, si los encargados consideran que los trabajadores son la causa por la que no se alcanza el output objetivo, aumentarán la presión para que destinen más tiempo a la producción. Si los trabajadores no disponen de tiempos muertos, reducirán el tiempo destinado a la mejora de procesos. Como los encargados normalmente no pueden contabilizar el tiempo que se destina a cada tarea, lo que observarán es un incremento en el output neto del proceso, desconociendo cuánto de ese incremento se debe a un mayor esfuerzo de los trabajadores reduciendo tiempos muertos, y cuánto se debe a una reducción del tiempo destinado a la mejora de procesos.

El incremento en el corto plazo del rendimiento del proceso proporcionará a los encargados una evidencia de que sus suposiciones iniciales eran ciertas: la razón por la que no se alcanzaba el output objetivo se encontraba en el poco esfuerzo de los trabajadores, aún cuando es posible que este esfuerzo estuviese puesto en la mejora de procesos. Cuando se produzca una nueva diferencia entre output objetivo y actual, los encargados optarán de nuevo por incrementar el tiempo destinado a la producción, solución que ya fue efectiva en el pasado.

Nos encontraremos, por tanto, ante el fenómeno conocido como “bucle de confirmación de la atribución errónea”. Repenning & Sterman (2001, p. 77), lo define de la siguiente manera:

Una vez los encargados determinan que los trabajadores son la fuente de sus dificultades, toman acciones (aumento de los recursos destinados a la producción) que proporcionan una evidencia que confirma esta atribución errónea. El bucle de confirmación de la atribución errónea llevará a la empresa a altos niveles de presión productiva y pocos recursos dedicados a la mejora de procesos. Pero, más importante aún, esto cambia de forma gradual el modelo mental de los encargados al proporcionarles evidencia de que la fuente del bajo rendimiento puede ser encontrada en la pobre actitud y débil carácter de los trabajadores.

En el largo plazo, la consecuencia de no destinar tiempo a la revisión de procesos es el aumento de los problemas del proceso, con la consecuente caída del output neto. No obstante, al encontrarse causa y consecuencia distantes en el tiempo, los encargados no relacionarán ambos fenómenos, sino que consideran que la caída del rendimiento vendrá determinada nuevamente por los trabajadores y su escaso esfuerzo una vez finalizada la mayor presión puesta hacia la producción, iniciando de nuevo el bucle.

Por otra parte, los trabajadores también contribuyen a que se produzca este fenómeno. Al incrementarse el nivel de producción objetivo, los trabajadores podrían comentar a los encargados que, para alcanzar dicho nivel de producción, será necesario recortar tiempo destinado a la mejora de procesos. Si en lugar de eso recurren directamente a recortar tiempo destinado a la mejora del proceso, los encargados, al no ser conscientes de dichos recortes, confirmarán que el error estaba en los trabajadores, al ver aumentada la producción sin ningún coste adicional. En el largo plazo, una vez descubran la caída del tiempo destinado a la mejora de procesos, los encargados confirmarán sus sospechas sobre el poco compromiso de sus trabajadores, incrementando su vigilancia sobre sus actividades y, con ello, la presión sobre ellos. Sterman & Repenning (1997, p. 16) señala tres factores que determinan el grado de vigilancia: “el nivel de detalle con el que los protocolos de conducta de los empleados son definidos, el grado con el que se supervisa el cumplimiento de estos protocolos, y las penalizaciones impuestas en caso de que no se cumplan”.

Este incremento de la vigilancia, tal y como afirma Wilson & Lassiter (1982, p. 818), “puede ser contraproducente, porque pueden incrementar el interés hacia los comportamientos no deseados de las personas que en un primer momento no tenían intención de realizarlos”. Siguiendo esta afirmación, otra vía de actuación de los trabajadores, debido a la imposibilidad de realizar ambas tareas a la vez, es no recortar el tiempo destinado a la mejora de procesos, y optar por ocultar los errores o los retrasos que pueda haber en el proceso de producción. Cuando los encargados descubren estos retrasos, su creencia de que los trabajadores no se implican lo suficiente se confirma, incrementando con ello nuevamente la vigilancia sobre ellos, comenzando de nuevo el bucle.

1.3.4.4 La mejora de procesos bajo la trampa de la capacidad

Repenning & Sterman (2001, p. 79) afirman que “cuando la empresa se encuentra bajo la trampa de la capacidad, el output neto es bajo, la presión hacia la producción es alta, y el tiempo disponible que se puede dedicar a la revisión de procesos es mínima.”

Supongamos que se intenta implementar un programa de mejora de procesos bajo la trampa de la capacidad, A pesar de que, como hemos visto, los encargados del proceso productivo consideren que los trabajadores no se están esforzando lo suficiente, y que por tanto introducir un programa de mejoras es posible, lo cierto es que el bajo output neto y su consiguiente alta presión hacia la producción hará que los trabajadores no tengan tiempo suficiente para llevar a cabo dicho programa. Las alternativas que se les presentan a los trabajadores son dos:

- Optar por no seguir el programa de mejora, debido a que la presión hacia la producción es tan grande que no pueden reducir los recursos destinados al output neto para destinarlos a la mejora de procesos. El resultado de esta alternativa, por tanto, será un fracaso en la implantación del programa.
- Optar por seguir el programa de mejora, a costa de destinar menos recursos al output neto. El retraso existente en el proceso de mejora de procesos hará que, en el corto plazo, se produzca una caída en el output neto, situación que hará que los encargados decidan que el programa no está funcionando y que, por tanto, debe abandonarse. A este hecho contribuye el fenómeno de miopía directiva y el conflicto entre directivos y accionistas. Lozano García, de Miguel Hidalgo, & Pindado García (2004, p. 227) afirman lo siguiente al respecto:

Las decisiones de la gerencia no vienen determinadas por el largo plazo, sino que ésta tiene muy en cuenta el plazo temporal que va a permanecer en la empresa y las compensaciones que obtendrá. De ahí que el directivo prefiera emprender proyectos cuyo coste sea reducido y cuyos beneficios se realicen lo antes posible (preferencia por la resolución), frente a inversiones más costosas y beneficiosas en un largo plazo (preferencia de los propietarios).

En ambas opciones, el resultado será un fracaso del programa de mejora de procesos. Repenning & Sterman (2001, p. 82) afirman que “Para lograr salir de la trampa de la capacidad, es necesario un cambio en el modelo mental tanto de los encargados del proceso productivo como de los trabajadores implicados en el proceso”.

Sin este cambio, las nuevas técnicas y herramientas de mejora, independientemente de lo efectivas que sean, no tendrán éxito.

Sterman (1994, p. 17) señala dos deficiencias en nuestros modelos mentales que nos impiden comprender el funcionamiento de los sistemas complejos: “En primer lugar, nuestros mapas cognitivos de la estructura de causalidad de los sistemas son muy simples comparados con la complejidad real. Además, no somos capaces de inferir correctamente la dinámica de los sistemas, excepto en los casos más simples”. Para superar estos obstáculos, haremos uso de la dinámica de sistemas a través de diagramas casuales y diagramas de flujo, ya que, García Rodríguez (s.f. (a), p. 22) “la simulación y en general, y los modelos de simulación de dinámica de sistemas en particular, pueden contribuir de manera muy importante al logro de un aprendizaje eficaz sobre el comportamiento de los sistemas complejos”.

1.4 Diagrama causal

Partiendo del diagrama causal propuesto por Repenning & Sterman (2002), el diagrama causal del problema que estamos abordando es el siguiente:

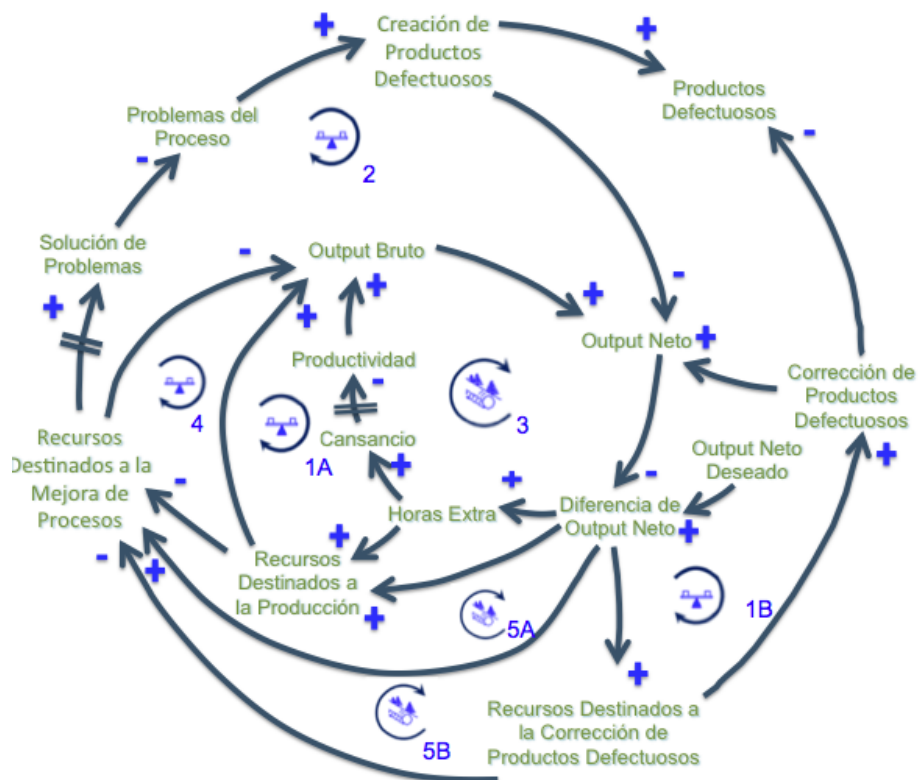


Figura 5. Diagrama Causal.
Fuente: elaboración propia

En este diagrama podemos observar los siguientes bucles:

- **Bucle 1A y 1B: mayor esfuerzo en la producción o la corrección de defectos:** En el caso de que los encargados opten por paliar la diferencia de output neto con un incremento de los recursos destinados a la producción o a la corrección de defectos, se producirá un incremento del output neto, ya sea a través a un aumento del output bruto o a través de una mayor corrección de productos defectuosos, lo que dará lugar a una reducción de la diferencia inicial. Nos encontramos, por tanto, ante un bucle de realimentación negativo.
- **Bucle 2: mejora de procesos:** Si se busca solucionar la diferencia de output neto con un incremento de los recursos destinados a la mejora de procesos, se logrará, tras un retraso, una mayor solución de problemas que dará lugar a menos problemas en el proceso y, por tanto, a una menor creación de productos defectuosos que permitirá incrementar el output neto y, con ello, reducir la diferencia inicial. Nuevamente nos encontramos ante un bucle de realimentación negativo.
- **Bucle 3: horas extra:** La tercera alternativa es hacer frente a la diferencia de output neto a través del uso de horas extra. En el corto plazo, esto permite un incremento del número de recursos destinados a la producción que, como hemos visto, permite reducir la diferencia de output neto (bucle 1A). No obstante, el uso de las horas extra supone la aparición de cansancio en los trabajadores, lo que reducirá su productividad en el largo plazo, reduciendo con ello el output bruto y aumentando la diferencia de output, lo que obligará a los encargados a incrementar aún más el número de horas extra. Nos encontramos en este caso hasta un bucle de realimentación positivo. Estamos ante un arquetipo sistémico denominado "soluciones contraproducentes". Senge (1999, p. 132) se refiere a él afirmando que casi toda decisión implica consecuencias de largo alcance y de corto alcance, a menudo diametralmente opuestas. Si aplicamos la solución del corto plazo, lograremos solucionar el problema, pero tendrá consecuencias involuntarias en el largo plazo (dando lugar a un círculo vicioso), que empeorará el desempeño que procurábamos mejorar.

La situación de recursos limitados se establece a través de los siguientes bucles:

- **Bucle 4: enfoque en el output:** El carácter limitado de los recursos implica que un incremento (reducción) de los recursos destinados a la producción se logrará únicamente a través de una reducción (incremento) de los recursos destinados a la mejora de procesos. El bucle de enfoque en el output surge cuando, al incrementar los recursos destinados a la producción para paliar la diferencia de output neto, se reducen las horas destinadas a la mejora de procesos, lo que permite incrementar el output bruto y, tras el correspondiente incremento del output neto, eliminar la diferencia de output neto. El bucle que se forma es un bucle de realimentación negativo. No obstante, esta reducción de los recursos destinados a la mejora de procesos tendrá consecuencias negativas en el largo plazo, debido al bucle de reinversión.
- **Bucles 5A y 5B: reinversión:** Supongamos que los encargados deciden aumentar el número de recursos destinados a la producción o a la corrección de productos defectuosos, reduciendo los recursos destinados a la mejora de procesos. En el corto plazo, debido a los bucles de realimentación negativos comentados anteriormente, se consigue eliminar la diferencia de output. Sin embargo, en el largo plazo, y después de un retraso, la reducción de los recursos destinados a la mejora de procesos dará lugar a un incremento del número de problemas y a la creación de más productos defectuosos, con la consiguiente reducción del output neto y el aumento de la diferencia de output neto. El incremento de esta diferencia provocará que los encargados destinen aún más recursos a la producción o a la corrección de productos defectuosos, dando lugar a un bucle de realimentación positivo. Nos encontramos nuevamente ante el arquetipo sistémico de “soluciones contraproducentes”. El comportamiento del bucle es el de un círculo vicioso, cayendo en la trampa de la capacidad.

En el caso de que los encargados dedican subsanar la diferencia de output con un incremento de los recursos destinados a la mejora de procesos, aunque en el corto plazo se reducirá el output neto por la reducción de los recursos destinados a la producción o a la corrección de productos defectuosos, en el largo plazo los problemas del proceso se reducirán, reduciendo la creación de productos defectuosos y permitiendo obtener un mayor output neto para el mismo nivel de

output bruto. Esta mejora en la efectividad del proceso provocará necesitar menos recursos destinados a la producción necesarios para alcanzar un determinado nivel de output neto, permitiendo con ello destinar aún más recursos a la mejora de procesos, mejorando con ello aún más la efectividad del proceso. En este caso, el bucle actúa como círculo virtuoso.

1.5 Diagrama de flujo

En 2012, Morrison (pp. 332-336) desarrolló un modelo, con su correspondiente diagrama de flujo, para representar el modelo teórico propuesto por Repenning & Sterman (2002). En este trabajo, hemos ampliado del modelo propuesto por Morrison, introduciendo nuevas variables y niveles, nuevas relaciones entre variables, nuevos bucles, nuevas políticas, y modificaciones en las ecuaciones propuestas.

Para un visionado más sencillo del diagrama de flujo propuesto, lo dividiremos en varias secciones, en función de las relaciones existentes entre variables y niveles.

1.5.1 Output bruto y output neto

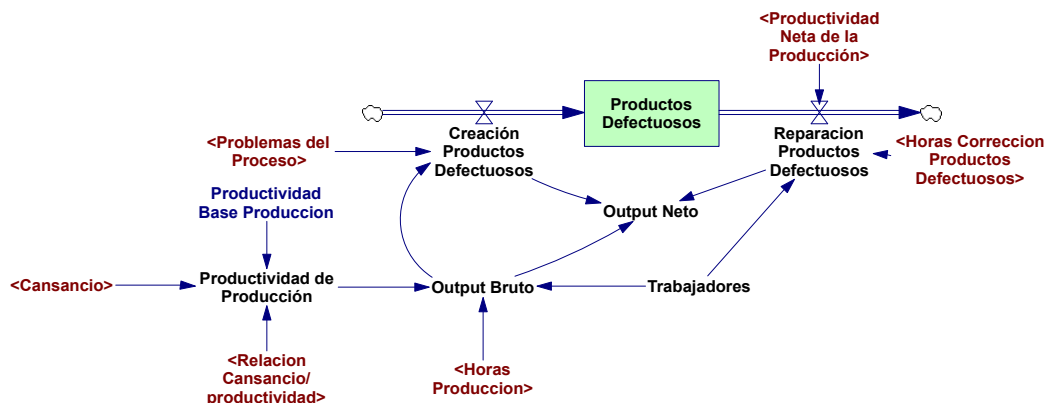


Figura 6. Diagrama de flujo del output neto.
Fuente: elaboración propia

En primer lugar definiremos la variable “output bruto” como el número de unidades, realizadas tanto de forma correcta como de forma defectuosa, que realizan los trabajadores semanalmente. Esta variable será el producto de las horas destinadas a la producción, el número de trabajadores (que se supondrá constante en 100 trabajadores, con el objetivo de ilustrar los recursos limitados de la empresa) y la productividad del trabajo, fijada en 10 unidades por hora y trabajador:

$$(1) \text{ Output Bruto} = \text{Trabajadores} * \text{Productividad del Trabajo} * \text{Horas Producción}$$

El nivel “Productos Defectuosos” hace referencia al número de productos defectuosos acumulados que existen en un determinado momento. Este nivel aumenta a través del flujo de entrada “Creación de productos defectuosos” y se reduce a través del flujo de salida “Corrección de productos defectuosos”. Su ecuación es la siguiente:

$$(2) \text{ Productos Defectuosos} = \text{INTEG}(\text{Creación Productos Defectuosos} - \text{Reparación Productos Defectuosos}, 0)^1$$

El valor inicial de los productos defectuosos es cero, hacienda referencia a una situación inicial de equilibrio en la que no existen productos defectuosos.

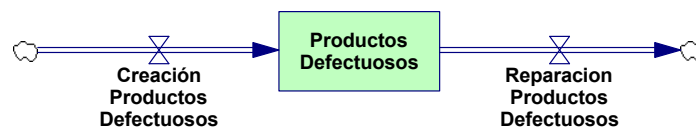


Figura 7. Diagrama de flujo de productos defectuosos.
Fuente: Elaboración propia

Bajo la creación de productos defectuosos se encuentra aquella parte del output bruto que se genera de forma defectuosa, calculándose del siguiente modo:

$$(3) \text{ Creación de Productos Defectuosos} = \text{Output Bruto} * \text{Problemas del Proceso}$$

Con estos datos podemos obtener una métrica de la calidad del proceso: la efectividad de la producción bruta, que hace referencia al porcentaje de output bruto que se ha realizado de forma correcta y que, por tanto, puede ser vendido. Su cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$(4) \text{ Efectividad de la producción bruta} = (\text{Output Bruto} - \text{Creación Productos Defectuosos}) / \text{Output Bruto}$$

¹ La función INTEG devuelve la integral del argumento situado a la izquierda, con un valor inicial igual al argumento situado a la derecha de la coma.

Los productos defectuosos se reducen a través de la variable “Reparación de productos defectuosos”, calculada de una forma similar al output bruto:

$$(5) \text{ Reparación de productos defectuosos} = \text{Trabajadores} * \text{horas destinadas a reparación} * \text{productividad neta del trabajo.}$$

La productividad neta hace referencia al número de unidades que cada trabajador realiza de forma correcta cada hora, obteniéndose, por tanto, como el producto de la productividad del trabajo y la fracción del proceso que no presenta problemas:

$$(6) \text{ Productividad neta de la producción} = \text{Productividad del trabajo} * (1 - \text{Problemas del Proceso})$$

Por último, la variable “output neto” define el número de unidades semanales realizadas correctamente, y se obtiene restando del output bruto las unidades defectuosas producidas y sumando los productos defectuosos que han sido reparados:

$$(7) \text{ Output Neto} = \text{Output Bruto} - \text{Creación de Productos Defectuosos} + \text{Corrección Productos Defectuosos}$$

1.5.2 Los problemas del proceso

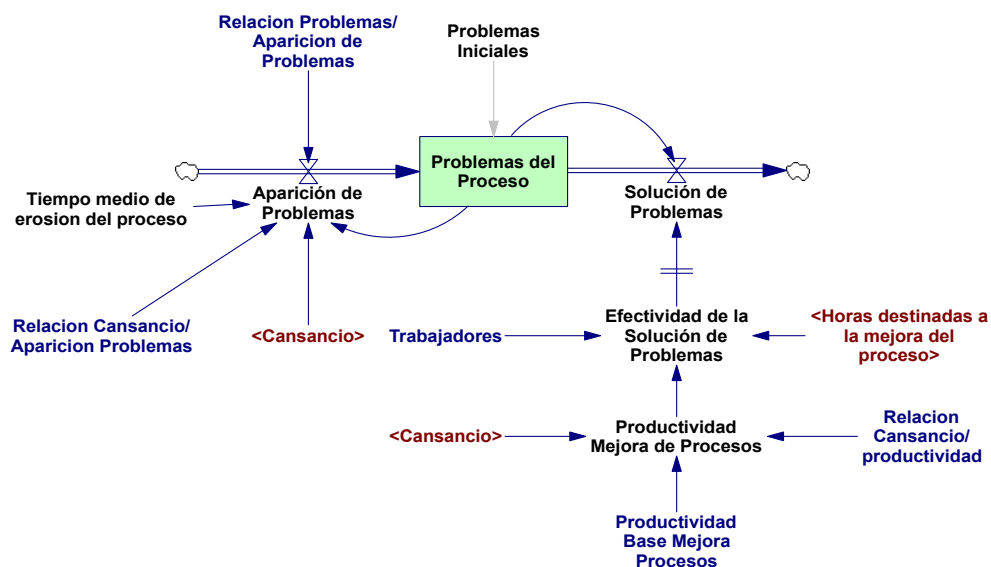
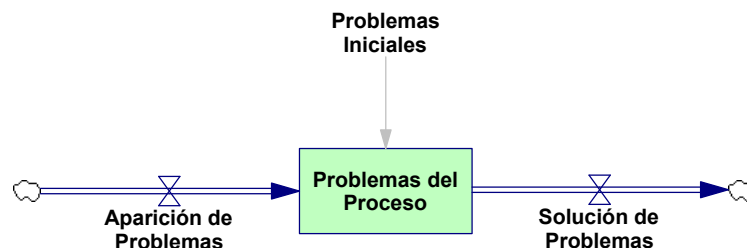


Figura 8. Diagrama de flujo de los problemas del proceso.
Fuente: elaboración propia

La variable nivel “Problemas del proceso” hace referencia al porcentaje de producción que se realizará de forma defectuosa. Esta variable oscila entre 0 y 1, siendo 0 una situación en la que no se produciría ninguna unidad defectuosa, y siendo 1 aquella situación en la que todas las unidades producidas presentan defectos. En este modelo, a través de la formulación de la variable “Aparición de problemas”, hemos establecido que la cota superior de la variable “Problemas del proceso” sea 0,75, ya que una situación en la que toda la producción se realice de forma incorrecta sería irreal en la práctica. El cálculo de la variable “problemas del proceso” se realiza de la siguiente forma:

(8) Problemas del proceso = INTEG(Aparición de Problemas-Solución de Problemas, Problemas Iniciales)



*Figura 9. Diagrama de flujo de los problemas del proceso.
Fuente: Elaboración Propia*

Partiendo de unos problemas iniciales de 0,25, los problemas del proceso se incrementarán a través del flujo de entrada “Aparición de problemas”. Esta variable está modelizada siguiendo el modelo de difusión de Bass. Bass (1969, p. 226) afirma que la probabilidad de compra en cualquier momento está relacionada con el número previo de compradores, dando lugar a un crecimiento exponencial inicial de las compras que, tras alcanzar un máximo, irá seguido de una caída exponencial. Este modelo puede ser aplicado a los problemas del proceso. Imaginemos un coche que represente el proceso productivo. Mientras los elementos del coche no presenten problemas, es poco probable que surjan problemas. No obstante, en el momento de que uno de los componentes del coche comience a fallar , como podría ser un pistón, el resto de pistones tendrán que realizar un sobreesfuerzo, por lo que es más probable que comiencen a fallar también.

Los problemas del proceso se reducen a través del flujo de salida “Solución de Problemas”:

$$(9) \text{ Solución de problemas} = \min(\text{DELAY3}(\text{Efectividad de la Solución de Problemas}, 8), \text{Problemas del Proceso})$$

La solución de problemas vendrá determinada por la efectividad de los programas de mejora de procesos, tras el correspondiente retraso existente, fijado en 8 semanas, y formulado a través de la función DELAY3. Se introduce la función MIN, que devuelve el mínimo entre dos argumentos, con el objetivo de evitar que la solución de problemas sea superior al número de problemas existentes.

Por último, la variable “efectividad de la solución de problemas” hace referencia al conjunto de problemas que son solucionados semanalmente por los empleados. Su formulación sigue la misma lógica que la formulación de la variable “output bruto”:

$$(10) \quad \text{Efectividad de la solución de problemas} = \text{Productividad Mejora de Procesos} * \text{Horas destinadas a la mejora del proceso} * \text{Trabajadores}$$

1.5.3 Horas extra y cansancio

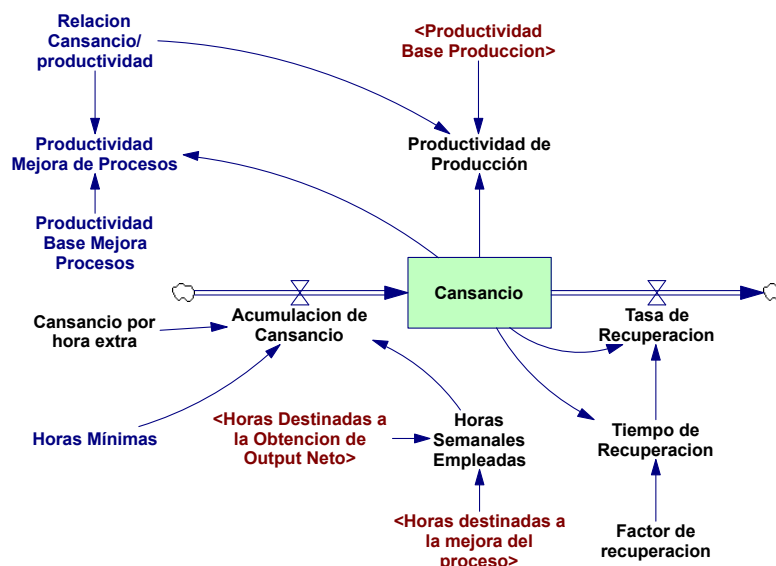
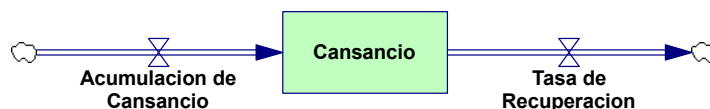


Figura 10. Diagrama de flujo del cansancio.
Fuente: elaboración propia.

Para esta sección , nos apoyaremos en el modelos propuesto por García Rodríguez, (s.f. (b)). Cuando se hace uso de horas extraordinarias, uno de los efectos contraproducente es la fatiga de los trabajadores, representada a través de la variable adimensional “Cansancio” con la siguiente ecuación:

$$(11) \quad \text{Cansancio} = \text{INTEG} (\text{Acumulación de Cansancio-Tasa de Recuperación}, 0)$$



*Figura 11. Diagrama de flujo del cansancio.
Fuente: elaboración propia*

Dado un cansancio inicial de 0 puntos, éste se incrementará a través del flujo de entrada “Acumulación de Cansancio”. Este flujo aumentará cuando la variable “horas semanales empleadas” (suma de horas destinadas al output neto y horas destinadas a la mejora de procesos), sea superior a la variable “horas mínimas”, que hace referencia al número mínimo de horas que, por contrato, los trabajadores deben trabajar (40 horas semanales). En otras palabras, la acumulación de cansancio aparecerá cuando se recurra al uso de horas extras, siendo esta acumulación el producto de las horas extra y el “cansancio por hora”, fijado en 1 punto por hora extra:

$$(12) \quad \text{Acumulación de cansancio} = \text{Cansancio por hora extra} * (\text{Horas Semanales Empleadas-Horas Mínimas})$$

El cansancio se reduce a través del flujo de salida “tasa de recuperación”. Esta tasa dependerá tanto de nivel de “cansancio” como de la variable “tiempo de recuperación”, que hace referencia al tiempo necesario para reducir el cansancio en los trabajadores. Su formulación es la siguiente:

$$(13) \quad \text{Tasa de recuperación} = \text{Cansancio/Tiempo de Recuperación}$$

La variable “Tiempo de recuperación” dependerá del nivel de cansancio de los trabajadores a través de una relación positiva no lineal recogida en la variable “Factor de recuperación”:



Figura 12. Factor de Recuperación.
Fuente: elaboración Propia

Las consecuencias de un aumento del nivel de cansancio son dos:

1. Una caída de la productividad, tanto de la mejora de procesos como del trabajo, debido a la fatiga acumulada, y modelizada con la variable “Relación Cansancio - Productividad”:

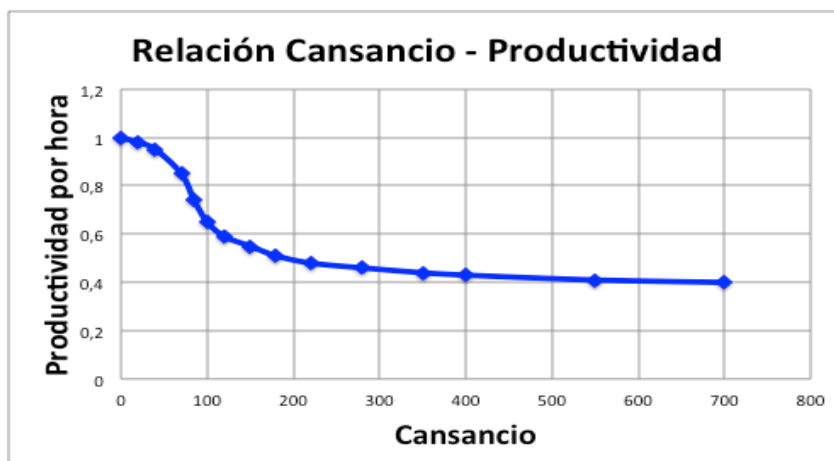


Figura 13. Relación Cansancio – Productividad.
Fuente: elaboración propia

2. Una mayor aparición de problemas en el proceso, debido al mal uso del equipamiento de producción por parte de los trabajadores fatigados,

aumentando con ello las posibilidades de que aparezcan nuevos problemas. Se modeliza con la variable “Relación Cansancio - Aparición Problemas”:

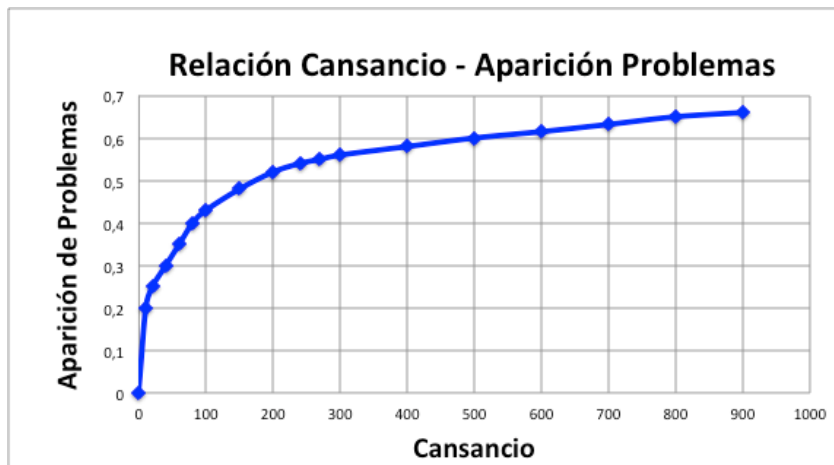


Figura 14. Relación Cansancio - Aparición Problemas.
Fuente: elaboración propia

1.5.4 La asignación de recursos

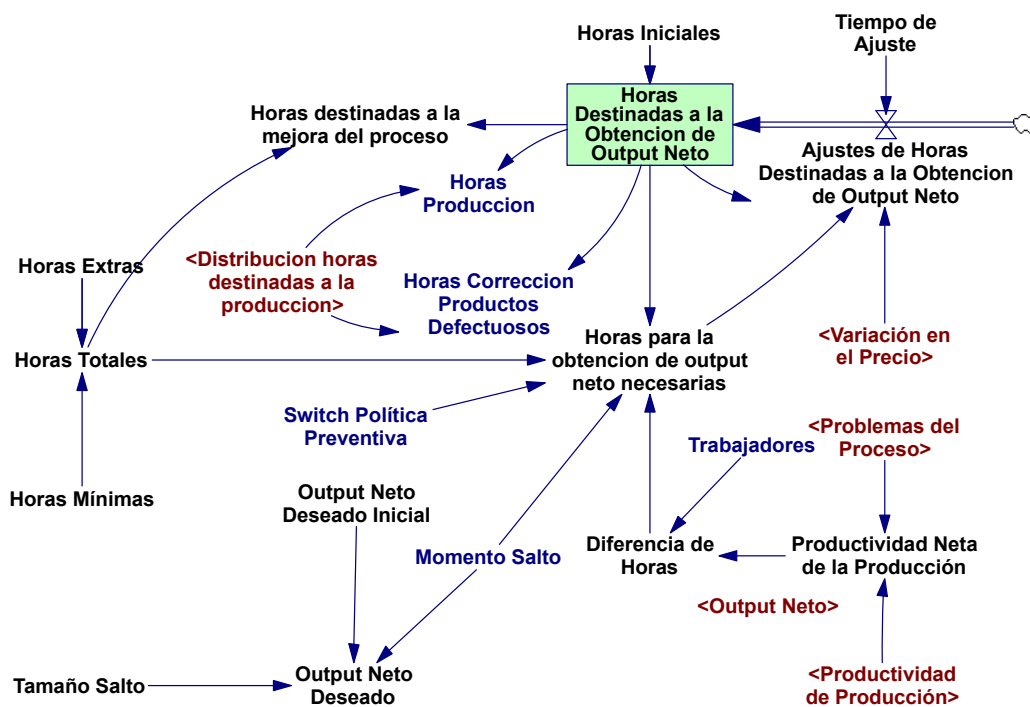


Figura 15. Diagrama de flujo de la asignación de recursos.
Fuente: elaboración propia.

El punto de partida del problema que estamos analizando se encuentra en un salto en el output neto deseado, que hace que los encargados del proceso productivo deban realizar un ajuste en los recursos para hacer frente al nuevo output neto deseado. En el modelo propuesto en este trabajo, formulamos este hecho con la siguiente ecuación:

$$(14) \quad \text{Output Neto Deseado} = \text{Output Neto Deseado Inicial} + \text{STEP}(\text{Tamaño Salto}, \text{Momento Salto})$$

El output neto deseado será, inicialmente, igual a la variable “Output Neto Deseado Inicial”, fijada en 15000 unidades semanales. Posteriormente, a través de la función STEP fijamos un salto permanente del output neto deseado que se producirá en el instante “Momento Salto”, fijado en el instante 10, y tendrá una magnitud igual a la variable “Tamaño Salto”, fijada en 7500 unidades (50% del output neto deseado inicial).

A partir de este output neto deseado, obtenemos la variable “diferencia de output” como la resta entre el output neto deseado y el output neto actual.

La política predeterminada de este modelo es la de hacer frente a la diferencia de output neto a través de un incremento de las horas destinadas al output neto. Por tanto, una vez conocida la diferencia de output podemos saber cuánto deben variar las horas destinadas al output neto de cada trabajador para alcanza el output neto deseado, a través de la siguiente ecuación:

$$(15) \quad \text{Diferencia de horas} = \text{Diferencia de Output Neto} / (\text{Productividad Neta del Trabajo} * \text{Trabajadores})$$

Tras obtener esta diferencia de horas, los encargados pueden calcular la variable “Horas para la obtención de output neto necesarias”, a través de la siguiente ecuación:

$$(16) \quad \text{Horas para la obtención de output neto necesarias} = \text{MAX}(0, \text{min}(\text{Horas Totales}, \text{Diferencia de Horas} + \text{Horas destinadas al output neto}))$$

La función MAX, que devuelve el máximo entre dos argumentos, sirve para evitar la aparición de horas necesarias negativas, lo cual carece de sentido real. El número de

horas destinadas al output neto necesarias será igual a la suma de las horas que están siendo destinadas al output neto y la diferencia de horas comentada en la (15), con el límite del número máximo de horas semanales por empleado (40 horas semanales), modelizado a través de la función MIN.

Una vez conocidas las horas que deben ser destinadas al output neto, los encargados pueden realizar el ajuste en las horas que están siendo destinadas a tal fin. No obstante, este ajuste no se realizará de forma inmediata, sino que se incorporará un tiempo de ajuste con el objetivo de alisar el cambio en la distribución:

$$(17) \quad \text{Ajuste de horas destinadas al output neto} = (\text{Horas para la obtención de output neto necesarias} - \text{Horas destinadas al output neto}) / \text{Tiempo de Ajuste}$$

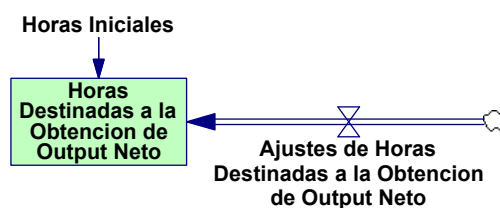


Figura 16. Diagrama de flujo Horas al Output Neto.
Fuente: Elaboración Propia

Las horas destinadas al output neto, inicialmente serán determinadas por la variable “Horas Iniciales”, fijada en 20 horas semanales por trabajador, y posteriormente variarán en función del ajuste de horas comentado en la (17):

$$(18) \quad \text{Horas destinadas al output neto} = \text{INTEG}(\text{Ajustes de Horas destinadas al output neto}, \text{Horas Iniciales})$$

Como hemos comentado en el marco teórico de este trabajo, las horas destinadas al output neto se repartirán entre horas de producción y horas de corrección de productos defectuosos. Esta repartición, como veremos en el apartado siguiente, dependerá de la política que se esté aplicando.

Por último, a partir de las horas destinadas al output neto, podemos calcular la variable “Horas destinadas a la mejora de procesos” a través de la ecuación:

$$(19) \quad \text{Horas destinadas a la mejora de procesos} = \text{Horas Totales} - \text{Horas destinadas al output neto}$$

1.5.5 Políticas aplicables

En este trabajo se han propuesto cuatro políticas para hacer frente a la diferencia de output neto:

1. Política de producción
2. Política de corrección de productos defectuosos
3. Política de horas extra
4. Política preventiva

1.5.5.1 Política de producción

En la política de producción se hace frente a la diferencia de output neto a través de un aumento del número de horas destinadas a la producción. Para ello, partiremos del modelo predeterminado explicado en las ecuaciones 1-19. Una vez determinadas las horas destinadas al output neto, todas serán destinadas a la producción, obviando con ello la corrección de productos defectuosos. Las horas destinadas al output neto se reparten de la siguiente forma:

$$(20) \quad \text{Horas Producción} = \text{Horas destinadas al output neto}$$

$$(21) \quad \text{Horas Corrección Productos Defectuosos} = 0$$

1.5.5.2 Política de corrección de productos defectuosos

En esta política, ante una diferencia de output neto, los encargados optarán por corregir todos los productos defectuosos, asignando a la producción la parte restante de las horas destinadas al output neto disponibles. Para modelizar esta política, partiendo del modelo inicial, se establecerán las siguientes ecuaciones para distribuir las horas destinadas al output neto:

$$(22) \quad \text{Horas Producción} = \text{Horas destinadas al output neto} * (1 - \text{Distribucion horas destinadas a la producción})$$

(23) **Horas Corrección Productos Defectuosos = Horas destinadas al output neto * Distribución horas destinadas a la producción**

(24) **Distribución horas destinadas a la producción= 0 + STEP (Sensibilidad Política Correctiva * "Relación Productos Defectuosos - Horas Corrección" (Productos Defectuosos) * Productividad Base del Trabajo/ Productividad Neta del Trabajo, Momento Salto)**

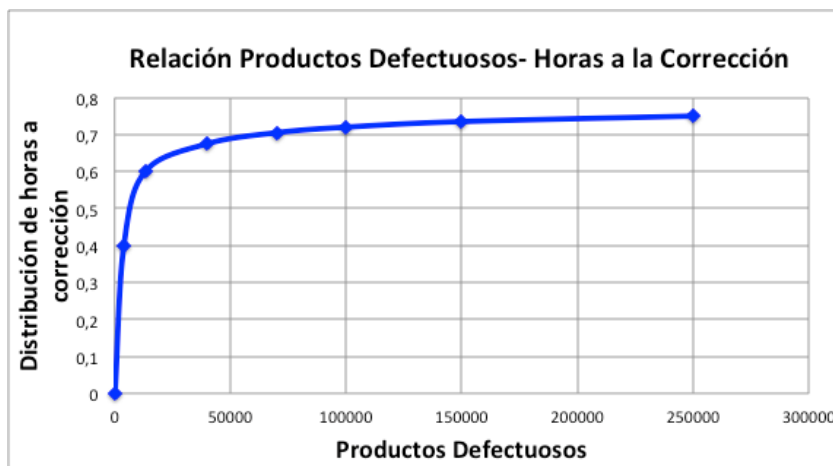


Figura 17. Relación Productos Defectuosos - Horas a la Corrección.
Fuente: elaboración propia

Inicialmente la variable “distribución horas destinadas a la producción” toma el valor 0, por lo que todas las horas destinadas al output neto son destinadas a la producción. No obstante, en el momento en que se produzca el salto en el output neto deseado, se producirá un cambio en dicha distribución que se regulará con la relación entre los productos defectuosos y las horas a la corrección representada en la Figura 17. Se incorpora el cociente de “Productividad Base del Trabajo” y “Productividad Neta del Trabajo” para regular el hecho de que, si cae la productividad neta, será necesario destinar más horas a la corrección de defectos para alcanzar el mismo número de corrección de productos. Por último, la sensibilidad de la política (que indica el porcentaje de implementación de la política, variando entre 0 -no aplicación- y 1 – aplicación total-) se establece en 1, con el objetivo de reflejar una aplicación total de la política.

1.5.5.3 Política de horas extra

En esta política se utilizarán horas extra para subsanar la diferencia de output neto, destinándose estas horas extra a la producción. Por motivos de limitación de extensión del trabajo, no analizaremos el uso de horas extra destinadas a la corrección de productos defectuosos o a la mejora de procesos, ya que, tras las correspondientes simulaciones, se ha comprobado que los comportamiento que generan dichas combinaciones de políticas son muy similares a los generados por la política elegida. Para la simulación de esta política, deberemos usar las siguientes ecuaciones:

$$(25) \quad \text{Horas Extra} = \text{"Relación Horas Extra - Diferencia Output Neto"} \cdot (\text{Diferencia de Output Neto}) \cdot \text{Sensibilidad Políticas Horas Extra}$$

$$(26) \quad \text{Horas Totales} = \text{Horas Mínimas} + \text{Horas Extras}$$

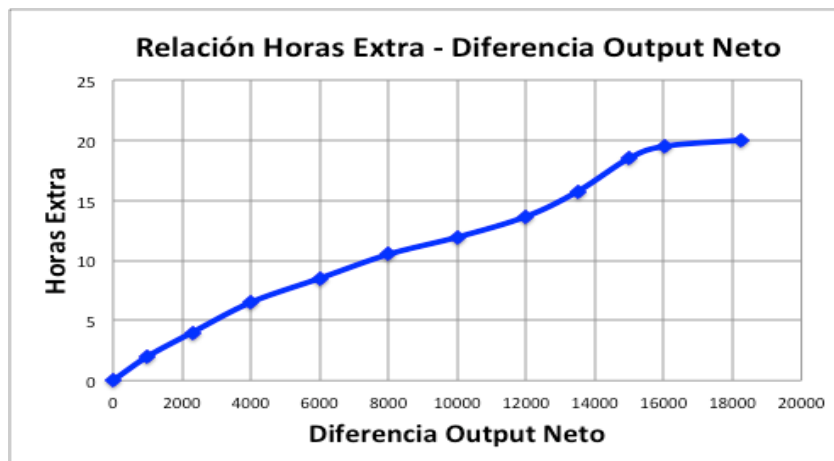


Figura 18. Relación Horas Extra - Diferencia Output Neto.
Fuente: elaboración propia

Una vez se produce la diferencia de output neto, a través de la variable "Relación horas extra/diferencia output neto" se introduce el uso de horas extra, que aumentará el número de horas totales que pueden ser utilizadas por encima de las 40 horas semanales iniciales fijadas a través de la variable "Horas Mínimas". Con ello, lo que se logra es incrementar en la ecuación (16) el límite máximo de 40 horas semanales por empleado que podían ser destinadas al output neto. Igual que en la política correctiva, se establece una sensibilidad de 1 para observar los efectos del uso pleno de la política.

1.5.5.4 Política preventiva

La política preventiva consiste en hacer frente a la diferencia de output neto a través de un aumento de las horas destinadas a la mejora de procesos. Para ello, sobre el modelo predeterminado se modifican las siguientes ecuaciones:

(27) **Horas destinadas al output neto necesarias = MAX (0, min(Horas Totales - Sensibilidad Política Preventiva * STEP(Horas destinadas a la mejora de procesos necesarias, Momento Salto), Diferencia de Horas + Horas destinadas al output neto))**

(28) **Horas destinadas a la mejora de procesos necesarias = "Relación Efectividad - Horas Mejora"(Efectividad de Producción Bruta)**

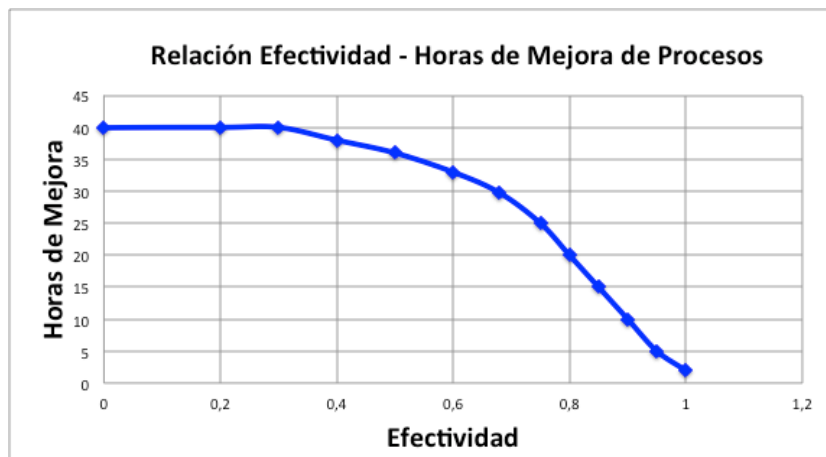


Figura 19. Relación Efectividad - Horas de Mejora de Procesos.
Fuente: elaboración propia

A través de estas ecuaciones establecemos que, en el momento que se produzca la diferencia de output neto, se incrementen la variable "Horas destinadas para la mejora de procesos necesarias" hasta alcanzar una efectividad cercana a 1 (donde no se produzcan productos defectuosos). En la medida en que la efectividad se acerque a 1, se reducirán las horas necesarias para la mejora de procesos, aumentando con ello las horas destinadas al output neto. Supondremos una sensibilidad de la política igual a 1 con el fin de comprobar los efectos de su aplicación plena.

2. Simulación del problema

Tras explicar el problema al que nos enfrentamos, las relaciones entre las variables existentes a través tanto del diagrama causal como del diagrama de flujo, y las posibles políticas que pueden aplicarse para solucionarlo, procederemos a la simulación de los resultados que se obtendrían con dichas políticas.

2.1. Situación de equilibrio

En primer lugar, analizaremos una situación de equilibrio en la que no se produce una variación en el output neto deseado, por lo que éste se mantendrá constante en 15000 unidades semanales. Lo que se busca es comprobar que, en caso de que no se produzcan cambios, el sistema es estable, y, por tanto, los encargados no realizarán ningún ajuste en la distribución de las horas disponibles. Al mantenerse dicha distribución constante, el output bruto debería mantenerse constante, no debería aumentar el número de problemas en el proceso debido al número constante de horas destinadas a la solución de problemas y, por lo tanto, el output neto se debería mantener constante.

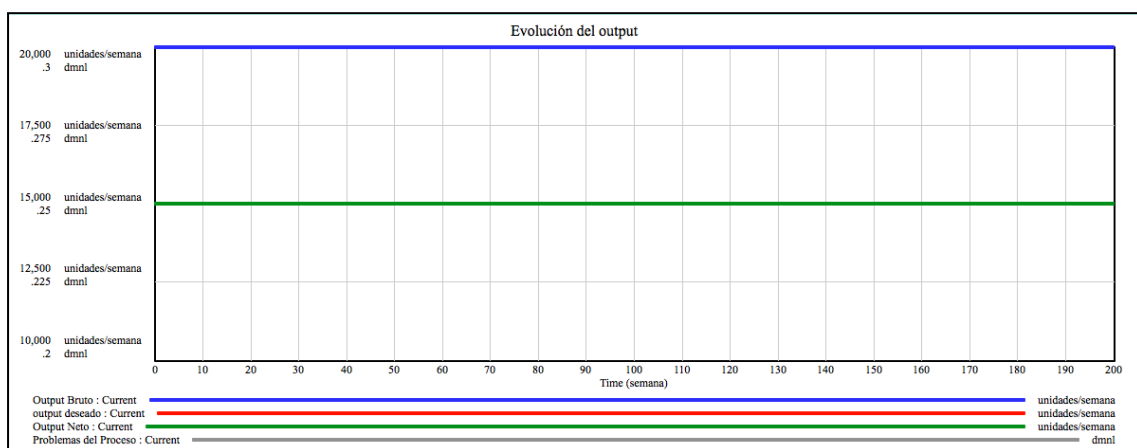


Figura 20. Evolución del output en equilibrio.
Fuente: Fuente: elaboración propia.

Una vez demostrado esa estabilidad del sistema, podremos afirmar que las alteraciones en el equilibrio del sistema que aparecerán al aplicar diferentes políticas son consecuencias de dichas políticas y no de una incorrecta elaboración del modelo.

Con el fin de reducir el número de políticas aplicables y ajustarnos a los límites de extensión marcados, supondremos que inicialmente no se destinan recursos a la corrección de productos defectuosos. Con ello, conseguimos encontrarnos ante un trade-off horas de producción – horas de mejora de procesos, en lugar de ante una situación donde un aumento de las horas de mejora de procesos podría lograrse tanto a través de una reducción de las horas de producción como a través de una reducción de las horas de corrección de productos defectuosos. Por ello, el nivel de productos defectuosos en la situación de equilibrio aumentará de forma constante.

2.2 Simulación de las políticas propuestas

Una vez comprobada la estabilidad del modelo en equilibrio, procederemos a simular un salto en el output neto deseado del 50%, situándose el nuevo output neto deseado en 22500 unidades semanales a partir del momento 10. Para hacer frente a este salto, simularemos las diferentes políticas propuestas.

2.2.1 Política de producción

La primera política que simularemos será la de tratar de alcanzar el nuevo output neto deseado a través de un incremento de los recursos destinados a la producción.

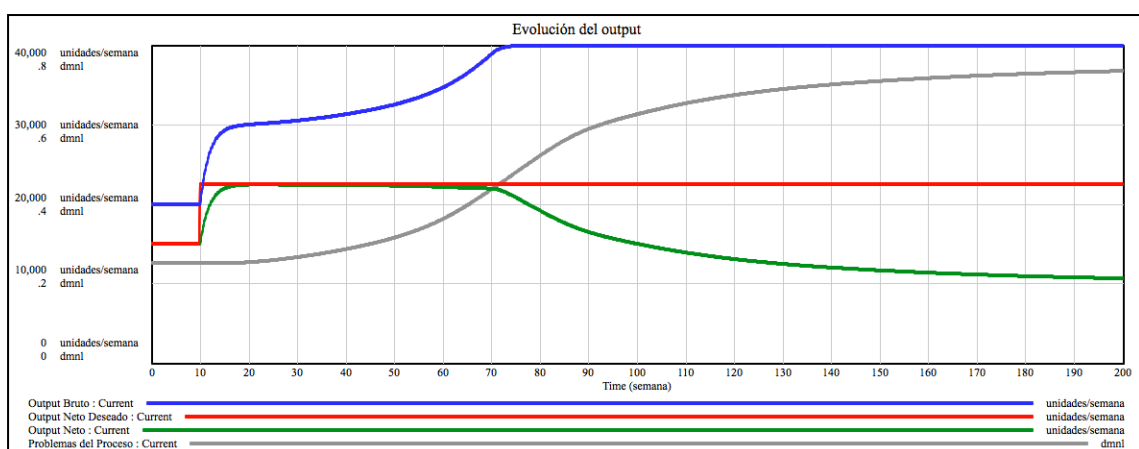


Figura 21. Evolución del output con política de producción.
Fuente: Fuente: elaboración propia

Como se puede ver en la Figura 21, al destinar más horas a la producción se consigue obtener un output bruto superior que permite, en el instante 15, alcanzar el output neto deseado y, con ello, eliminar la diferencia de output neto. La política ha sido efectiva, por lo que los encargados del proceso productivo concluirán que, en caso de que vuelva a surgir una nueva diferencia de output neto, deberá volverse a aplicar la misma política, cayendo en el bucle de confirmación de la atribución errónea comentado en el marco teórico.

Si observamos conjuntamente la curva que representa el output neto y la curva que representa el output bruto, podemos apreciar cómo a partir del instante 20, la distancia que existe entre ambas curvas es cada vez mayor. La razón de este hecho se encuentra en el incremento de los problemas del proceso, que da lugar a la realización de más productos defectuosos y, por tanto, a una caída de la efectividad de la producción bruta (definida en la ecuación (4)).

La cuestión a plantearnos es, ¿por qué han aumentado los problemas del proceso? La causa se encuentra en el carácter finito de los recursos de la empresa. Para destinar una mayor cantidad de horas a la producción, ha sido necesario reducir el número de horas destinadas a la mejora de procesos, tal y como podemos apreciar en la Figura 22. Al destinar menos recursos a la mejora de procesos, y tras un retraso, se solucionarán menos problemas, lo que provocará que el número de problemas aumente. Además, dada el modelo de difusión de Bass definido para la aparición de problemas, y dado el bajo número de problemas iniciales, en el momento en que se incremente el número de problemas, el ritmo de aparición de nuevos problemas aumentará, dando lugar a un incremento aún mayor del número de problemas.

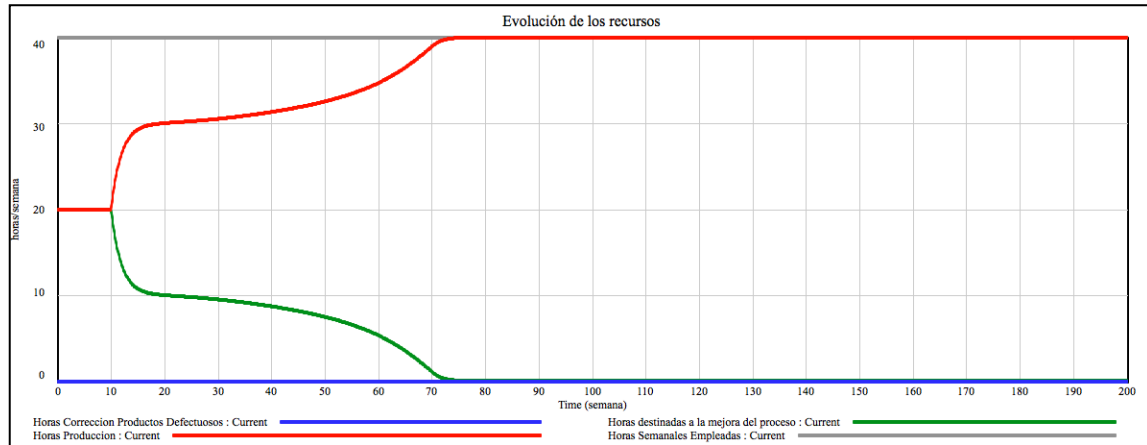


Figura 22. Distribución de horas con política de producción.
Fuente: elaboración propio

Al aumentar el número de problemas existentes y, por tanto, al caer la efectividad del procesos, se deberán destinar cada vez más horas a la producción para seguir produciendo el mismo output neto, reduciendo el número de horas destinadas a la mejora de procesos y aumentando aún más el número de problemas.

A pesar de ser una política efectiva en el corto plazo, en el largo plazo podemos apreciar cómo, a partir del instante 55, el output neto empieza a disminuir, incluso cuando el output bruto continúa aumentando. Ante esta caída del output neto, los encargados volverán a aplicar la política que les dio resultado en un primer momento: destinar más recursos a la producción. Este hecho se representa en la Figura 22, en el momento 55 a través del incremento de la pendiente de la curva de horas destinadas al output neto.

La consecuencia de esta política es la entrada en la trampa de la capacidad, donde, como podemos apreciar, se cumplen las condiciones señaladas por Repenning & Sterman (2001, p.79): “el output neto es bajo, la presión hacia la producción es alta, y el tiempo disponible que se puede dedicar a la revisión de procesos es mínima”, y comentadas en el marco teórico de este trabajo.

2.2.2 Política de corrección de productos defectuosos

A continuación simularemos el resultado que tendría la aplicación de una política donde la respuesta a un aumento del output neto deseado sea el destinar recursos a la corrección de los productos defectuosos existentes.

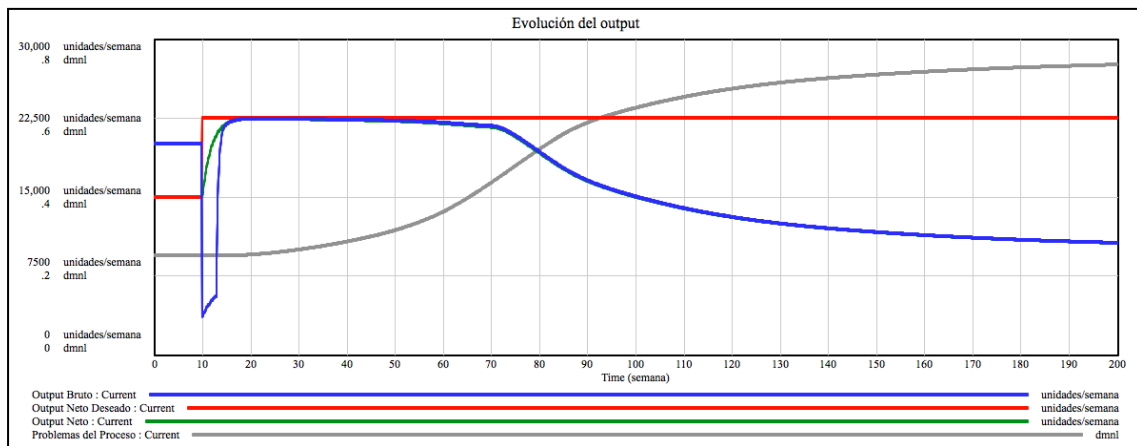


Figura 23. Evolución del output con política correctiva.
Fuente: elaboración propia

Como podemos observar en la Figura 23, el comportamiento del output neto generado es el equivalente al obtenido al aplicar la política de producción. La principal diferencia con la política anterior se encuentra en el output bruto: tras el aumento del output neto deseado, el output bruto se reduce drásticamente, ya que los encargados del proceso deciden reducir los recursos que estaban siendo destinados a la producción, destinándolos ahora a la corrección de productos defectuosos. Sin embargo, el output neto no sufre una caída, debido a que, si bien el output bruto ha disminuido, se han seguido produciendo unidades que pueden ser puestas a la venta a través de la reparación de unidades defectuosas.

Una vez todas las unidades defectuosas han sido reparadas, se volverán a destinar horas a la producción (aumentando así el output bruto), manteniendo siempre un mínimo de horas destinadas a la corrección de productos defectuosos con el fin de eliminar todo producto defectuoso que se fabrique.

En este modelo se ha supuesto que el ritmo de reparación de productos defectuosos es igual al de producción neta de unidades, lo que provoca que la curva output neto sea igual que a la generada en la política de producción. Esto hará, por

tanto, que los recursos destinados al output neto, al depender de la diferencia de output neto, sigan también la misma dinámica, dando lugar así a un comportamiento del número de horas destinadas a la mejora de procesos igual al generado en la política de producción. Por ello, la curva de problemas presenta de igual manera la misma forma.

La diferencia con respecto a la política de producción se encuentra en la repartición de las horas destinadas al output neto entre horas destinadas a la producción y horas destinadas a la reparación de productos defectuosos. La dinámica de repartición de horas la podemos observar en la Figura 24.

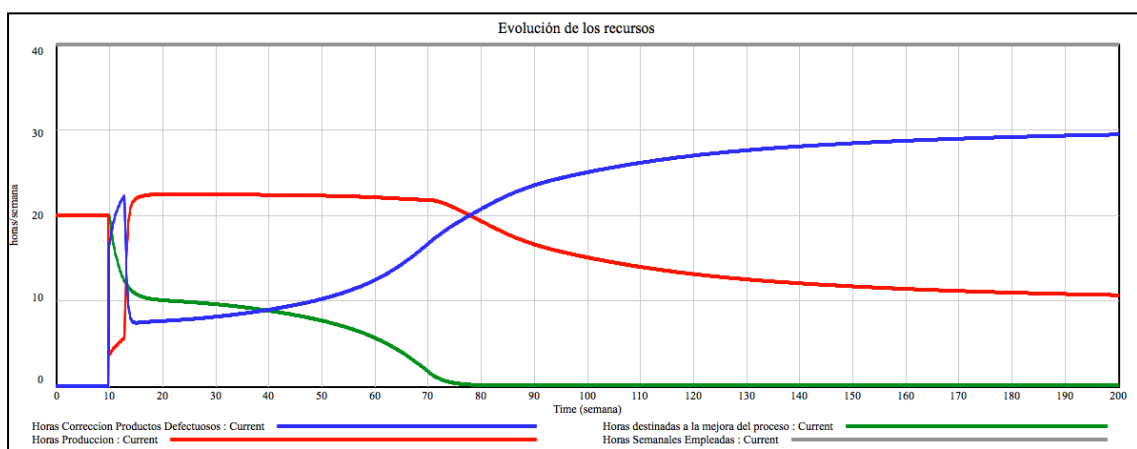


Figura 24. Distribución de horas con política correctiva.
Fuente: elaboración propia

Aunque cada vez el proceso presenta más problemas y, por tanto, más productos defectuosos son creados, esta política corrige todos estos productos defectuosos, haciendo que output neto y output bruto sean iguales. En la Figura 25 podemos observar cómo, tras el aumento de productos defectuosos comentado en la situación de equilibrio, a partir del momento 10 (momento del cambio en el output neto deseado), el número de productos defectuosos se reduce. Dichos productos defectuosos nunca tocarán el valor cero ya que constantemente se estarán produciendo nuevos productos defectuosos. Sterman J. D. (2000, p. 192) señala al respecto: “Los niveles crean retrasos a través de la acumulación de la diferencia entre el flujo de entrada del proceso y el flujo de salida”

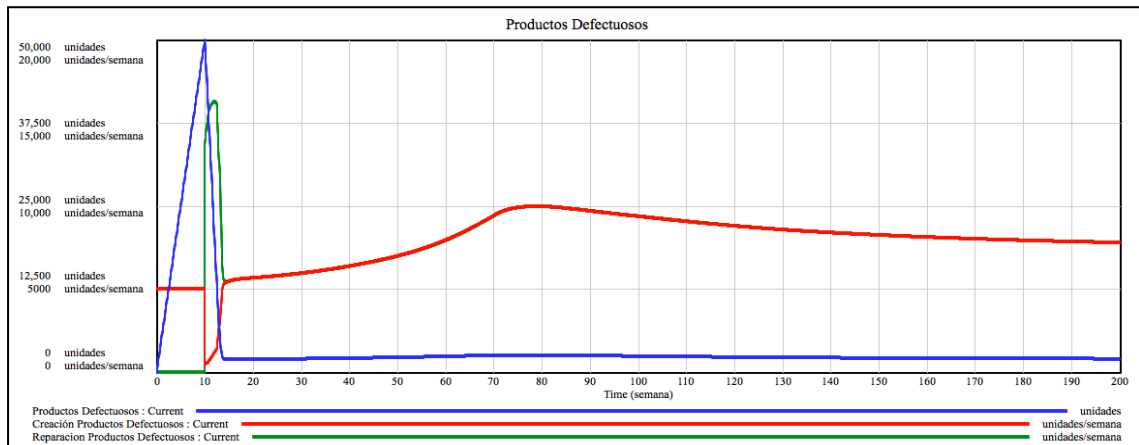


Figura 25. Productos defectuosos con política correctiva.
Fuente: elaboración propia

Los encargados del proceso productivo podrían pensar que, al corregirse todos los productos defectuosos y, por tanto, coincidir output neto y output bruto, los problemas del proceso son irrelevantes, ya que no existirán productos defectuosos. No obstante, el crecimiento del número de problemas en el proceso provocará una caída en la productividad neta (ecuación (6)), lo que provocará una caída de la efectividad de la reparación de productos defectuosos (ecuación (5)) y, por tanto, será necesario destinar más horas a la reparación de productos defectuosos para obtener el mismo nivel de efectividad. La consecuencia final será una reducción del número de horas destinadas a la producción, tal y como podemos observar en la Figura 24, lo que dará lugar a una caída del output bruto y, con ello, una caída del output neto.

Nos encontramos, nuevamente, ante una situación en la que hemos caído en la trampa de la capacidad.

2.2.3 Política de horas extra

La tercera política que simularemos será la de hacer uso de horas extra cuando aparece una diferencia de output neto.

En un principio, podríamos pensar que, al poder hacer uso de horas extra para aumentar las horas destinadas a la producción sin reducir las horas destinadas a la mejora de procesos, podría lograrse alcanzar el output neto deseado sin que aumentasen los problemas del proceso, logrando con ello un aumento sostenible del output neto. Sin embargo, hacer uso de forma continuada de las horas extra con el

objetivo de destinarlas a la mejora de proceso implica realizar una inversión económica (en forma de recargo en el coste horario unitario) a cambio de una intangible y posible, pero no cierta, mejora en el proceso. Como hemos visto en el marco teórico, los encargados son aversos al riesgo y a los resultados intangibles, por lo que no harán una inversión financiera a través del uso de horas extra a no ser que sea para destinarlas a la producción.

La dinámica generada al usar horas extra, tal y como podemos observar en la Figura 26, es muy similar a la conseguida con la política de producción. Aunque en el corto plazo se logra alcanzar el output neto a través de un aumento del output bruto (llegando incluso a obtenerse entorno al período 80 un output bruto superior al máximo de 40.000 unidades semanales logrado con la política de producción), en el largo plazo tanto el output neto como el output bruto se reducen, no consiguiendo alcanzar el objetivo de output neto deseado.

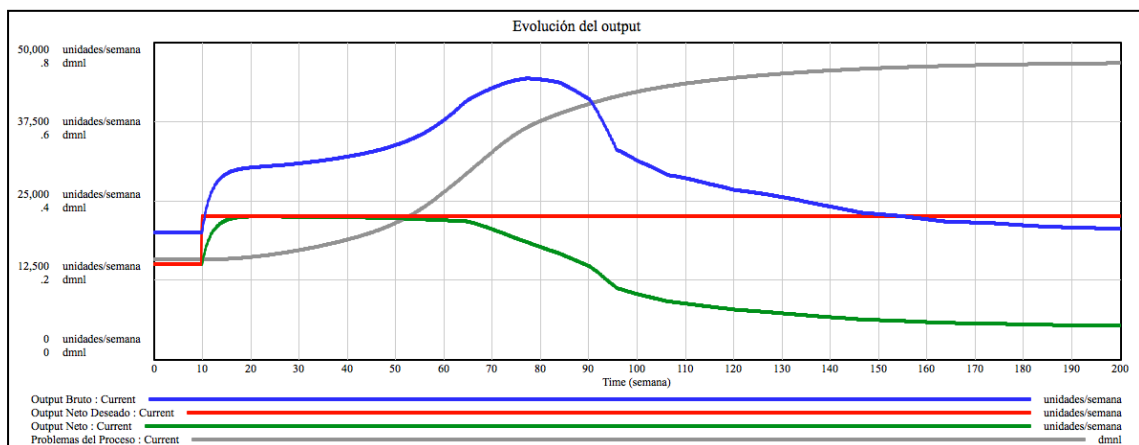


Figura 26. Evolución del output con horas extra.
Fuente: elaboración propia

Una de las primeras causas que podríamos pensar viendo esta dinámica de comportamiento es que se, a partir del período 80, la caída del output bruto viene representada por una reducción del número de horas destinadas a la producción. Sin embargo, tal y como podemos apreciar en la Figura 27, el número de horas destinadas a la producción no ha parado de aumentar, hasta llegar al tope máximo de 60 horas semanales.

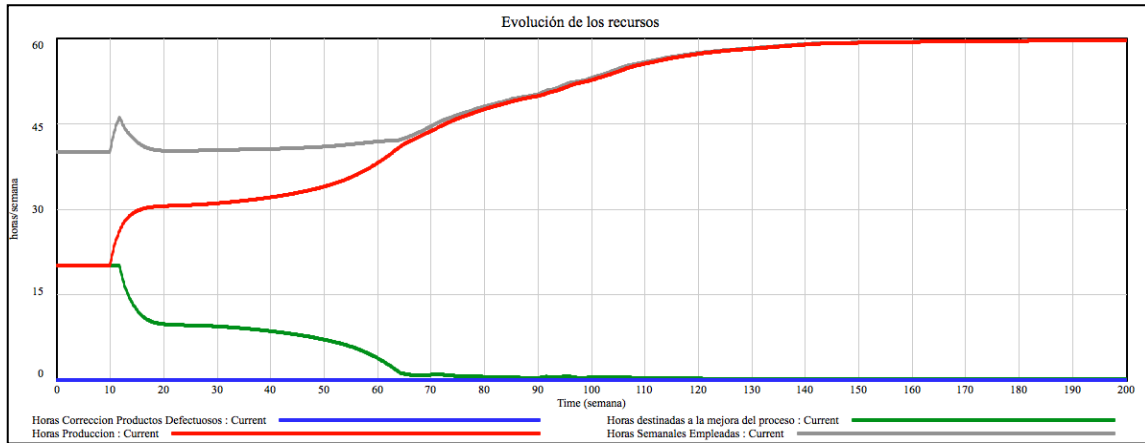


Figura 27. Distribución de horas con horas extra.
Fuente: elaboración propia

En esta misma figura puede apreciarse cómo, una vez alcanzado el output neto deseado, el número de horas semanales empleadas se reduce al haberse logrado el objetivo. Para poder mantener el nivel de output neto que se está produciendo, esta reducción del número de horas semanales deberá ser realizada a través de una reducción del número de horas destinadas a la mejora de procesos, provocando con ello un aumento del número de problemas, y dando lugar a la dinámica en la distribución de las horas comentada anteriormente en la política de producción.

Una vez demostrado que la caída del número de horas destinadas a la producción no es la causa de la caída del output bruto, procederemos a analizar el bucle de horas extra comentado en el diagrama causal: el uso de horas extra da lugar a la aparición de cansancio, lo que provocará una caída de la productividad de los trabajadores.

Para comprobar la veracidad de este bucle, observaremos la Figura 28. Tal y como podemos observar, efectivamente la acumulación de cansancio dará lugar a una caída de la productividad del trabajo hasta situarse en menos de 5 unidades semanales por trabajador, menos de un 50% del valor inicial, lo que será la verdadera causa de la caída del output bruto.

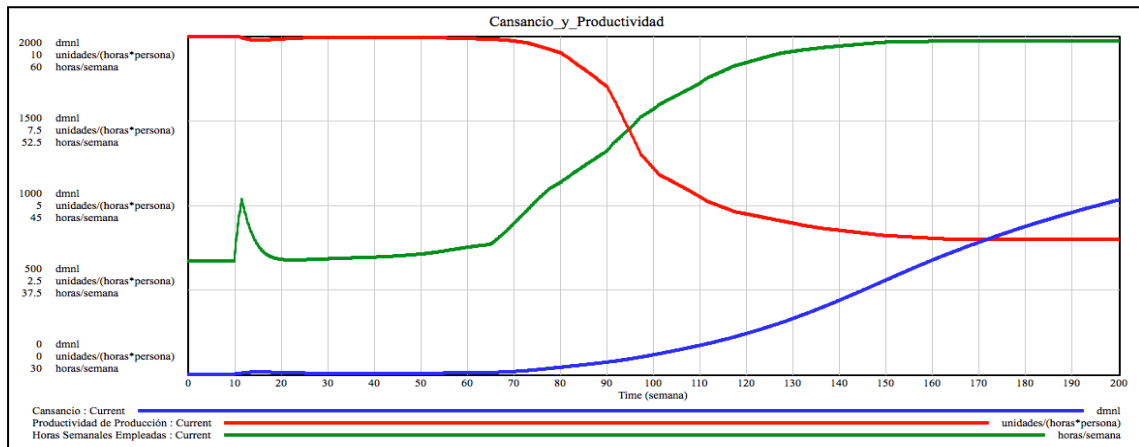


Figura 28. Cansancio, productividad y horas extra.
Fuente: Elaboración Propia

Además de ello, el uso de horas extra provocará una aceleración en la aparición de problemas, debido al uso incorrecto del equipamiento productivo fruto de la fatiga de los trabajadores. Si comparamos la Figura 26 con la Figura 21, podemos apreciar cómo el número de problemas del proceso al aplicar la política de horas extras aumenta más rápidamente que si se aplica la política de producción.

Como hemos podido comprobar, nuevamente nos encontramos ante la trampa de la capacidad, con el añadido de que la plantilla se encuentra haciendo uso de horas extra que dan lugar a un nivel muy elevado de cansancio acumulado. Para lograr reducir este cansancio acumulado sería necesario la eliminación de las horas extra, lo que provocaría, en el corto plazo, una nueva caída del output bruto y, en el largo plazo, el encontrarse en la situación descrita al aplicar la política de producción.

Retomando la cuestión que nos planteábamos al principio del apartado, en el caso de que, efectivamente, los encargados sí decidan hacer uso de horas extras para mantener las horas destinadas a la mejora de procesos, lo que se logrará será únicamente aplazar la entrada en la trampa de la capacidad. Una vez se alcance el máximo de horas extra disponibles y el output bruto (y por tanto el neto) empiecen a reducirse debido a la caída de la productividad derivada del cansancio, los encargados deberán recortar recursos de la mejora de procesos para destinarlos a la producción, entrando de nuevo en la trampa de la capacidad.

2.2.4 Política preventiva

La última política que simularemos será la política preventiva modelizada en el apartado 1.5.5.4, en la que la reacción de los encargados ante el aumento del output neto deseado será la de aumentar el número de horas destinadas a la mejora de procesos.

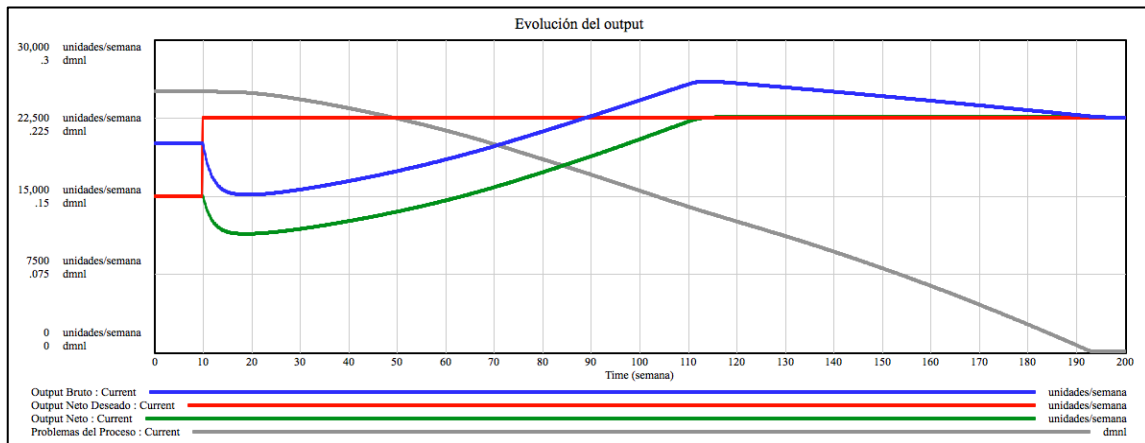


Figura 29. Evolución del output con política preventiva.
Fuente: elaboración propia

Tal y como podemos observar en la Figura 29, en el instante 10 se producirá una caída del output bruto debido a la decisión de los encargados de aumentar el tiempo destinado a la mejora de procesos y, por tanto, reducir el tiempo destinado a la producción. Esta caída del output bruto provocará, asimismo, una caída en el output neto.

En la Figura 29 podemos igualmente observar cómo en el instante 10, mientras que se produce una caída el output bruto y neto, no se produce una caída de los problemas del proceso. Esto se debe al retraso existente desde el momento en que se inicia el proceso de mejora de procesos hasta que finalmente se logra la solución de los problemas en el proceso.

Una vez los problemas del proceso empiezan a reducirse debido al aumento del número de horas destinadas a la mejora de procesos, serán necesarias menos horas para seguir reduciendo el número de problemas, ya que estos aparecerán a un ritmo menor debido a la formulación de la variable "aparición de problemas" siguiendo el

modelo de Bass. Esto permitirá aumentar el número de horas destinadas a la producción (a partir del instante 15 en la Figura 30).

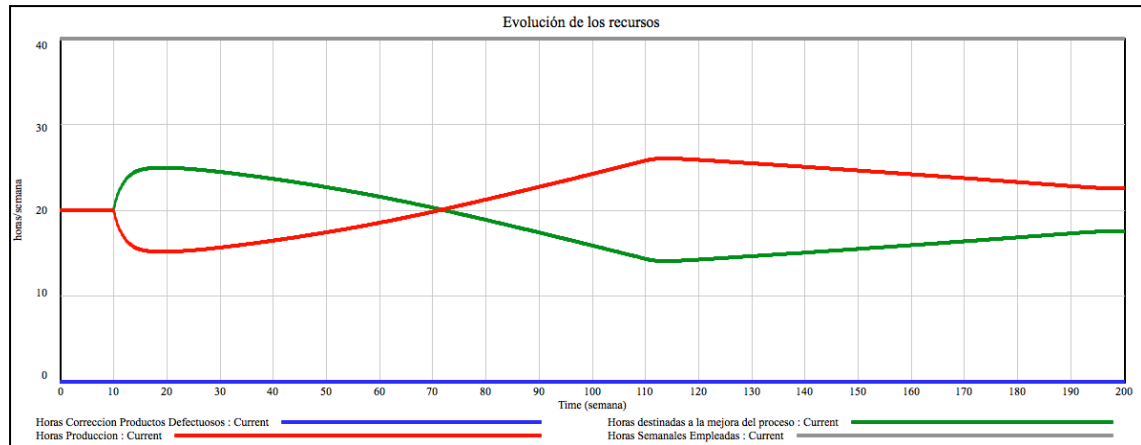


Figura 30. Distribución de horas con política preventiva.
Fuente: elaboración propia

La diferencia entre este aumento de las horas destinadas a la producción y el generado en la política de producción se encuentra en que éste es consecuencia de la política aplicada, en lugar de ser la razón de la política en sí. Por tanto, tal y como podemos apreciar en la figura 21, el aumento del número de horas destinadas a la producción dará lugar a un incremento en el output bruto y en el output neto sin que se produzca un aumento del número de problemas. Al contrario, a través de esta política se logra reducir paulatinamente los problemas del proceso hasta que desaparecen por completo.

A medida que los problemas del proceso desaparecen, se producirán menos productos defectuosos y, por tanto, más cercanas serán la curva de output bruto y output neto, igualándose en el momento en que los problemas del proceso desaparecen totalmente. Aunque, en un primer momento, observando ambas curvas podríamos pensar que se está aplicando una política correctiva de reparación de los productos defectuosos, existe un factor importante que explica la diferencia con esa política: en la política de reparación de productos defectuosos, que dichas curvas se igualen es el objetivo final de la política, de tal forma que en el momento en que dejen de destinarse recursos a la corrección de productos defectuosos se producirá inmediatamente una nueva diferencia entre output bruto y output neto. Sin embargo, al aplicar una política preventiva, el igualar el output bruto y el output neto es una consecuencia de la eliminación de los problemas del proceso, de tal forma que, si se dejasen de destinar

recursos a la mejora de procesos, la aparición de la diferencia entre output bruto y output neto se produciría de forma paulatina, a medida que surgen nuevos problemas en el proceso.

En el instante 110, si observamos la Figura 29, podemos ver cómo el output neto alcanza el output neto deseado. En ese instante, no será necesario seguir aumentando el número de horas destinadas a la producción. Al contrario, debido a que los problemas del proceso continúan disminuyendo, se podrán destinar menos horas a la producción para alcanzar el mismo output neto, permitiendo con ello destinar más horas a la mejora de procesos, lo que provocará una mayor solución de problemas y, por tanto, una caída aún mayor del número de problemas del proceso.

Nos encontramos, por tanto, en un círculo virtuoso en el que, tras una caída del rendimiento del proceso en el corto plazo, se ha logrado no sólo alcanzar el output neto deseado, sino lograr que este estado del sistema sea estable destinando paulatinamente menos horas a la producción.

2.3 Resultados financieros

A continuación procederemos a analizar las consecuencias financieras de las políticas propuestas, a través del modelo representado en el siguiente diagrama:

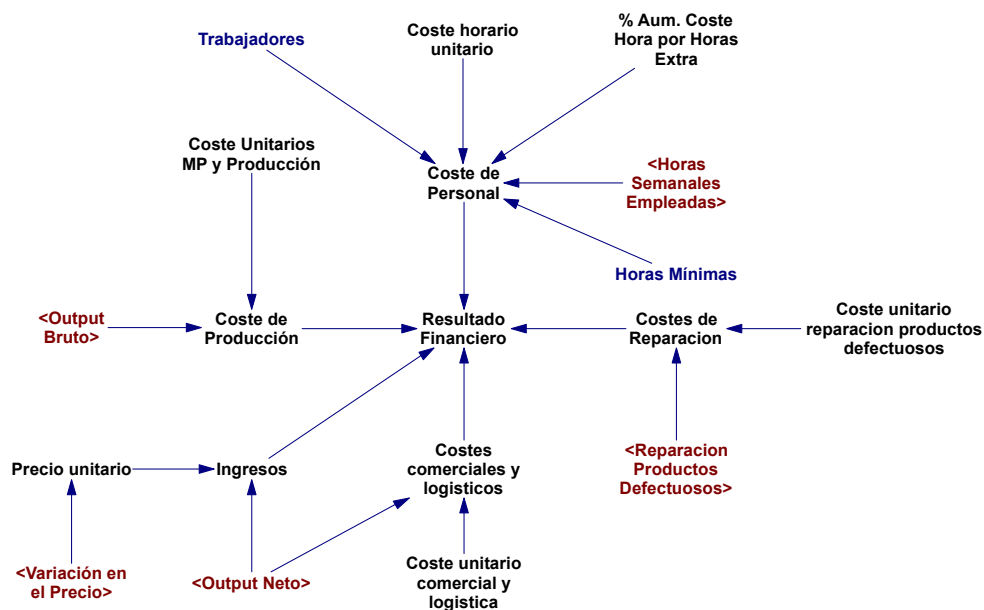


Figura 31. Diagrama de flujo de recursos financieros.
Fuente: elaboración propia

El resultado financiero se obtendrá como la diferencia entre ingresos y costes. Los ingresos, serán determinados como el producto del output neto y el precio unitario, fijado en 40 unidades monetarias. Con respecto a los costes, se han incluido los siguientes:

- **Costes de Producción:** hacen referencia a los costes en los que se incurre al producir una unidad, sea defectuosa o no, debido a gastos de materias primas, energía, amortización de la maquinaria, etc. Se obtienen multiplicando el output bruto por su coste unitario de producción, fijado en 10 unidades monetarias por unidad producida.
- **Costes de Reparación:** aparecen al corregir productos defectuosos. Para su obtención, multiplicaremos el número de productos defectuosos que son reparados por el coste unitario de reparación, fijado en 8 unidades monetarias por unidad reparada.
- **Costes de Comercialización:** hacen referencia a los costes logísticos y comerciales en los que se incurren desde que se produce una unidad no defectuosa hasta que esta es vendida. Son calculados como la multiplicación entre el output neto por un coste comercial unitario fijado en 5 unidades monetarias por unidad vendida.
- **Costes de Personal:** incluyen los salarios que se le debe pagar a los trabajadores. Se obtiene a partir de la multiplicación de los trabajadores (100) por la suma de:
 1. Coste mínimo de personal: Coste horario unitario (fijado en 15 unidades monetarias/hora) * Horas mínimas (40)
 2. Coste de horas extra: Coste horario unitario de las horas extra (fijado en un 175% del coste horario unitario, debido al recargo por el uso de horas extra establecido en diversos convenios colectivos) * Número de horas extra.

2.3.1 Simulación de los resultados financieros

Comenzaremos analizando el resultado financiero de la política de producción (Figura 32). Como hemos visto anteriormente, a largo plazo esta política da lugar a una caída en el output neto, dando lugar con ello a una caída en los ingresos y, por tanto, en los beneficios. Además, podemos apreciar cómo, debido a la caída en la efectividad, los

costes de producción aumentan aún cuando los ingresos no lo están haciendo. A largo plazo, como puede apreciarse, esta política provoca pérdidas.

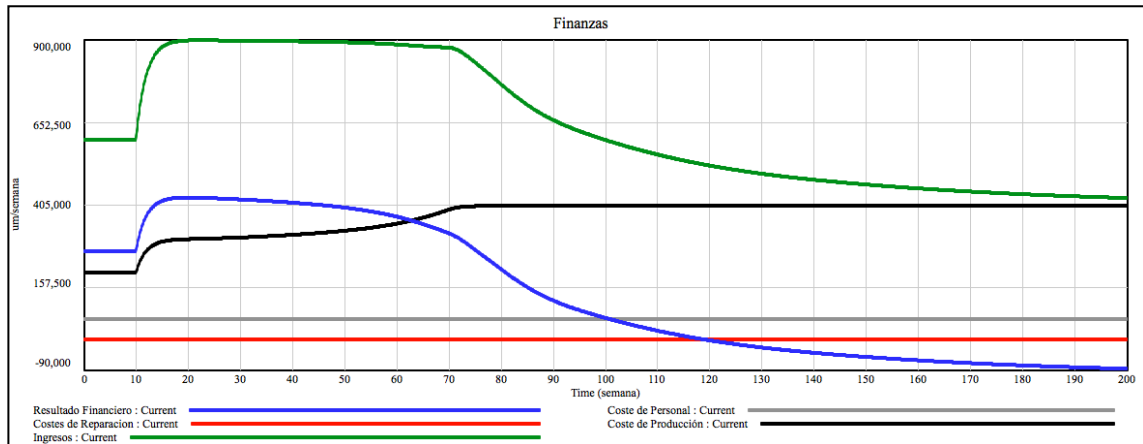


Figura 32. Finanzas política de producción.
Fuente: elaboración propia

A continuación analizaremos la política de horas extras. Como podemos observar en la Figura 33, esta política es la que peores resultados financieros proporciona. La razones de este hecho son dos: por un lado, los resultados de output neto que proporciona, tal y como hemos visto en la Figura 26, son peores que los que se obtendrían con una política de producción, por lo que los ingresos y los costes de explotación serán también más bajos que los obtenidos con esta política. Por otro lado, el uso de horas extra, da lugar a un mayor coste de personal, lo que provocará una caída del resultado financiero por debajo de cualquiera de las otras políticas aplicables.

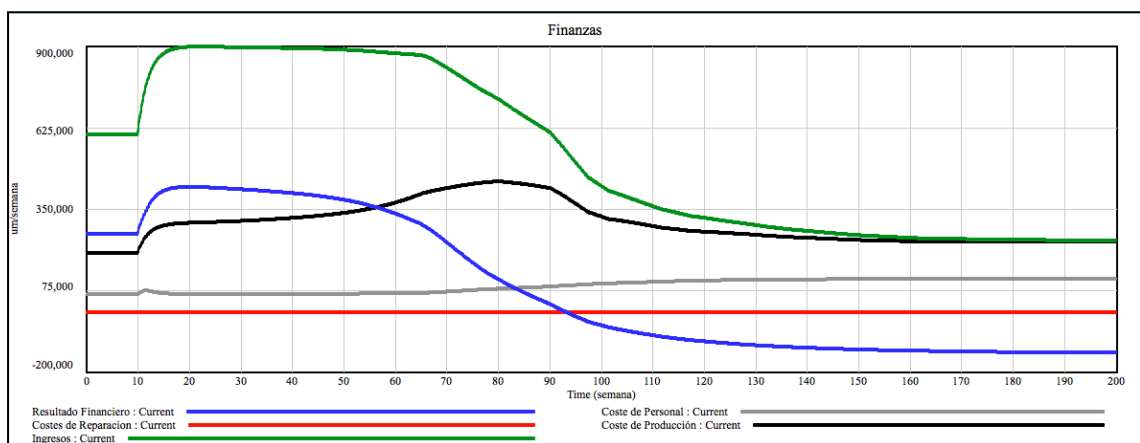


Figura 33. Finanzas política horas extra.
Fuente: elaboración propia

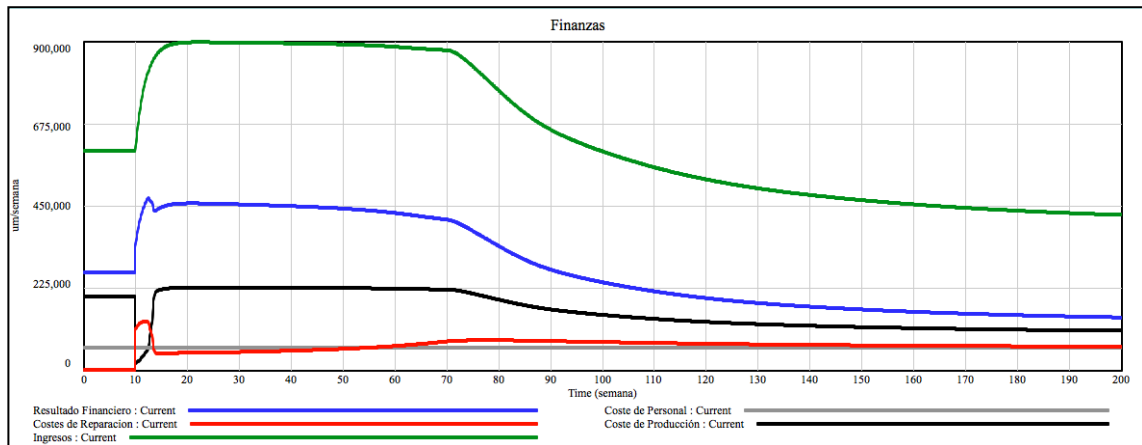


Figura 34. Finanzas política correctiva.
Fuente: elaboración propia

Si hacemos uso de la política de reparación de productos defectuosos, a largo plazo el resultado financiero (Figura 34) es ligeramente inferior al que se obtenía en el inicio de la simulación. Aunque podría parecer, por tanto, que esta política podría ser aceptable, debe tenerse en cuenta que se ha producido un incremento del 50% de la demanda (output neto deseado), ante lo que no se consigue incrementar los ingresos de la compañía, por lo que la política aplicada no proporciona resultados satisfactorios.

Las razones por las que esta política proporciona mejores resultados que la política de producción cuando, como hemos visto anteriormente, la dinámica de output neto que genera es la equivalente a la generada con la política de producción, se encuentra en la física del proceso productivo la corrección de un producto defectuoso es menos costosa que la producción de un nuevo producto, debido al menor uso de materias primas y materiales necesarios. Por esta razón, tal y como se puede apreciar en la figura X, mientras que los ingresos son iguales a los obtenidos en la política de producción, se logra disminuir drásticamente los costes de producción a costa de un pequeño aumento de los costes de reparación.

Por último, tal y como sucedía al analizar la dinámica del output neto, la política que proporciona mejores resultados financieros (Figura 35) es la política preventiva, en la que se prioriza la solución de los problemas del proceso. El comportamiento del resultado financiero al aplicar esta política es muy similar al comportamiento del output neto: Tras una caída inicial del resultado financiero debido a la disminución del output bruto debido a la reducción del número de horas destinadas a la producción, en el largo plazo se producirá un incremento del resultado financiero fruto de la mayor efectividad

del proceso productivo, llegando a alcanzarse el doble de beneficios que los alcanzados en el instante inicial. La razón se encuentra en que, por un lado, se consigue lograr un incremento del output neto (y por tanto de los ingresos) sostenible y, por otro lado, la reducción de los problemas del proceso implica una reducción en la creación de productos defectuosos y, por tanto, en los costes de producción.

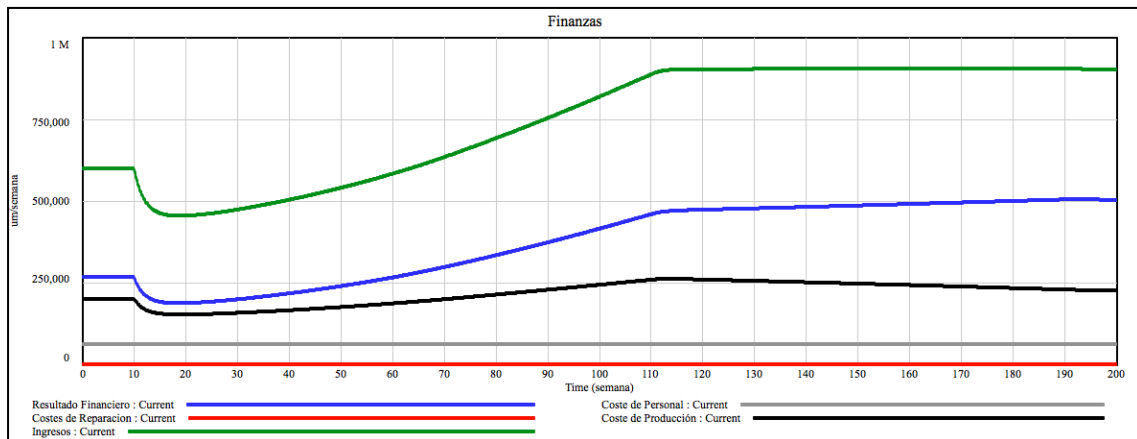


Figura 35. Finanzas política preventiva.
Fuente: elaboración propia

2.4 Elección de la política

La elección de la política óptima a aplicar dependerá del horizonte temporal que utilizemos:

- Si utilizamos un horizonte temporal de corto plazo, la política óptima sería la política de producción, de corrección de productos defectuosos, o de horas extra, ya que permiten alcanzar el output neto deseado de forma casi inmediata. No obstante, estas políticas, como se ha demostrado, en el largo plazo dan lugar a una caída del output neto debido al aumento de problemas del proceso.
- Si utilizamos un horizonte temporal de largo plazo, la política óptima sería la política preventiva, al ser la única política que permite un incremento sostenible del output neto en el largo plazo. No obstante, debemos destacar la existencia de un retardo en la aplicación de la política preventiva, lo que supondrá una caída del output neto en el corto plazo.

Como el horizonte que deberían tener en cuenta las empresas sería el largo plazo, con el fin de asegurar su supervivencia, la política que debería aplicarse sería la política

preventiva. No obstante, como señalábamos en el marco teórico, los encargados del proceso productivo buscarán el beneficio en el corto plazo, entrando en conflicto con los intereses a largo plazo de los accionistas, y optando por aplicar las políticas de producción, corrección o horas extra. La consecuencia de esta disparidad entre encargados y accionistas es la entrada en la conocida trampa de la capacidad.

Conclusiones

Con este trabajo hemos tratado de dar respuesta, a través del uso de la dinámica de sistemas, al fracaso en la puesta en marcha de la mayoría de programas de calidad. A través de la construcción de un modelo y la simulación de diferentes políticas, hemos demostrado la existencia del fenómeno de la trampa de la capacidad y cómo, consecuentemente, las causas del fracaso de la mayoría de programas de calidad no se encuentran en el programa en sí, sino en la implementación de estos.

Dado el límite espacio-temporal del presente trabajo, el modelo propuesto es una simplificación de la problemática analizada. Posibles vías de ampliación serían, en primer lugar, la posibilidad de contratar nuevos trabajadores, dando lugar a un incremento de la capacidad del proceso en el largo plazo a costa de una disminución en el corto plazo derivada de la baja productividad de los trabajadores juniors y del tiempo que destinarían los trabajadores experimentados en enseñarles (tiempo que podría haber sido destinado a la producción o a la mejora de procesos).

Otra vía de ampliación sería la inclusión en el modelo de la reacción del mercado, siguiendo a Sterman (2000, pp. 71-72), quien señala que una baja calidad de los productos dará lugar a una baja reputación, lo que puede provocar una caída del precio y, con ello, de los beneficios. La mayor presión financiera hará que los encargados tiendan a recortar presupuesto destinado a la mejora de procesos, al ser la actividad que proporciona unos resultados financieros menos tangibles. Este recorte dará lugar a una aparición de nuevos problemas, que provocará una nueva caída de la calidad, creando con ello un bucle de realimentación positivo.

Bibliografía

- Arana Landín, G., Heras Saizarbitoria, I., Ochoa Laburu, C., & Andonegi Martínez, J. (2004). Incidencia de la gestión de la calidad en los resultados de las empresas: un estudio para el caso de las empresas vascas. *Revista de Dirección y Administración de Empresas*, 11, 131-159. Recuperado de:
https://www.ehu.eus/documents/2069587/2113472/11_11.pdf
- Arkes, H., & Blumer, C. (1985). *The Psychology of Sunk Cost*. Recuperado de:
http://www.communicationcache.com/uploads/1/0/8/8/10887248/the_psychology_of_sunk_cost.pdf
- Asociación Española de Empresas de Consultoría. (2015). *Informe Anual del Sector de Consultoría*. Recuperado de: <http://www.consultoras.org/frontend/aec/INFORME-ANUAL-DEL-SECTOR-DE-CONSULTORIA-vn25690-vst85>
- Bass, F. M. (1969). A New Product Growth for Model Consumer Durable. *Management Science*, 15 (5), 215-227. Recuperado de:
<http://www.uvm.edu/~pdodds/files/papers/others/1969/bass1969a.pdf>
- Beer, M. (2003). Why Total Quality Management Programs Do Not Persist: The Role of Management Quality and Implications for Leading a TQM Transformation *Decision Sciences*, 34 (4), 623-642. doi. 10.1111/j.1540-5414.2003.02640.x
- Castro Fernández, V. (2011). Éxitos y Fracasos en la Innovación. *Escuela de Organización Industrial*. Recuperado de:
http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:75419/componente75417.pdf
- Champan, R., Murray, P., & Mellor, R. (1997). Strategic quality management and financial performance indicators. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 14 (4), 434-448. doi 10.1108/02656719710170675

Easton, G., & Jarrell, S. (1998). The Effects of Total Quality Management on Corporate Performance: An Empirical Investigation. *The Journal of Business*, 71 (2), 253-307. Recuperado de: <http://www.jstor.org/stable/pdf/10.1086/209744>

Ellsberg, D. (1961). Risk, Ambiguity, and the Savage Axioms. *The Quarterly Journal of Economics*, 75 (4), 643-669. Recuperado de: http://www.nssl.noaa.gov/users/brooks/public_html/feda/papers/eb1961ambiguity.pdf

García Rodríguez, R. M. (s.f. (a)). *Conceptos Básicos*.

García Rodríguez, R. M. (s.f. (b)). Navia S.A. Caso Práctico.

Ghalayini, A., Noble, J., & Crowe, T. (1997). An integrated dynamic performance measurement system for improving manufacturing competitiveness. *International Journal of Production Economics*, 48 (3), 207-225. doi 10.1016/S0925-5273(96)00093-X

Harmandad, H., Repenning, N., & Sterman, J. (2009). Effects of feedback delay on learning. *System Dynamics Review*, 25, 309-338. Recuperado de: <http://jsterman.scripts.mit.edu/docs/Sterman-2009-EffectsofFeedback.pdf>

Kaynak, H. (2003). The relationship between total quality management practices and their effects on firm performance. *Journal of Operations Management*, 21 (4), 405-435. doi 10.1111/j.1467-629X.2011.00402.x

Kober, R., Subraamanniam, T., & Watson, J. (2012). The impact of total quality management adoption on small and medium enterprises' financial performance. *Accounting and Finance*, 52 (2), 421-438. doi 10.1111/j.1467-629X.2011.00402.x

Lassiter, G., Geers, A., Munhall, P., Ploutz-Snider, R., & Breitenbecher, D. (2002). Illusory Causation: Why It Occurs. *Psychological Science*, 13 (4), 299-305. Recuperado de: <http://heatherlench.com/wp-content/uploads/2008/07/lassiter-geers.pdf>

Levitt, B., & March, J. (1988). Organizational Learning. *Annual Review of Sociology*, 14, 319-340. Recuperado de: http://sjbae.pbworks.com/f/levitt_march_1988.pdf

Lozano García, M., de Miguel Hidalgo, A., & Pindado García, J. (2004). El conflicto accionista-directivo: Problemas y propuestas de solución. *ICE - Tribuna de Economía*, 813, 225-245. Recuperado de:

http://www.revistasice.com/CachePDF/ICE_813_225-245__33662E6CDDE889A59486E4CDB2931338.pdf

Morrison, J. B. (2012). Process improvement dynamics under constrained resources: managing the work harder versus work smarter balance. *System Dynamics Review* , 28 (4), 329-350. doi 10.1002/sdr.1485

Powell, T. C. (1995). Total Quality Management as Competitive Advantage: A Review and Empirical Study. *Strategic Management Journal* , 16 (1), 15-37. Recuperado de: http://www.thomaspowell.co.uk/article_pdfs/TQM_as_CA.pdf

Ramil, M., Rey, C., Lodeiro, M., & Arranz, M. (s.f.). *Introducción a la Econometría: Teoría y Práctica*.

Reed, R., Lemak, D., & Mero, N. (2000). Total quality management and sustainable competitive advantage. *Journal of Quality Management*, 51(1), 5-26. doi 10.1016/S1084-8568(00)00010-9

Repenning, N., & Sterman, J. (2002). Capability Traps and Self-Confirming Attribution Errors in the Dynamics of Process Improvement. *Administrative Science Quarterly*, 47, 265-295. Recuperado de: <http://scripts.mit.edu/~jsterman/docs/Repenning-2002-CapabilityTraps.pdf>

Repenning, N., & Sterman, J. (2001). Nobody Ever Gets Credit for Fixing Problems that Never Happened. *California Management Review*, 43 (4), 64-88. Recuperado de: http://web.mit.edu/nelsonr/www/Repenning=Sterman_CMRSu01_.pdf

Ross, L. (1977). The intuitive psychologist and his shortcomings: distortions in the attribution process. *Advances in Experimental Social Psychology* , 10, 173-220. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/235413325_The_Intuitive_Psychologist_And_His_Shortcomings_Distortions_in_the_Attribution_Process

Samuelson, Paul Anthony (2006). *Economía*.

Senge, P. (1999). *La quinta disciplina en la práctica*.

Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*.

- Sterman, J. D. (1994). Learning In and About Complex Systems. Recuperado de: <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/2504/SWP-3660-30352170.pdf?sequence=1>
- Sterman, J. D. (2001). System Dynamics Modeling: Tools for learning in a complex world. *California Management Review* , 43 (4), 8-25. Recuperado de: <http://www.systemdynamics.org/conferences/2002/proceed/papers/CAREVIEW/C2STERMA.PDF>
- Sterman, J., & Repenning, N. (1997). Getting Quality the Old-Fashioned Way: Self Confirming Attributions in the Dynamics of Process Improvement. Recuperado de: <http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/2653/SWP-3952-37733566.pdf?sequence=1>
- Sterman, J., Kofman, F., & Repenning, N. (1997). Unanticipated Side Effects of Successful Quality Programs: Exploring a Paradox of Organizational Improvement. *Management Science*, 43 (4), 503-521 . doi 10.1287/mnsc.43.4.503
- Sydow, J., Schreyögg, G., & Koch, J. (2009). Organizational Path Dependence: Opening the Black Box. *Academy of Management Review* , 34 (4), 689-709. Recuperado de: http://www.wiwiss.fu-berlin.de/forschung/pfadkolleg/downloads/AMR_09.pdf
- Wilson, T., & Lassiter, G. (1982). Increasing Intrinsic Interest With Superfluous Extrinsic Constraints. *Journal of Personality and Social Psychology* 42(5), 811-819. doi 10.1037/0022-3514.42.5.811

Anexo 1. Horas de trabajo

TAREA	HORAS DEDICADAS
Asistencia a asignatura simulación	35
Aprendizaje dinámica sistemas y programas simulación	40
Lectura bibliografía	50
Asistencia tutorías individuales	25
Elaboración y revisión del modelo	220
Elaboración del documento a presentar	180
TOTAL HORAS	550

Tabla 1. Horas dedicadas al Trabajo de Fin de Grado.

En la Tabla 1 se detallan el número de horas destinadas a la realización de este Trabajo de Fin de Grado. Entre febrero y mayo asistí, en la medida en que mis horarios laborales me lo permitían, a la asignatura optativa “Simulación y Juegos de Empresa”, impartida 3 horas cada semana. A mayores, completé mi aprendizaje sobre dinámica de sistemas y sobre el programa Vensim a través de los ejercicios propuestos en clase y los manuales de usuario. La lectura de la bibliografía implica no sólo la búsqueda de la información en los papers y libros que aparecen referenciados, sino la lectura de otros materiales que finalmente rechacé. La elaboración del modelo incluye el proceso de planteamiento de relaciones entre las variables, generación de ecuaciones, y establecimiento de unidades dimensionales, así como las múltiples revisiones y correcciones que se han realizado en él. Para ello, se han destinado aproximadamente 3 horas diarias durante los meses de mayo, junio y julio. Para la realización de este modelo he acudido de forma regular a tutorías individuales, con el fin de verificar que mis planteamientos eran correctos. Por último, he empleado aproximadamente 1 hora diaria desde febrero para la realización de este documento.

Anexo 2. Ecuaciones del Modelo

"% Cum. Coste Hora por Horas Extra" (dmm)
 = 0.75
Acumulación de Cansancio (dmm/semana)
 = Cansancio por hora extra*(Horas Semanales Empleadas*Horas Mínimas)
Ajustes de Horas Destinadas a la Obtención de Output Neto (horas/(semana*semana))
 = (Horas para la obtención de output neto necesarias-Horas Destinadas a la obtención de output neto)/Tiempo de Ajuste
Aparición de Problemas (dmm/semana)
 = (1+Relacion Cansancio - Aparicion Problemas*(Cansancio))^(Relacion Problemas - Aparicion de Problemas)/(Problemas del Proceso)/Tiempo medio de erosión del proceso)
Cansancio (dmm)
 = [Acumulación de Cansancio-Tasa de Recuperación df + 0]
Cansancio por hora extra (dmm/horas)
 1
Coste de Personal (um/semana)
 = Trabajadores*(Coste horario unitario*Horas Mínimas+(Coste hora unitario*(1+% Cum. Coste Hora por Horas Extra))*(Horas Semanales Empleadas*Horas Mínimas))
Coste de Producción (um/semana)
 = Output Bruto*Coste Unitarios MP y Producción
Coste horario unitario (um/(horas*persona))
 15
Coste unitario comercial y logística (um/unidades)
 5
Coste unitario reparación productos defectuosos (um/unidades)
 8
Coste Unitarios MP y Producción (um/unidades)
 10
Costes comerciales y logísticos (um/semana)
 = Output Neto*Coste unitario comercial y logística
Costes de Reparación (um/semana)
 = Coste unitario reparación productos defectuosos*Reparación Productos Defectuosos
Creación Productos Defectuosos (unidades/semana)
 = Output Bruto*Problemas del Proceso
Diferencia de Horas (horas/semana)
 = Diferencia de Output Neto/(Productividad Neto de la Producción*Trabajadores)
Diferencia de Output Neto (unidades/semana)
 = Output Neto Deseado-Output Neto
Distribución horas destinadas a la producción (dmm)
 = 0-STEPI/Switch Política Correctiva*Sensibilidad Política Correctiva**Relacion Productos Defectuosos - Horas Corrección/(Productos Defectuosos)*Productividad Base Producción*(Productividad Neto de la Producción,Momento Salto)
Efectividad de la Solución de Problemas (dmm/semana)
 = Productividad Mejora de Procesos*Horas destinadas a la mejora del proceso*Trabajadores
Efectividad de Producción Bruta (dmm)
 = (Output Bruto-Creación Productos Defectuosos)/Output Bruto
Factor de recuperación (semana)
 = ((0.0)+(600.90))/(0.9)+(80.0.2)/(80.10.2)/(120.14)/(150.15.8)/(180.18.4)/(210.21)/(240.24.7)/(270.28.6)/(300.32.6)/(350.42)/(400.51)/(450.60)/(500.69)/(550.75)/(600.81)
FINAL TIME (semana)
 200
Horas Corrección Productos Defectuosos (horas/semana)
 = Horas Destinadas a la Obtención de Output Neto*Distribución horas destinadas a la producción
Horas destinadas a la mejora de procesos necesarias (horas/semana)
 = Relación Efectividad - Horas Mejora/(Efectividad de Producción Bruta)
Horas destinadas a la mejora del proceso (horas/semana)
 = (1-Switch Horas Extra*(MAX)(Horas Totales*Horas Destinadas a la Obtención de Output Neto)-Switch Horas Extra*(MIN)(Horas Totales*Horas Destinadas a la Obtención de Output Neto 20))
Horas Destinadas a la Obtención de Output Neto (horas/semana)
 = [Ajustes de Horas Destinadas a la Obtención de Output Neto df + (Horas Iniciales)]

```

Horas Extras (horas/semana)
= "Relacion Horas Extra - Diferencia Output Neto"(Diferencia de Output Neto)*Switch Horas Extra*Sensibilidad Política Horas Extra
Horas Iniciales (horas/semana [0,40])
20
Horas Mínimas (horas/semana)
40
Horas para la obtención de output neto necesarias (horas/semana)
= MAX(0,MIN(Horas Totales-Switch Política Preventiva*Sensibilidad Política Preventiva*STEP)-(Horas destinadas a la mejora de procesos necesarias,Momento Salto),Diferencia de Horas+Horas Destinadas a la Obtención de Output Neto))
Horas Producción (horas/semana)
= Horas Destinadas a la Obtención de Output Neto*(1-Distribución horas destinadas a la producción)
Horas Semanales Empleadas (horas/semana)
= Horas destinadas a la mejora del proceso+Horas Destinadas a la Obtención de Output Neto
Horas Totales (horas/semana)
= Horas Mínimas+Horas Extras
Ingresos (um/semana)
= Output Neto*Precio unitario
INITIAL TIME (semana)
Momento Salto (semana)
10
Output Bruto (unidades/semana)
= Productividad de Producción*Horas Producción*Trabajadores
Output Neto (unidades/semana)
= Output Bruto+Reparación Productos Defectuosos-Creación Productos Defectuosos
Output Neto Deseado (unidades/semana)
= Output Neto Deseado Inicial+sw demanda*STEP*(tamaño Salto,Momento Salto)
Output Neto Deseado Inicial (unidades/semana)
15000
Precio unitario (um/unidades)
20
Problemas del Proceso (dimn)
= [Aparición de Problemas-Solución de Problemas dt + (Problemas Iniciales)
Problemas Iniciales (dimn)
= 0.25
Productividad Base Mejora Procesos (dimn/(horas*persona))
= 1.25e-008
Productividad Base Producción (unidades/(horas*persona))
10
Productividad de Producción (unidades/(horas*persona))
= Productividad Base Producción**Relacion Cansancio - productividad*(Cansancio)
Productividad Mejora de Procesos (dimn/(horas*persona))
= Productividad Base Mejora Procesos**Relacion Cansancio - productividad*(Cansancio)
Productividad Neta de la Producción (unidades/(horas*persona))
= Productividad de Producción*(1- Problemas del Proceso)
Productos Defectuosos (unidades)
= [Creación Productos Defectuosos-Reparación Productos Defectuosos dt + [0]
"Relacion Cansancio - Aparición Problemas" (dimn)
= [(0,0)-(1000,0.7)]/(0,0),(10,0.2),(20,0.25),(40,0.3),(60,0.35),(80,0.4),(100,0.43),(150,0.48),(200,0.52),(240,0.54),(270,0.55),(300,0.56),(400,0.58),(500,0.6),(600,0.615),(700,0.632),(800,0.65),(900,0.66),(1000,0.665)
"Relacion Cansancio - productividad" (dimn)
= [(0,0)-(700,1)]/(0,1),(20,0.38),(40,0.35),(70,0.85),(85,5397.0.74),(100,0.65),(120,0.59),(150,0.55),(180,0.51),(220,0.48),(280,0.46),(350,0.44),(400,0.43),(550,0.41),(700,0.4)
"Relacion Efectividad - Horas Mejora" (horas/semana)
= [(0,0)-(1,40)]/(0,40),(0,3,40),(0,4,38),(0,5,36),(0,6,33),(0,68,29.75),(0,75,25),(0,8,20),(0,85,15),(0,9,10),(0,95,5),(1,00407,2)

```

"Relacion Horas Extra - Diferencia Output Neto" (horas/semana)
 = [(0,0)-(18250,20)],[0,0],[1000,2],[2300,4],[4000,6.5],[6000,8.5],[8000,10.5],[10020,4,11.9431],[12000,13.6493],[13500,15.7346],[15000,18.5],[16048,9,19.5],[16250,20]

"Relacion Problemas - Aparicion de Problemas" (dmmi)
 = [(0,0)-(0,8,0.02)],[0,0.0001],[0,0.05,0.0003],[0,1,0.0006],[0,15,0.001],[0,2,0.0025],[0,25,0.005],[0,3,0.008],[0,3.3389,0.011564],[0,37,0.015],[0,4,0.017],[0,42,0.0175],[0,45,0.018],[0,48,0.0178],[0,52,0.017],[0,55,0.015],[0,575153,0.011564],[0,6,0.008],[0,62,0.0065],[0,65,0.005],[0,7,0.002],[0,75,0]

"Relacion Productos Defectuosos - Horas Correccion" (dmmi [?, 1])
 = [(0,0)-(200000,0.8)],[0,0],[4000,0.4],[13250,0.6],[40000,0.675],[70000,0.705],[100000,0.72],[150000,0.735],[200000,0.75]

Reparacion Productos Defectuosos (unidades/semana)
 = Horas Correccion Productos Defectuosos*Productividad Neta de la Producción*Trabajadores

Resultado Financiero (um/semana)
 = Ingresos-Costo de Producción-Costes comerciales y logísticos-Costes de Reparación-Coste de Personal
 SAVEDPER (semana [0,?])

= TIME STEP

Sensibilidad Política Horas Extra (dmmi [0, 1,0.1])
 1

Sensibilidad Política Correctiva (dmmi [0, 1,0.1])
 1

Sensibilidad Política Preventiva (dmmi [0, 1,0.1])
 1

Solución de Problemas (dmmi/semana)
 = MIN(DELAY3(Efectividad de la Solución de Problemas,8),Problemas del Proceso)
 sw demanda [(0, 1, 1)]

0

Switch Horas Extra (dmmi [0, 1, 1])
 0

Switch Política Correctiva (dmmi [0, 1, 1])
 0

Switch Política Preventiva (dmmi [0, 1, 1])
 0

Tamaño Salto (unidades/semana)
 7500

Tasa de Recuperacion (dmmi/semana)
 = Cansancio/Tiempo de Recuperación

Tiempo de Ajuste (semana)
 2

Tiempo de Recuperacion (semana)
 = Factor de recuperacion(Cansancio)

Tiempo medio de erosi3n del proceso (semana)
 2

TIME STEP (semana [0,?])
 = 0.125

Trabajadores (persona)
 100