

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SERVICIO PARA UN CENTRO DE  
ATENCIÓN EN UNA COMPAÑÍA DEL DIAGNOSTICO INVITRO BAJO EL  
ENFOQUE DE DINÁMICA DE SISTEMAS

ERIK DANIEL ESCOBAR TAPIA

UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GERENCIA DE INGENIERÍA  
BOGOTÁ D.C  
2020

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE SERVICIO PARA UN CENTRO DE  
ATENCIÓN EN UNA COMPAÑÍA DEL DIAGNOSTICO INVITRO BAJO EL  
ENFOQUE DE DINÁMICA DE SISTEMAS

ERIK DANIEL ESCOBAR TAPIA

Proyecto de grado para optar el título de Magister en gerencia de ingeniería

Asesor científico y metodológico

Dr. Ricardo Sotaquirá Gutiérrez

UNIVERSIDAD DE LA SABANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GERENCIA DE INGENIERÍA

BOGOTÁ D.C

2020

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá D.C 1 de octubre de 2020

## Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN .....	8
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
1.1 Problema de investigación .....	9
2 JUSTIFICACIÓN .....	11
3 OBJETIVOS .....	12
3.1 Objetivo general.....	12
3.2 Objetivos específicos .....	12
4 MARCO TEORICO.....	13
4.1 Definición del problema .....	13
4.2 Formulación de la hipótesis dinámica.....	13
4.2.1 Límite del modelo .....	14
4.2.2 Diagrama de subsistemas.....	14
4.2.3 Diagrama causal .....	14
4.3 Formulación del modelo.....	14
4.3.1 Diagrama de Flujos y niveles .....	14
4.4 Simulación y análisis del comportamiento .....	15
4.5 Evaluación .....	15
4.6 Diseño de políticas .....	15
4.7 Concepto de micro mundo.....	15
4.7.1 Virtudes de los mundos virtuales.....	15
5 METODOLOGÍA.....	17
6 MODELO DINÁMICO .....	18
6.1 Definición del sistema .....	18
6.1.1 Descripción del centro de servicios en estudio .....	18
6.1.2 Diagrama causal .....	27
6.1.3 Diagrama de flujos y niveles .....	28
6.1.4 Variables de nivel.....	31

6.1.5	Flujos del sistema.....	31
6.1.6	Variables auxiliares .....	33
6.1.7	Constantes o parámetros .....	41
7	ANÁLISIS DE POLÍTICAS.....	43
7.1	Escenario base y resultados.....	43
7.1.1	Escenario 1 y resultados .....	47
7.1.2	Escenario 2 y resultados .....	50
7.2	Políticas propuestas .....	55
8	MICROMUNDO.....	61
8.1	Pantallas del simulador.....	61
8.1.1	Pantalla de introducción .....	61
8.1.2	Pantalla de simulación.....	62
8.1.3	Mini pantalla auxiliar .....	64
8.2	Modo de funcionamiento del simulador .....	64
8.2.1	Pasos de operación.....	65
	CONCLUSIONES .....	65
	BIBLIOGRAFÍA.....	67

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de proceso de atención RCSC.....	18
Figura 2	Diagrama causal RCSC.....	27
Figura 3	Modelo cola de atención de casos.....	29
Figura 4	Modelo ajuste de capacidad .....	30
Figura 5	Relación productividad en uso (Nivel de servicio vs Productividad en uso) .....	34
Figura 6	Efecto de la presión retardo de atención (Presión de atención vs Efecto retardo de atención).....	36
Figura 7	Flujos nivel cola de atención de casos .....	44
Figura 8	Resultados tiempos de atención Escenario base .....	45
Figura 9	Mano de Obra Escenario base .....	46
Figura 10	Relación de atención escenario base .....	46

Figura 11 Comportamiento FTE escenario 2 .....	48
Figura 12 Comportamiento FTE, con la política de despidos activa .....	49
Figura 13 Tiempo de atención de casos Escenario 2 .....	49
Figura 14 Comportamiento mano de obra Escenario 2 .....	51
Figura 15 Comportamiento tiempo de atención escenario 2.....	52
Figura 16 Comportamiento flujo de casos escenario 2 .....	53
Figura 17 Comportamiento cola de atención con la política de despidos activa ....	53
Figura 18 Comportamiento relación de atención escenario 2 .....	54
Figura 19 Comportamiento mano de obra con la política de despidos activa .....	55
Figura 20 Comportamiento del modelo aplicando política 1 .....	56
Figura 21 Comportamiento mano de obra con diferentes tiempos de atención .....	58
Figura 22 Retardos de atención con diferentes tiempos de atención por caso.....	59
Figura 23 Comportamiento casos no atendidos a diferentes tiempos de atención por caso .....	60
Figura 24 Tiempo de atención de casos entre el año 2.6 y 3. ....	60
Figura 25 Pantalla de introducción.....	61
Figura 26 Pantalla de simulación .....	62
Figura 27 Casillas de chequeo de políticas y botón de activación mini pantalla ....	63
Figura 28 Botonería parámetros de entrada. ....	63
Figura 29 Mini pantalla flujo de casos.....	64

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Cronograma de actividades .....	17
Tabla 2 Tiempos de operación para cada recurso .....	20
Tabla 3 Base instalada histórica Coagulación y POC.....	25
Tabla 4 Pronóstico de base instalada coagulación y POC .....	25
Tabla 5 Base instalada histórica de todas las líneas de producto.....	25
Tabla 6 Regresión lineal escenario 2, pendiente positiva .....	50

## LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1 Calculo total SE.....	22
Ecuación 2 Calculo SE. ....	22
Ecuación 3 Calculo equivalente de servicio RCSC.....	23
Ecuación 4 Calculo de horas de servicio estimadas al año. ....	23
Ecuación 5 Horas por FTE al año. ....	23

Ecuación 6 Calculo de FTE .....	24
Ecuación 7 Cola de atención de casos .....	31
Ecuación 8 FTE (Equivalente de tiempo completo) .....	31
Ecuación 9 Vacantes .....	31
Ecuación 10 Flujo de entrada de casos .....	31
Ecuación 11 Tasa de atención de casos .....	32
Ecuación 12 Casos no atendidos.....	32
Ecuación 13 Contratación FTE .....	32
Ecuación 14 Salida FTE .....	32
Ecuación 15 Tasa de despidos .....	32
Ecuación 16 Tasa de creación de vacantes .....	33
Ecuación 17 Tasa de cierre de vacantes .....	33
Ecuación 18 Cancelación de vacantes .....	33
Ecuación 19 Máximo nivel de servicio .....	34
Ecuación 20 Productividad en uso.....	34
Ecuación 21 Retardo de atención.....	35
Ecuación 22 Política tiempo de atención .....	35
Ecuación 23 Presión retardo de atención .....	36
Ecuación 24 Efecto de la presión retardo de atención.....	36
Ecuación 25 Política casos no atendidos.....	37
Ecuación 26 Presión casos no atendidos .....	37
Ecuación 27 Efecto presión casos no atendidos.....	37
Ecuación 28 Productividad actual.....	37
Ecuación 29 Productividad deseada.....	38
Ecuación 30 Tasa máxima de despido .....	38
Ecuación 31 FTE deseados.....	38
Ecuación 32 Ajuste FTE .....	38
Ecuación 33 Tasa de contratación deseada .....	39
Ecuación 34 Salida de FTE esperada.....	39
Ecuación 35 Política de despidos .....	39
Ecuación 36 Tasa de despidos deseada .....	39
Ecuación 37 Vacantes deseadas.....	40
Ecuación 38 Ajuste de vacantes.....	40
Ecuación 39 Tasa deseada de creación de vacantes.....	40
Ecuación 40 Tasa de cancelación deseada.....	40
Ecuación 41 Tasa máxima de cancelación.....	40
Ecuación 42 Relación de atención.....	41

## INTRODUCCIÓN

El sector tecnológico en la actualidad presenta grandes desafíos relacionados con el servicio post venta debido a la masificación de los mismos, con la obligación de dar respuesta a gran cantidad de requerimientos con altos estándares de cumplimiento. Estos desafíos se ven influenciados de forma dinámica por variables endógenas y exógenas, las cuales se caracterizan por ser volátiles, inciertas, complejas y ambiguas (VUCA) (Dhillon, 2006). Dichas características generan a su vez un reto en la gestión operativa de los recursos para brindar atención a las necesidades de los clientes, punto en el cual se puede generar satisfacción en el cliente o por el contrario un efecto negativo en las futuras ventas del producto. Por esta razón, es de vital importancia conocer: el efecto que puede tener el comportamiento de una variable, su interrelación con las demás variables en el sistema y cuáles de esas variables pueden ser controladas y cuáles no.

En este proyecto se modelará la estructura del centro de servicio regional para una compañía del sector de diagnóstico in vitro, la cual comercializa productos que son usados en analizadores automatizados, los cuales requieren servicios de mantenimiento para soportar su operación. Teniendo en cuenta lo anterior, la compañía ha dispuesto centros de servicios a nivel mundial con el fin de brindar asesoría telefónica (primer nivel) para usuarios finales y asistencia telefónica o presencial para las filiales dentro de la región asignada. Este modelo actuará como herramienta para la toma de decisiones en el centro de servicio, permitiendo evaluar la condición actual, y crear políticas de gestión que den cumplimiento a los acuerdos de servicio. En este caso el enfoque de evaluación del modelo se centrará en conocer la relación entre la gestión del recurso humano para la atención de los requerimientos, y su efecto en el cumplimiento de los acuerdos de servicio.

La metodología empleada para la modelación en este proyecto busca aplicar los conceptos de dinámica de sistemas (Sterman, 2000) y de micro mundos (Papert, 1980) para facilitar el aprendizaje y creación de políticas para los usuarios finales (Himmelblau & Bischoff, 1976), Orientada al diseño de políticas de gestión que pueden ser probadas en un simulador para experimentar el efecto a largo plazo de un cambio en el sistema y evaluar los posibles casos más favorables y menos favorables posibles. Para este propósito se usará un simulador computacional que tenga la característica de poder crear extensiones ejecutables del modelo e interfaz gráfica, permitiendo divulgar la herramienta de una forma más fácil.

# 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 Problema de investigación

Roche se encarga de comercializar reactivos para el uso en equipos de diagnóstico In vitro de su propiedad, los cuales son instalados en entidades prestadoras de servicios de salud, en el área de laboratorio y/o patología. De esta manera, Roche asume la responsabilidad de mantener dichas plataformas en funcionamiento, incluyendo gastos por manutención, refacciones y mano de obra.

Dentro de las actividades de las cuales Roche es responsable están: Instalaciones, des instalaciones, soporte telefónico, mantenimientos correctivos, mantenimientos preventivos. Dichas actividades se deben realizar dentro de los tiempos acordados con los clientes en los acuerdos de nivel de servicio (ANS), siendo este cumplimiento uno de los indicadores evaluados por el cliente en los procesos de renovación de los acuerdos comerciales. Para este propósito, existen diferentes estrategias de servicio, entre las cuales se encuentran los centros de servicio y cuidado del cliente (RCSC). Estos centros agrupan especialistas de la región quienes brindan soporte telefónico de primer nivel a usuarios finales (clientes) y segundo nivel a las filiales de la compañía dentro de la región asignada.

Actualmente la evaluación del recurso necesario para cumplir con los requerimientos de servicio, no cuenta con un modelo de simulación computacional y se realiza sin seguir un enfoque holístico. El modelo con el cual se mide la capacidad de servicio y el recurso asociado al cumplimiento del nivel de servicio deseado realiza una estimación de las variables de forma separada, obviando así el efecto de la interacción entre los componentes del sistema. Por esta razón, se busca crear un modelo que permita evaluar la capacidad de servicio de forma integral, teniendo en cuenta las relaciones causales entre las variables del sistema.

En este contexto, este proyecto busca estudiar la relación existente entre la administración del recurso humano y el efecto de las decisiones que se toman sobre este, en la satisfacción del cliente relacionado a la operación de servicio, teniendo como referencia de evaluación los ANS firmados y la evaluación de políticas de servicio para este propósito. Esta herramienta servirá en un futuro como apoyo para la toma de decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo (Himmelblau & Bischoff, 1976) en busca de mejorar la coordinación entre las actividades y la distribución de los recursos, que disminuyan las demoras en la atención, y así impactar la calidad del servicio y la satisfacción del cliente de manera positiva.

Luego de realizar una búsqueda bibliográfica (Bradl, 2003; Chung et al., 2010; Fang & Zhaodong, 2015; Mutingi et al., 2017; Špicar, 2014; Suryani et al., 2012; Wang,

2013) sobre investigaciones realizadas en el campo de estudio de este proyecto, se pudo concluir que la mayoría de modelos relacionados a la evaluación de una capacidad, utilizan el arquetipo conocido como "límites de crecimiento". Este se caracteriza por un bucle de realimentación que genera un crecimiento positivo de un parámetro y un bucle de balance el cual limita el crecimiento del sistema (Braun, 2002). Teniendo en cuenta lo anterior, se tendrá como referencia el trabajo realizado por los autores investigados, para la elaboración de este proyecto. De la misma forma, en las investigaciones revisadas no se encuentra registro de un aplicativo para el usuario final del modelo, sección en la cual este trabajo realiza un aporte a la comunidad científica, elaborando un micro mundo para la interface de usuario.

## 2 JUSTIFICACIÓN

Las compañías a nivel mundial trabajan de forma constante en la búsqueda de áreas que les permitan lograr ser: diferenciadoras y competitivas para alcanzar una posición de relevancia en el mercado; asegurando servicios de alta calidad y eficiencia, en cuanto a costos de operación (Maletič et al., 2014). Estudios recientes muestran como las compañías han prestado más atención al área de mantenimiento debido a la gran inversión que esta involucra. (Sharma et al., 2011).(Haroun, 2015)(Al-Najjar & Jacobsson, 2013).(Tsang, 2002a)(Garg & Deshmukh, 2006).

Así mismo el modelo centralizado al cual propende el área de laboratorio clínico en la actualidad (John A. Laczin, 2013), requiere una transformación en el modelo de atención en un entorno mayormente complejo (VUCA), tradicionalmente atendido bajo las tres perspectivas generales de mantenimiento comúnmente conocidas (mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo) (O'Donovan et al., 2015).

La eficiencia en la forma como se toman las decisiones ha sido estudiada bajo diferentes enfoques (Tsang, 2002b), uno de estos es el modelamiento computarizado de procesos haciendo uso de herramientas de software que permiten simular la interacción de variables en un entorno virtual, sin tener que realizar un gasto de implementación en la realidad. Algunos ejemplos pueden ser revisados en investigaciones como las realizadas por: (Ramírez Nava et al., 2017), (Riaño M; Gomez J;Echevarria L; Rangel L; Sanchez J., 2018), (Rafele, 2007), (Fei et al., 2017; Flichman, 2011; Li et al., 2017; Rossetti, 2010; Yue et al., 2017). Actualmente, la gestión de mantenimiento desde el año 2000, es en su mayoría de carácter empírico o de priorización y solo el 11% de las operaciones inician con una actividad de optimización y modelamiento (Mahfoud et al., 2016).

Actualmente en la compañía de estudio no existe una herramienta como la propuesta en este proyecto. Sin embargo, la estrategia corporativa 2018-2023, está diseñada con un enfoque digital de innovación en la búsqueda de desarrollar inteligencia analítica para la toma de decisiones, basada en hechos. Por lo anterior, se puede concluir que esta investigación es viable.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo general

- Proponer un modelo de simulación que permita evaluar la capacidad de servicio en uno de los centros de atención de una empresa del sector de diagnóstico Invitro, para garantizar el cumplimiento de los acuerdos de prestación de servicio.

#### 3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la estructura causal que representa la interacción de los procesos involucrados en la atención de los requerimientos del centro de servicios.
- Elaborar el diagrama de flujos y niveles para el caso estudiado.
- Proponer políticas para la administración del recurso humano teniendo en cuenta el análisis de la estructura causal del centro de servicios, que permitan mejorar la satisfacción del cliente a partir de la eficiencia operacional.

## 4 MARCO TEORICO

La dinámica de sistemas ha sido ampliamente estudiada, permitiendo encontrar en la actualidad aplicaciones en diferentes industrias gracias al trabajo de muchos autores. Luego de una revisión de la metodología usada en algunos de estos trabajos, se hallaron estructuras que varían según la industria de aplicación. No obstante, dichas estructuras mantienen en su planteamiento el marco conceptual propuesto por John Sterman para el modelamiento de sistemas; sin embargo, este no es un recetario a seguir como un estándar internacional.

Por lo anterior, se define los siguientes pasos metodológicos basados en la estructura propuesta por J.Sterman (Sterman, 2000).

### 4.1 Definición del problema

El modelamiento de sistemas permite cambiar el método tradicional de ensayo – error, permitiendo diseñar estructuras organizacionales en un entorno virtual. Lo cual se convierte en una herramienta poderosa debido a la poca inversión de capital requerida para la evaluación de políticas organizacionales.

Para lograr diseñar un modelo que permita a los gerentes administrar sus organizaciones se debe definir claramente el problema que se estudiará, el cual según Sterman debe estar enfocado principalmente en el cliente y sus necesidades. Esto permitirá que el modelo sea más efectivo pues se centra en el o los problemas que mantienen en constante cuestionamiento a los líderes de la organización. Así mismo, el modelo no deberá representar completamente un sistema, sino una simplificación del mismo.

### 4.2 Formulación de la hipótesis dinámica

En esta sección se busca formular una hipótesis dinámica que explique el problema que se está estudiando de manera endógena, analizando cómo la interacción entre sus procesos internos y como se generó el problema. Para este propósito, se puede iniciar con una evaluación de las teorías acerca del porque se genera un problema con una determinada situación.

El análisis endógeno del sistema permite reconocer cuales son las reglas de operación que rigen el comportamiento del mismo, las cuales pueden ser exploradas para encontrar su origen causal. Con esta información, se puede explorar sobre el efecto de la alteración de uno de los factores operativos. Lo anterior no significa que no se pueda incluir variables exógenas, sino que deben ser revisadas desde el interior del proceso. Si se encuentra que existe una relación con

algún factor interno, Forrester indica que el modelo debe extenderse en esa área, pero la variable de ser modelada de forma endógena.

#### 4.2.1 Límite del modelo

Listar las variables representativas del modelo, clasificadas entre endógenas, exógenas y aquellas que se excluirán del sistema, permite delimitar el modelo. Para este propósito se usa un gráfico que liste los límites a medir en el modelo.

#### 4.2.2 Diagrama de subsistemas

A través de este diagrama se plasma de forma general la arquitectura entre las diferentes dependencias participantes en el modelo. Cada subsistema es conectado por el producto o servicio que fluye entre ellos; de esta forma se define a la vez el límite del modelo y sus componentes.

No se muestra explícitamente la relación causal entre ellas, puesto que se explorará detalladamente en la siguiente fase de la formulación de la hipótesis dinámica.

#### 4.2.3 Diagrama causal

Una vez se tenga la hipótesis inicial, se puede utilizar diferentes herramientas para modelar dicha hipótesis. Una de estas herramientas son los diagramas causales, los cuales permiten conectar de una forma visual los procesos, variables y otros datos de referencia para explicar la dinámica del sistema.

### 4.3 Formulación del modelo

Partiendo del diagrama causal creado en la fase anterior, se procede a diseñar el modelo matemático. Para este propósito, se debe construir el diagrama de Forrester, el cual traducirá las relaciones endógenas y exógenas del sistema al lenguaje de programación de un software.

Cabe aclarar que estos pasos no deben ejecutarse con una visión consecutiva. Por el contrario, deben revisarse como un sistema retroalimentado, modificando los planteamientos iniciales según el comportamiento que vaya presentando el modelo.

#### 4.3.1 Diagrama de Flujos y niveles

Una vez se plantea la hipótesis dinámica del modelo, se debe especificar su estructura. Para este propósito se debe definir la estructura de flujos, las reglas de decisión, sus parámetros estimativos, relaciones comportamentales y un contexto inicial para cada uno de estos componentes, bajo criterios lógicos. De esta manera se formaliza la hipótesis planteada, y se deja de lado la ambigüedad del modelo gracias a la formulación real del sistema.

Lo anterior se puede compilar usando el diagrama propuesto por J. Forrester, o también conocido como diagrama de flujos y niveles. El cual traduce el diagrama causal a un sistema de ecuaciones modeladas de forma gráfica, logrando la formalización del modelo.

#### 4.4 Simulación y análisis del comportamiento

Claramente el modelo diseñado deberá ser puesto a prueba para asegurar su confiabilidad en la reproducción del comportamiento de forma adecuada. Lo anterior se logra realizando pruebas de condiciones extremas, las cuales deberán representar un comportamiento realista del modelo bajo dichas condiciones muy poco probables en la realidad, Así como pruebas de dimensional de las variables y una coherencia lógica en su planteamiento.

#### 4.5 Evaluación

El objetivo de esta etapa es garantizar que el modelo cumple con un comportamiento lógico, teniendo como referencia las características del sistema propuestas en el marco teórico.

#### 4.6 Diseño de políticas

Una vez se apruebe la coherencia y confiabilidad del modelo, se podrá usar como herramienta metodológica de prueba para estrategias de gestión. Forrester recomienda que dichas estrategias de prueba deben estar orientadas a rediseñar los ciclos dominantes del sistema, y no solo enfocarse en modificar atributos o condiciones iniciales del modelo.

#### 4.7 Concepto de micro mundo

Para lograr llevar el modelo de dinámica de sistemas a un contexto organizacional y funcional en el tiempo, que facilite y mejor el aprendizaje de los usuarios del modelo. Los mundos virtuales como se describen como modelos formales, simuladores o micro mundos, útiles para poner a prueba hipótesis mentales en el proceso de la toma de decisiones (Papert, 1980). Para esta investigación la elaboración de un micro mundo simulado por computadora, ayudará a los usuarios finales en la comprensión del sistema estudiado y el diseño de políticas de operación.

##### 4.7.1 Virtudes de los mundos virtuales

A continuación se listan las virtudes de los mundos virtuales, basado en la sección 1.6 de (Sterman, 2000).

- Son laboratorios de aprendizaje, a bajo costo.

- En un entorno simulado, el tiempo y el espacio pueden ser comprimidos o dilatados según se requiera en la simulación.
- Las acciones pueden ser repetidas bajo diferentes circunstancias.
- Decisiones complejas y aún no éticas pueden ser puestas a prueba en el modelo virtual bajo experimentos controlados, lo cual no es posible en el mundo real o de ser posible tendría barreras muy complejas de afrontar.
- Son una alternativa eficiente, a la evaluación de los retardos en la respuesta de un sistema en el mundo real, cuyas consecuencias son irreversibles.
- Permiten simular casos catastróficos del sistema al evaluar el modelo en condiciones extremadamente adversas.

## 5 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se proponen tres fases de trabajo: Planeación, diseño y evaluación.

En la fase de planeación: se plantean actividades que permitan definir y limitar el alcance del proyecto, refinando los objetivos. Se construirá el marco metodológico y teórico, recopilando inicialmente las variables que intervienen en el sistema analizado. Por último, se definirá las pruebas que se realizarán al modelo con el fin de evaluar su comportamiento.

En la fase de diseño: teniendo en cuenta la metodología descrita en el marco teórico de este documento, se construirá el diagrama causal y el diagrama de flujos y niveles.

Finalmente, al llegar a la fase de evaluación: se ejecutará una revisión de los resultados del modelo, correcciones finales y una comparación de los resultados esperados con los obtenidos. Todas las fases anteriormente descritas, se documentarán en un documento final.

Tabla 1 Cronograma de actividades

Erik Daniel Escobar Tapia																											
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PROYECTO DE GRADO																											
Maestría en Gerencia de Ingeniería - Universidad de la Sabana																											
FASE	ACTIVIDADES / ESTRATEGIAS	FECHA		% Cumpl.	OCTUBRE		NOVIEMBRE			DICIEMBRE			ene-20			FEBRERO			MARZO								
		Inicio	Fin.		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
PLANEACIÓN	Revisión de objetivos	37	38	50.0	OK	P																					
	Definición de metodología	38	38	100.0		OK																					
	Construcción del marco teórico	39	39	0.0			P																				
	Definición de variables (inicial)	39	39	0.0			P																				
	Recopilación de datos 2017 y 2018	40	40	0.0				P																			
	Definición de pruebas a realizar al modelo	40	40	0.0				P																			
DISEÑO	Construcción diagrama causal	41	41	0.0					P																		
	Definición de variables (2) y ecuaciones	41	42	0.0					P	P																	
	Construcción diagrama de Forester	42	44	0.0					P	P	P																
	Revisión 1 del modelo	44	44	0.0							P																
	Caracterización de agentes de entrada	45	45	0.0								P															
	Conexión de agentes al diagrama de Forester	46	47	0.0								P	P														
Revisión 2 del modelo	47	48	0.0								P	P															
EVALUACIÓN	Revisión final de resultados generados por el modelo	1	1	0.0										P													
	Correcciones finales	1	2	0.0										P	P												
	Revisión 3 del modelo	2	3	0.0										P	P												
	Comparación de resultados esperados/obtenidos	4	5	0.0											P	P											
	Redacción documento final	6	8	0.0																	P	P	P				
	Redacción artículo científico	9	11	0.0																					P	P	P

## 6 MODELO DINÁMICO

### 6.1 Definición del sistema

#### 6.1.1 Descripción del centro de servicios en estudio

Como parte de la estructura de soporte a clientes para el correcto funcionamiento de los analizadores instalados y los reactivos utilizados para el análisis de pacientes, la compañía de diagnóstico In vitro ha dispuesto de centros de servicio llamados (RCSC). La función de este organismo es actuar como mecanismo de ayuda para tres actividades principalmente: Soporte telefónico de primer nivel, soporte telefónico de segundo nivel y soporte de segundo nivel en campo.

Existen 10 centros de servicio a nivel mundial. Esta investigación se centrará en el RCSC de México, cuya zona de cobertura comprende los países de Suramérica (excluyendo Brasil), Centroamérica y Caribe.

Los clientes pueden tener acceso a alguno de los servicios de soporte utilizando los siguientes canales de atención: teléfono, correo electrónico, aplicativo móvil.

La siguiente figura (Ver figura 1) muestra el proceso de atención de un requerimiento en el centro de servicios.

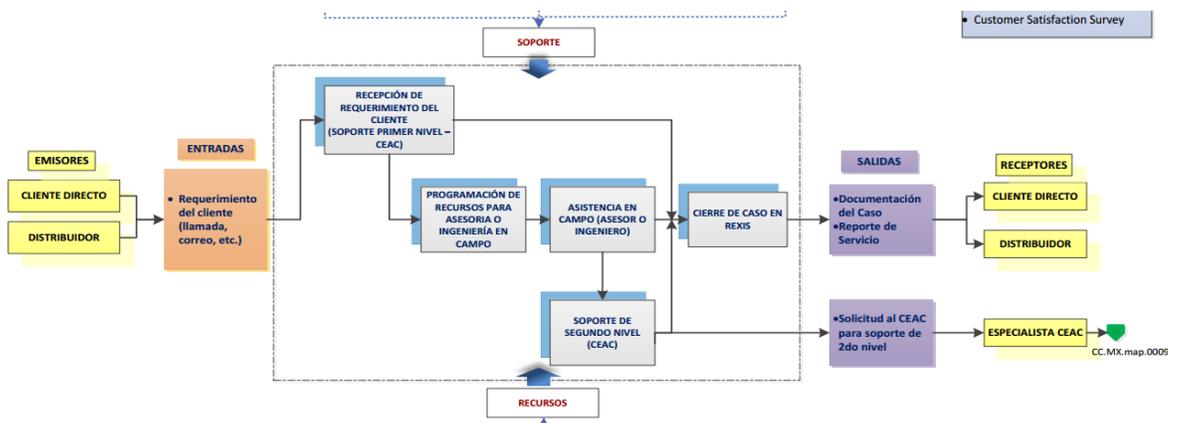


Figura 1. Mapa de proceso de atención RCSC

#### *Soporte telefónico primer nivel*

Esta actividad se encarga de recolectar las solicitudes de soporte realizadas por los clientes, brindando asesoría para solucionar un error en alguno de los equipos. Dicho soporte no debe superar el máximo tiempo permitido, el cual varía según la política de atención definida por el gerente.

Por otra parte, se debe atender los casos dentro de un tiempo determinado. Una vez se supera este tiempo el caso se despacha sin ser atendido a la filial encargada.

#### *Soporte telefónico segundo nivel*

Por otra parte, el personal de servicio de cada país cuenta con dos tipos de personal para brindar asistencia a clientes: ingeniería o aplicaciones. Quienes pueden contactarse al centro de servicios con el fin de ser asistidos en la solución de un problema, información técnica o de configuración de un instrumento o escalamiento de casos a fábrica.

#### *Estructura organizacional y recursos del centro de servicios*

De forma general la compañía clasifica sus productos en cuatro portafolios de servicios segmentados por el tipo de test en estudio (Roche, 2015), dividiendo de esta misma manera los grupos de atención para su operación:

#### *Grupos operativos*

*Grupo línea de sueros:* Comprende los instrumentos para realizar análisis de química clínica e inmunoquímica.

*Grupo línea de hematología y orinas:* Se encarga del soporte para analizadores de cuadros hemáticos y uro análisis.

*Grupo línea de coagulación y POC (point of care):* Brinda soporte a la línea de gases sanguíneos, coagulación y los instrumentos de atención rápida conocidos como POC.

*Grupo línea de biología molecular y tinciones especiales:* Este segmento se encarga de los estudios más especializados para la identificación de mutaciones genéticas, confirmación de laboratorio clínico y seguimiento de patologías infecciosas.

#### *Tipos de recursos en el centro de servicios*

El RCSC en estudio cuenta con los siguientes tipos de recurso para la atención de las actividades descritas anteriormente.

*Especialista de soporte Nivel 1 Ingeniería:* El objetivo del personal en este nivel es recibir requerimientos de clientes no VIP.

*Especialista de soporte Nivel 1 Aplicaciones:* El objetivo del personal en este nivel es recibir requerimientos de clientes no VIP.

*Especialista Senior de soporte Nivel 2 Ingeniería:* El objetivo del personal en este nivel es recibir requerimientos de clientes VIP sobre temas relacionados a problemas de ingeniería en el instrumento, brindar asesoría de segundo nivel a ingenieros de servicio en la región, y así mismo brindar soporte de campo en caso de casos críticos, instalaciones o entrenamientos.

*Especialista Senior de soporte Nivel 2 Aplicaciones:* El objetivo del personal en este nivel es recibir requerimientos de clientes VIP sobre temas relacionados a reactivos y configuración del instrumento, brindar asesoría de segundo nivel a especialistas de aplicaciones de la región, y así mismo brindar soporte de campo en caso de casos críticos, instalaciones o entrenamientos.

#### *Tiempos de operación del centro de servicios*

El centro de servicios presta atención de la siguiente manera:

Tipo de recurso	Tiempo de operación
Especialista de soporte Nivel 1 Ingeniería	Lunes a viernes: 6:00 hasta las 23:00 horas. Cada grupo operativo se subdivide para atender los horarios (8 horas): <ul style="list-style-type: none"><li>• 6:00-14:00</li><li>• 14:00-23:00</li></ul>
Especialista de soporte Nivel 1 Aplicaciones	
Especialista Senior de soporte Nivel 2 Ingeniería	
Especialista Senior de soporte Nivel 2 Aplicaciones	

**Tabla 2 Tiempos de operación para cada recurso**

#### *Acuerdos de servicio de la compañía*

Aunque existen diferentes acuerdos de atención, para el objeto de este proyecto se tendrán en cuenta los siguientes dos acuerdos, los cuales impactan directamente el tiempo y mano de obra requerido en el RCSC:

- Los clientes no pueden esperar más de 1 hora (1.5 horas en algunos casos), en ser atendidos.
- La cantidad de casos que no pueden ser atendidos debe ser menor a 2 casos por hora. De otra manera, los servicios en campo pueden colapsar.

#### *Modelo actual para Capacidad de Servicio*

La metodología actualmente usada para el cálculo de la capacidad de servicio en las diferentes estructuras de servicio de la compañía (no solo para el RCSC) se normaliza en unidades de FTE (full time equivalent, equivalente de tiempo completo) el cual se describirá a continuación. Los dos conceptos clave (equivalente de servicio y equivalente de tiempo completo) para entender el proceso de cálculo de mano de obra usado actualmente son descritos a continuación y posteriormente se muestra un ejemplo.

#### *Equivalente de servicio (SE)*

Debido a que la compañía opera a nivel mundial, definió un estándar corporativo para medir la cantidad de servicio que requiere un país. Dicha unidad se conoce como equivalente de servicio (SE). Enmarca el cálculo para la carga de trabajo para diferentes tipos de servicio, dependiendo de tres procesos de servicio principales: implementación de un sistema, reparaciones y mantenimiento preventivo. Lo anterior aplica para los servicios de campo, sin embargo; el RCSC adapta este concepto pues no existe una definición corporativa para los centros de servicios.

La tasa de equivalentes de servicio para un empleado de tiempo completo (FTE, full time equivalent), es independiente a un país específico o sus niveles de costos operativos pues provee un estándar justo para comparar la carga de trabajo para la ejecución del servicio.

Su origen se fundamenta en un reporte global que califica el servicio por instrumento (SIQ). En dicho informe se encuentra concentrada la información de los reportes diligenciados por cada uno de los ingenieros de soporte a nivel mundial, excluyendo el soporte telefónico debido a la gran diferencia en la documentación para esta actividad. Por otra parte, la información documentada relacionada a los viajes en cada país es tomada en cuenta por los reportes locales correspondientes y no un estándar global.

Para el cálculo de los equivalentes de servicio se utiliza la mediana de las actividades reportadas en SIQ, excluyendo todas aquellas actividades que no tiene un registro en el sistema.

Con el fin de establecer una métrica estándar para el cálculo, globalmente se utiliza la mediana para el equipo Elecsys 2010 el cual tiene un equivalente de servicio igual a 14 horas para rutina. Es decir que un SE equivale a 14 horas (en el RCSC se usa un valor calculado según la cantidad de horas reportadas el año inmediatamente anterior), valor a partir del cual se creó un archivo maestro con el SE para cada una de las actividades principales descritas anteriormente por instrumento. De esta manera, actualmente todos los equipos tienen un valor estándar de SE con el cual se calcula el recurso asociado para su atención (FTE).

Partiendo de la recopilación de la base instalada de cada país se procede a realizar la sumatoria de los equivalentes de servicio para las tres actividades principales:

$$\begin{aligned}
 \text{Total SE} = & \sum \text{Número de sistemas activos} * \text{SE (reparación)} \\
 & + \sum \text{Número de sistemas activos mantenidos} * \text{SE (mantenimiento preventivo)} \\
 & + \sum \text{Número de sistemas nuevos instalados} * \text{SE (Implementación)}
 \end{aligned}$$

**Ecuación 1 Calculo total SE.**

Como se mencionó inicialmente el RCSC basa su cálculo en el anterior proceso descrito, no obstante; realiza una adaptación puesto que los servicios de soporte telefónico no son tenidos en cuenta (actividad principal del centro de servicios). Por esta razón, el cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$SE = \text{Base instalada} * RCSCSE$$

**Ecuación 2 Calculo SE.**

Las variables involucradas tienen las siguientes unidades:

SE, equivalente de servicio (*Unidad: sin dimensiones*)

Base instalada, Cantidad de equipos registrada en el sistema SIQ (*Unidad: equipo*)

RCSCSE, equivalente de servicio del RCSC (*Unidad:  $\frac{\text{hora}}{\text{año} * \text{equipo}}$* )

El RCSCSE se calculan a partir del reporte de horas del año inmediatamente anterior, de la siguiente manera y sirve para realiza la proyección futura de equivalentes de servicio, este parámetro estandariza el tiempo requerido por equipo al año:

$$RCSCSE = (Horas de servicio estimadas)/Base instalada Actual$$

### Ecuación 3 Calculo equivalente de servicio RCSC.

Las *Horas de servicio estimadas* por año se calculan de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} & \text{Horas de servicio estimadas} \\ & = (\text{Tiempo promedio de atención por caso} * \text{Número de casos al año}) + \text{Horas SoS} \end{aligned}$$

### Ecuación 4 Calculo de horas de servicio estimadas al año.

Las variables involucradas tienen las siguientes unidades:

Tiempo promedio de atención por caso (*Unidad: horas*)

Número de casos al año (*Unidad: caso*)

Horas SoS, tiempo en horas de servicio de campo invertidas al mes registradas en SIQ (*Unidad: horas/mes*)

### Calculo de FTE actual

El proceso actual para conocer la cantidad de recurso humano requerido para atender los requerimientos de primer y segundo nivel de soporte, utiliza un estándar (*FTEstd*) de horas por cada FTE al año, y se realiza de la siguiente manera, teniendo en cuenta que:

$$FTEstd: 1 FTE puede soportar 1824 \left( \frac{\text{horas}}{\text{año}} \right); \text{ es decir que } 1 FTE = 1824 SE$$

### Ecuación 5 Horas por FTE al año.

$$FTE = \text{Horas de servicio estimadas} / FTE_{\text{std}}$$

#### Ecuación 6 Cálculo de FTE

##### *Ejemplo cálculo de mano de obra actual*

La línea de equipos de coagulación y POC tiene una base instalada de 1430 equipos, un Tiempo promedio de atención por caso de 1 hora y en el año 2019 ingresaron 4981 casos, para el primer nivel de soporte. En este caso las horas SoS son cero, pues en este nivel de atención, no se generan horas de atención en campo.

Usando la *Ecuación 4*, se obtiene las horas de servicio estimadas para esta línea:

$$\text{Horas de servicio estimadas Coagulación y POC 1er nivel de soporte} = (1 * 4981) + 0 = 4981 \text{ horas/año}$$

Para calcular la cantidad de FTE requeridas para este número de horas se usa la *Ecuación 6*:

$$FTE = \frac{4981 \left( \frac{\text{horas}}{\text{año}} \right)}{1824 \left( \frac{\text{horas}}{\text{año}} \right)} = 2,72$$

Usando la *Ecuación 3*, se obtiene el RCSCSE:

$$RCSCSE = 4981 \left( \frac{\text{horas}}{\text{año}} \right) / 1430 \text{ equipos}$$
$$RCSCSE = 3,47 \left( \frac{\text{horas}}{\text{año}} \right) / \text{equipo}$$

En la actualidad el proceso de revisión de la mano de obra requerida se realiza en el mes de marzo del periodo actual. Para lo cual, el gerente del área realiza una regresión lineal de la base instalada, usando el registro de los meses Septiembre, diciembre de dos años anteriores, y marzo, junio del año inmediatamente anterior.

Para el caso evaluado se toma como tiempo presente el mes de junio del 2019. La tabla 3, muestra los registros de base instalada según lo descrito anteriormente.

Línea	Base Instalada Histórica (equipos)			
	sep-18	dic-18	mar-19	jun-19
Coagulación y POC	1826	1766	1449	1430

Tabla 3 Base instalada histórica Coagulación y POC

Factores regresión lineal		Pronóstico de base instalada (equipos)			
a	b	sep-20	dic-20	mar-21	Jun-21
-1.49	66541,46	709	574	440	306

Tabla 4 Pronóstico de base instalada coagulación y POC

Al revisar los datos entregados por el RCSC sobre los cambios en la base instalada de las diferentes líneas de productos no se observa el efecto de factores estacionales en el comportamiento de la base instalada. Lo anterior se puede deber a que este registro es el acumulado de toda la base de equipos de Latinoamérica, por lo cual los factores estacionales (propios de cada país) se pueden ver traslapados al analizar el total de la base instalada. Por otra parte, en esta investigación se consideró la variación de la base instalada como exógena debido a que no se pudo tener acceso a la información de cada país mes a mes, únicamente se pudo conocer el acumulado de los periodos ya indicados. La siguiente tabla muestra el comportamiento de la base instalada de las diferentes líneas de producto en los meses de septiembre y diciembre del año 2018, y marzo, junio de 2019.

Línea	Base Instalada Histórica (equipos)			
	sep-18	dic-18	mar-19	Jun-19
Coagulación y POC	1826	1766	1449	1430
RMD/RTD	1431	1436	1176	1131
STS	4837	4943	3662	3747
SWA	7671	7843	6912	7084

Tabla 5 Base instalada histórica de todas las líneas de producto

De forma general se observa una tendencia negativa en la cantidad de equipos instalados, comportamiento asociado a la tendencia del sector a la centralización de los laboratorios clínicos. Lo cual busca disminuir los costos y mejorar la eficiencia

operativa, apalancándose en plataformas de mayor capacidad y rendimiento. (Malone, 2013) (Church & Hall, 1999) (Simons, 2019)

En la sección 7 se consideran tres contextos:

- En el escenario base, se realiza la comparación del modelo desarrollado, con la metodología actualmente empleada por el RCSC para el cálculo de la mano de obra requerida.
- El escenario 1 analizó la posible disminución de la base instalada para el año 2021, según la regresión lineal de la tabla 3.
- El escenario 2 analizó el caso opuesto al punto anterior, considerando una pendiente positiva en la regresión de la base instalada para 2021.

La variable que se necesita encontrar, es el número de horas de soporte requeridas para la nueva cantidad de equipos. Es decir se debe calcular el equivalente de servicio para la cantidad de equipos en junio de 2021, tomando el pronóstico de base instalada para junio de 2021, y restarle el último registro real de base instalada (Marzo 2019, Ver tabla 3) y aplicar la *Ecuación 2*:

$$SE = (306 - 1430) * 3,47 = -3901 \left( \frac{\text{horas}}{\text{año}} \right)$$

Y usando el estándar de la *Ecuación 5*, se realiza la conversión de SE a FTE, dividiendo la cantidad de SE entre el tiempo máximo que puede soportar 1 FTE:

$$1 \text{ FTE} = 1824 \text{ SE}$$

$$\frac{-3901 \text{ SE}}{1824 \text{ SE}} = -2,14 \text{ FTE}$$

Debido a que la base instalada pronosticada para junio de 2021 es menor a la del último registro, se obtiene que la cantidad de FTE disminuye. Si actualmente esta línea cuenta con 3 FTE, se tendría que despedir 2 empleados y el restante estaría trabajando por debajo del 100% de su capacidad.

### 6.1.2 Diagrama causal

Luego de realizar un análisis del proceso de atención e identificar los parámetros más determinantes dentro del sistema y su relación con la cantidad de servicio deseada, se obtuvo el siguiente diagrama causal:

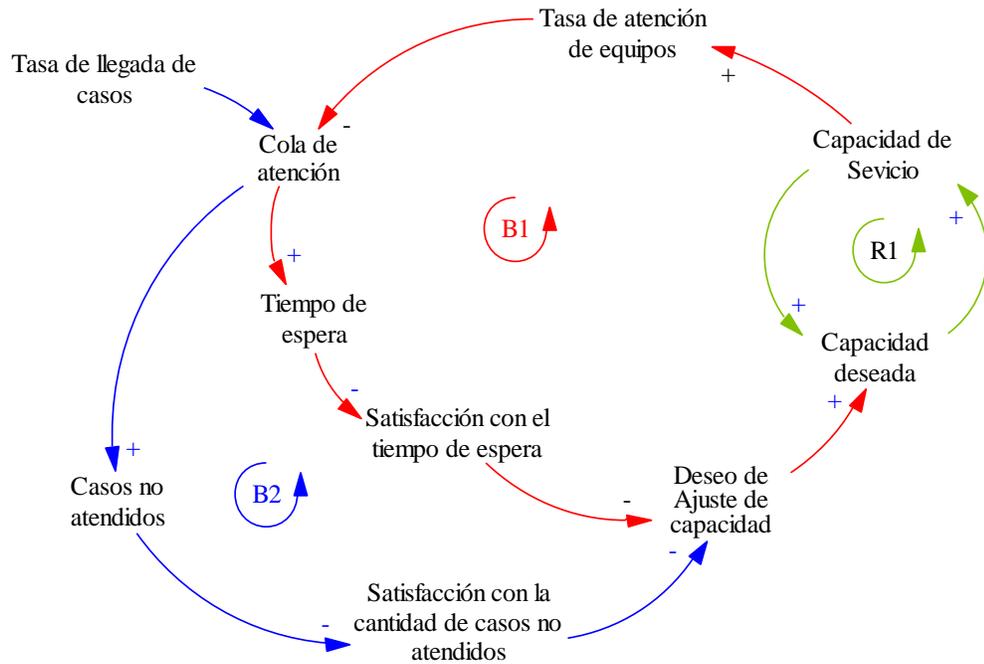


Figura 2 Diagrama causal RCSC

El diagrama causal de la figura 2 se compone de dos bucles de balance y uno de refuerzo. Y se asemeja al arquetipo conocido como búsqueda de meta o escalamiento (“goal seeking”, “High climbing”)(Sterman, 2000), en el cual se genera un proceso de adaptación hasta que el estado deseado sea igual al requerido. Este proceso se puede entender inicialmente como un sistema de primer orden (Sterman, 2000) (van Ackere et al., 2013) (Becerra Fernandez et al., 2013), y posteriormente se transforma en un proceso más complejo al adicionar más variables.

Este estudio inicia con una cola de atención de casos, alimentada por la tasa de llegada de casos al centro de servicios. Cuando esta cola aumenta, el número de casos no atendidos y el tiempo de espera de atención también, formando dos bucles de balance B1 y B2 los cuales controlan el comportamiento del deseo de ajuste de capacidad. La reacción del sistema es lograr ajustar la diferencia entre la capacidad de servicio actual y la capacidad deseada, formando un bucle de refuerzo

R1. Su comportamiento natural de crecimiento exponencial es controlado por los dos bucles de balance, representando las limitaciones presentes en la vida real.

### 6.1.3 Diagrama de flujos y niveles

A continuación, se presenta el diagrama de flujos y niveles para el RCSC. Este se compone de dos modelos: modelo cola de atención de casos (Ver figura 3) y el modelo de ajuste de capacidad (Ver figura 4), para la elaboración de estos modelos se tomó como referencia los modelos de los capítulos 17 y 19 de (Sterman, 2000). En las siguientes secciones de este documento se detalla cada una de las variables.



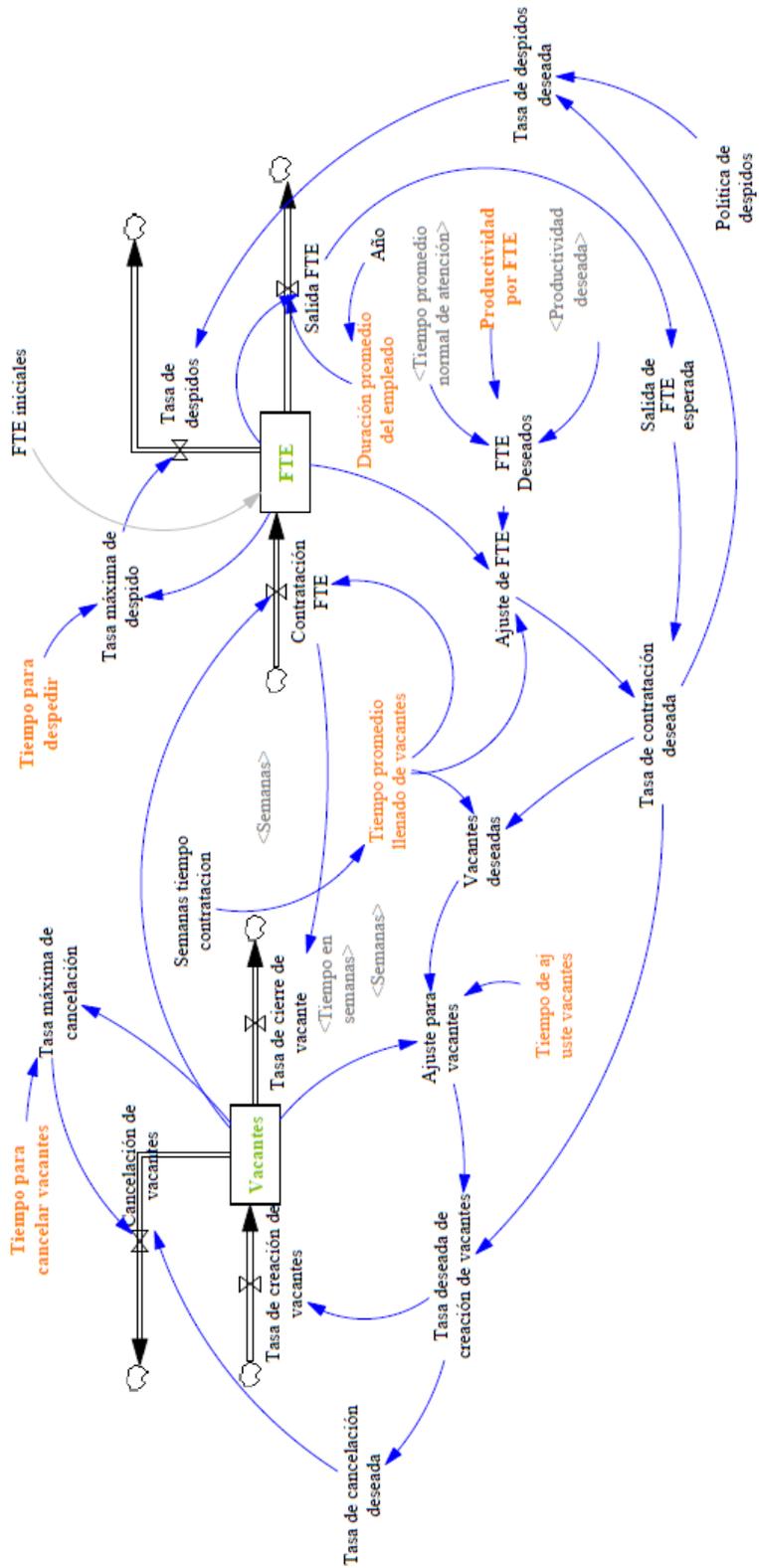


Figura 4 Modelo ajuste de capacidad

#### 6.1.4 Variables de nivel

##### *Cola de atención de casos*

Representa el total de casos y su comportamiento en el sistema con respecto al flujo de llegada de casos, la tasa de atención de casos y el flujo de casos no atendidos. Se representa por la siguiente ecuación:

$$\text{Cola de atención de casos} = \text{Integer}(\text{Casos} - \text{Casos no atendidos} - \text{Tasa de atención de casos})$$

##### **Ecuación 7 Cola de atención de casos**

##### *FTE*

Agrupar a los empleados necesarios para mantener la operación del RCSC, cambia su estado por la contratación, salida o despido de personal. Se representa con la siguiente ecuación:

$$FTE = \text{Integer}(\text{Contratación FTE} - \text{Salida FTE} - \text{Tasa de despidos})$$

##### **Ecuación 8 FTE (Equivalente de tiempo completo)**

##### *Vacantes*

Las vacantes ayudan a simular los tiempos y procesos de contratación dentro de la compañía. Se representa con la siguiente ecuación:

$$\text{Vacantes} = \text{Integer}(\text{Tasa de creación de vacantes} - \text{Cancelación de vacantes} - \text{Tasa de cierre de vacante})$$

##### **Ecuación 9 Vacantes**

#### 6.1.5 Flujos del sistema

##### *Casos*

Este flujo simula la llegada de casos al centro de servicios, y se complementa con la función STEP para poder simular variaciones en la tasa de llegada de casos en cualquier punto de la simulación.

$$\text{Casos} = \text{Tasa de llegada de casos} + \text{STEP}(\text{Incremento}, \text{Tiempo de incremento en semanas})$$

##### **Ecuación 10 Flujo de entrada de casos**

##### *Tasa de atención de casos*

Este flujo de salida simula el proceso de atención de casos del sistema. Depende de la cantidad de casos en cola y la capacidad de servicio utilizada, y se calcula de la siguiente manera:

*Tasa de atención de casos = Productividad actual \* Productividad en uso*

#### **Ecuación 11 Tasa de atención de casos**

##### *Casos no atendidos*

Una vez el tiempo máximo de espera para atender un caso es superado, se despacha el caso a la filial correspondiente sin ser procesado. Se calcula de la siguiente manera:

*Casos no atendidos = IF THEN ELSE(Politica tiempo de atención = 1, Cola de Atención de casos, 0 )*

#### **Ecuación 12 Casos no atendidos**

##### *Contratación FTE*

Este flujo simula el proceso de contratación de un empleado, teniendo en cuenta los tiempos promedio actuales del proceso en la compañía. Está dado por:

*Contratación FTE = Vacantes/Tiempo promedio llenado de vacantes*

#### **Ecuación 13 Contratación FTE**

##### *Salida FTE*

Los empleados del centro de servicio pueden tomar la decisión de retirarse de la compañía en cualquier momento, por lo cual este flujo utiliza el tiempo promedio de permanencia de los empleados como referencia y se define como:

*Salida FTE = FTE/Duración promedio del empleado*

#### **Ecuación 14 Salida FTE**

##### *Tasa de despidos*

Sin embargo, el empleado también puede ser despedido por la compañía. Por esta razón, se simula dicho proceso teniendo la posibilidad de activar o no la política de despidos de acuerdo a las decisiones corporativas, y se limita por el máximo de despidos permitidos.

*Tasa de despidos = MIN(Tasa de despidos deseada, Tasa máxima de despido)*

#### **Ecuación 15 Tasa de despidos**

### *Tasa de creación de vacantes*

El modelo de contratación está dividido en dos sub procesos: contratación y creación de vacantes. Este flujo simula el tiempo que toma recursos humanos para realizar los trámites internos de creación de vacantes:

$$Tasa\ de\ creación\ de\ vacantes = MAX(0, Tasa\ deseada\ de\ creación\ de\ vacantes)$$

#### **Ecuación 16 Tasa de creación de vacantes**

### *Tasa de cierre de vacantes*

Así mismo, las vacantes no se llenan inmediatamente estas se crean pues dependen del comportamiento del mercado laboral (exógeno en este modelo). Por lo anterior, este flujo es igual a la contratación de vacantes:

$$Tasa\ de\ cierre\ de\ vacantes = Contratación\ FTE$$

#### **Ecuación 17 Tasa de cierre de vacantes**

### *Cancelación de vacantes*

Dentro de los procesos de contratación también existe la posibilidad de que las circunstancias que originaron el requerimiento de mano de obra cambie durante el proceso de contratación, generando que el proceso se detenga y la vacante se cancele o se posponga:

$$Cancelación\ de\ vacantes = MIN(Tasa\ de\ cancelación\ deseada, Tasa\ máxima\ de\ cancelación)$$

#### **Ecuación 18 Cancelación de vacantes**

## 6.1.6 Variables auxiliares

### *Máximo nivel de servicio*

El centro de servicios tiene una cantidad limitada de recurso humano, el cual es usado según sea la tasa de llegada de casos, manteniendo una relación de un caso por empleado (FTE). Entre mayor sea el tamaño de la cola de atención, mayor será el nivel de servicio deseado, pues el tiempo promedio de atención por caso es un valor constante. Se calcula:

$\text{Máximo nivel de servicio} = \text{Cola de Atención de casos} / \text{Tiempo promedio normal de atención}$

#### Ecuación 19 Máximo nivel de servicio

#### *Productividad en uso*

En el sistema se utilizó una relación no lineal entre el nivel de servicio deseado y la productividad actual, simulando la usabilidad del recurso según la demanda. Este modelo permite una sobre carga de trabajo de máximo 25% y su nivel óptimo de atención se presenta cuando se tiene una relación de un caso por empleado, y si el nivel de servicio deseado es 0, la productividad en uso también. Esta tabla fue creada siguiendo el capítulo 14 de (Sterman, 2000).

Se define como:

$\text{Productividad en uso} = \text{WITHLOOKUP}(\text{Máximo nivel de servicio} / \text{Productividad actual})$

#### Ecuación 20 Productividad en uso

Y su relación está dada por la siguiente gráfica:

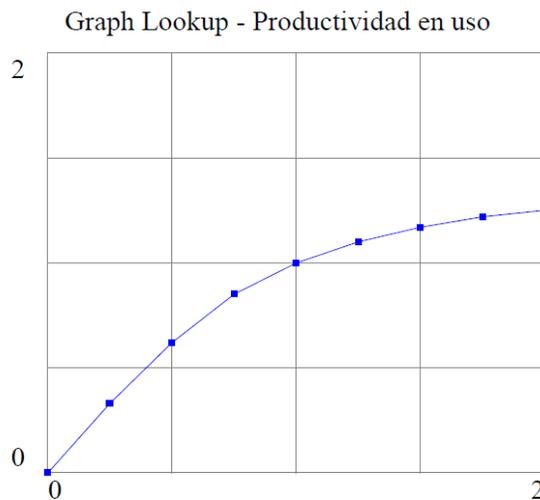


Figura 5 Relación productividad en uso (Nivel de servicio vs Productividad en uso)

La figura 5 muestra el modelo teórico expuesto por (Sterman, 2000). El planteamiento de la tabla mantiene tres puntos fundamentales, los cuales fueron revisados con los líderes del proceso de atención:

- Cuando el nivel de servicio deseado es cero, la productividad en uso también.
- El modelo maneja una relación de atención de 1:1. Cuando el nivel de servicio deseado es 1 (máximo), la productividad en uso es también máxima.
- Se consideró que un FTE puede manejar como máximo un 25% más de carga de trabajo. Es decir que puede atender máximo 1.25 casos máximo.

### *Retardo de atención*

Uno de los parámetros determinantes del comportamiento del modelo es la relación entre la cola de atención y la tasa de atención para esta cola. El cociente entre estas dos variables permite obtener el tiempo de atención actual, para luego poderlo comparar con el máximo permitido y realizar el ajuste pertinente.

$$\text{Retardo de atención} = \text{Cola de Atención de casos} / \text{Tasa de atención de casos}$$

#### **Ecuación 21 Retardo de atención**

### *Política tiempo de atención*

Como se describió en la sección 6.1.1, el centro de servicios debe cumplir con los acuerdos de servicio pactados. Uno de ellos es el tiempo máximo de espera de un caso para ser atendido, comparando el retardo instantáneo actual del modelo con el máximo permitido y en caso de ser superado los casos deben ser despachados directamente a la filial sin ser atendidos, de la siguiente manera:

$$\text{Política tiempo de atención} = \text{IF THEN ELSE}(\text{Retardo de atención} > \text{Máximo retardo de atención permitido}, 1, 0)$$

#### **Ecuación 22 Política tiempo de atención**

### *Presión retardo de atención*

Adicionalmente la relación entre el tiempo de espera del sistema y el máximo tiempo permitido genera una presión en los gerentes del centro de servicios para realizar el ajuste pertinente según sea el caso.

*Presión retardo de atención = Retardo de atención / Máximo retardo de atención permitido*

#### Ecuación 23 Presión retardo de atención

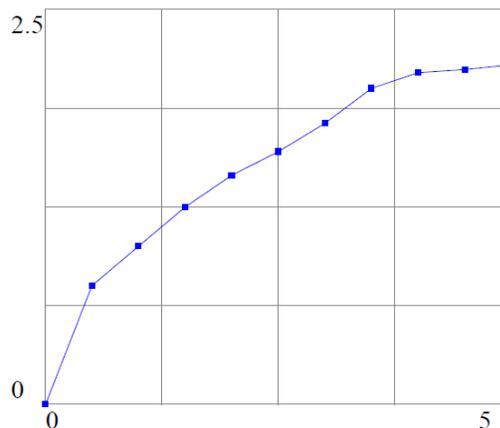
##### *Efecto de la presión retardo de atención*

La presión en los gerentes genera un efecto en el sistema, el cual es capturado a través de esta variable. Sin embargo, su comportamiento no es lineal y sigue una relación según la figura 6. Cuando la presión es cero, el efecto de la presión es cero. Si la presión es igual a uno, el efecto también es 1. Sin embargo, cuando la presión es mayor a uno, el efecto puede llegar hasta dos veces el valor normal. Esta tabla fue creada siguiendo el capítulo 14 de (Sterman, 2000).

*Efecto de la presión retardo de atención = WITHLOOKUP( Presión retardo de atención)*

#### Ecuación 24 Efecto de la presión retardo de atención

Graph Lookup - Efecto de la presión retardo de atención



**Figura 6 Efecto de la presión retardo de atención (Presión de atención vs Efecto retardo de atención)**

##### *Política casos no atendidos*

La segunda política determinante en la relación de la demanda de casos con la capacidad de atención (Sección 6.1.1), comprende la decisión corporativa de prestar atención a la cantidad de casos que no pueden ser atendidos en el centro de servicios. Si en algún momento se deben despachar casos directamente a las filiales, se genera una presión en los gerentes para evitar dicho comportamiento y

un deseo de ajustar la capacidad de servicio actual. Para captar este efecto, el simulador permite al operador activar o no esta política.

$$\text{Política casos no atendidos} = \text{GAME} (1)$$

#### **Ecuación 25 Política casos no atendidos**

##### *Presión para aumentar la capacidad, caso no atendidos*

La cantidad de casos no atendidos no puede superar el máximo permitido por el gerente del área. Una vez esta cantidad se supera, el percibe una presión para tomar alguna decisión que permita mantener dicha cantidad por debajo del valor máximo. Este comportamiento se simula calculando la relación entre la cantidad de casos no atendidos y el máximo permitido de la siguiente manera:

$$\text{Presión para aumentar la capacidad casos no atendidos} = \text{IF THEN ELSE}(\text{Política casos no atendidos} = 1, \text{Casos no atendidos}/\text{Máxima cantidad de casos no atendidos permitida}, 0)$$

#### **Ecuación 26 Presión casos no atendidos**

##### *Efecto de la presión para aumentar la capacidad, casos no atendidos*

El efecto de la presión percibida por el gerente sigue una relación no lineal, la cual se comporta también de acuerdo a la figura 6, diseñada también siguiendo el capítulo 14 de (Sterman, 2000).

$$\text{Efecto de la presión para aumentar capacidad casos no atendidos} = \text{WITHLOOKUP}(\text{Presión para aumentar la capacidad casos no atendidos})$$

#### **Ecuación 27 Efecto presión casos no atendidos**

##### *Productividad actual*

La productividad actual del sistema depende de la cantidad de FTE actuales y el tiempo promedio de atención y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Productividad actual} = \text{FTE}/\text{Tiempo promedio normal de atención}$$

#### **Ecuación 28 Productividad actual**

##### *Productividad deseada*

Esta variable colecta el efecto de las presiones anteriormente mencionadas y el deseo de los gerentes de ajustar la productividad actual. No obstante, ese ajuste no

se realiza de forma lineal e instantáneamente pues el proceso de contratación o despido requiere de un tiempo.

$$\text{Productividad deseada} = (\text{Productividad actual} * \text{Efecto de la presión retardo de atención}) + (\text{Productividad actual} * \text{Efecto de la presión para aumentar capacidad casos no atendidos})$$

#### **Ecuación 29 Productividad deseada**

#### *Tasa máxima de despido*

Como el centro de servicios no puede ajustar su cantidad de empleados inmediatamente, se debe tomar en cuenta el tiempo de despido promedio. Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Tasa máxima de despido} = \text{FTE} / \text{Tiempo para despedir}$$

#### **Ecuación 30 Tasa máxima de despido**

#### *FTE deseados*

La productividad deseada genera una variación en la cantidad de empleados deseados, para realizar esta conversión se emplea la siguiente ecuación:

$$\text{FTE deseados} = \text{Productividad deseada} * \text{Tiempo promedio normal de atención} * \text{Productividad por FTE}$$

#### **Ecuación 31 FTE deseados**

#### *Ajuste FTE*

Para determinar cuál es valor neto de ajuste a la cantidad de empleados, se debe calcular la diferencia entre el valor actual y el deseado, dividido por el tiempo promedio empleado para llenar las vacantes.

$$\text{Ajuste FTE} = (\text{FTE Deseados} - \text{FTE}) / \text{Tiempo promedio llenado de vacantes}$$

#### **Ecuación 32 Ajuste FTE**

### *Tasa de contratación deseada*

Esta variable totaliza la cantidad total de empleados requeridos, teniendo en cuenta también la cantidad de FTE que salen del sistema.

$$Tasa\ de\ contratación\ deseada = Salida\ de\ FTE\ esperada + Ajuste\ de\ FTE$$

#### **Ecuación 33 Tasa de contratación deseada**

### *Salida de FTE esperada*

En este caso la salida de FTE esperada es igual a la cantidad de FTE que salen debido a que la compañía busca adicionar el recurso que sale del centro de servicios.

$$Salida\ FTE\ esperada = Salida\ FTE$$

#### **Ecuación 34 Salida de FTE esperada**

### *Política de despidos*

Para efectos de simulación, este parámetro se creó para poder ser configurado por el usuario según la posición de la compañía al respecto. Actualmente la compañía tiene una política de no despidos, por lo cual el valor inicial es 0.

$$Política\ de\ despidos = GAME(0)$$

#### **Ecuación 35 Política de despidos**

### *Tasa de despidos deseada*

Si la política de despidos es activada, es decir, que la compañía despide empleados según el comportamiento de la demanda de atención, tomando como referencia la tasa de contratación deseada.

$$Tasa\ de\ despidos\ deseada = Política\ de\ despidos * MAX(0, -Tasa\ de\ contratación\ deseada)$$

#### **Ecuación 36 Tasa de despidos deseada**

### *Vacantes deseadas*

En la sección de vacantes la unidad de trabajo no es FTE si no información. Pues simula el proceso interno de la compañía para crear las vacantes, y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Vacantes deseadas} = \text{MAX}(0, \text{Tiempo promedio llenado de vacantes} * \text{Tasa de contratación deseada})$$

#### **Ecuación 37 Vacantes deseadas**

#### *Ajuste para vacantes*

La diferencia entre el estado actual y la variación en un instante de tiempo está dada por:

$$\text{Ajuste para vacantes} = (\text{Vacantes deseadas} - \text{Vacantes}) / \text{Tiempo de ajuste vacantes}$$

#### **Ecuación 38 Ajuste de vacantes**

#### *Tasa deseada de creación de vacantes*

Representa el flujo de entrada para el nivel Vacantes, y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Tasa deseada de creación de vacantes} = \text{Tasa de contratación deseada} + \text{Ajuste para vacantes}$$

#### **Ecuación 39 Tasa deseada de creación de vacantes**

#### *Tasa de cancelación deseada*

Las vacantes que son canceladas se calculan teniendo en cuenta la tasa máxima de cancelación, y el tiempo promedio usado para cancelar una vacante el cual representa el tiempo usado para notificar a los candidatos que se pudiesen haber contactado.

$$\text{Tasa de cancelación deseada} = \text{MAX}(0, -\text{Tasa deseada de creación de vacantes})$$

#### **Ecuación 40 Tasa de cancelación deseada**

#### *Tasa máxima de cancelación*

El sistema no puede eliminar la información de las vacantes creadas de manera inmediata, por lo cual en el caso de cancelar una vacante se debe tener en cuenta el tiempo requerido para cancelar una vacante:

$$\text{Tasa máxima de cancelación} = \text{Vacantes} / \text{Tiempo para cancelar vacantes}$$

#### **Ecuación 41 Tasa máxima de cancelación**

### *Relación de atención*

Permite conocer la relación entre el flujo de entrada y el de salida. En este caso se calcula como:

$$\text{Relación de atención} = \text{Casos} / \text{Tasa de atención de casos}$$

#### **Ecuación 42 Relación de atención**

### 6.1.7 Constantes o parámetros

#### *Tasa de llegada de casos*

Es el promedio de casos que llegan al centro de servicios por hora. Su valor varía según la línea de servicio en estudio.

#### *Incremento*

Cantidad de casos a incrementar en la simulación por parte del operador. El valor inicial de esta variable es de 0, pero puede ser modificada en la simulación.

#### *Semana*

Instante de tiempo en el cual se presentará el incremento a simular. El usuario ingresa el número de la semana en que se presenta el incremento. El valor inicial de esta variable es de 0, pero puede ser modificada en la simulación.

#### *Tiempo incremento en semanas*

Esta variable se usa para convertir la semana ingresada por el usuario del simulador, a la unidad de operación del simulador que es horas. Se utiliza el valor constante de 56 horas para convertir las semanas a horas.

#### *Tiempo promedio normal de atención*

Representa el tiempo requerido en promedio para atender un caso. Actualmente el tiempo promedio de atención es de una hora.

#### *Máximo retardo de atención permitido*

Tiempo máximo de espera para atender un caso definido por el gerente del área. Actualmente este tiempo es de una hora y media.

#### *Máxima cantidad de casos no atendidos permitida*

Límite de casos que pueden ser despachados a la filial directamente sin ser atendidos. Se define por el gerente de área, y actualmente es de 2 casos.

*Tiempo para despedir*

Tiempo promedio usado por la compañía para despedir a un empleado. El valor actual es de 448 horas.

*Duración promedio del empleado*

Tiempo promedio de permanencia de un empleado dentro de la compañía, este tiempo se ingresa al simulador en años. Actualmente tiene equivale a 10 años.

*Año*

Variable que permite convertir los años promedio de permanencia de un empleado en la compañía, a la unidad de operación del modelo (horas). Usa la constante 2688 horas para convertir los años a horas.

*Productividad por FTE*

Para el modelo actual se establece este parámetro como una constante, según las características actuales del centro de servicios. Cada FTE puede atender un caso.

*Tiempo promedio llenado de vacantes*

Duración promedio para llenar la cantidad de vacantes establecidas por recursos humanos. El tiempo actual es de 16 semanas.

*Tiempo de ajuste vacantes*

Tiempo empleado por recursos humanos para ajustar la cantidad de vacantes totales requeridas. El tiempo actual es de 448 horas.

*Tiempo para cancelar vacantes*

Duración promedio actual del proceso de cancelación de vacantes en el centro de servicios. El tiempo actual es de 56 horas.

## 7 ANÁLISIS DE POLÍTICAS

Para la simulación se utilizan los datos actuales del centro de servicios en el grupo de coagulación y POC, usados en el ejemplo cálculo de mano de obra actual de la sección 6.1.1.

### 7.1 Escenario base y resultados

Este caso simula el contexto actual del centro de servicios para la línea de productos de coagulación y POC, para el servicio de primer nivel de soporte.

Actualmente esta línea de productos tiene los siguientes parámetros de entrada:

- Un total de 4981 casos por año. Lo cual sería equivalente a 1.706 casos por hora.
- El tiempo promedio de atención de una llamada es de 59.72 min, es decir aproximadamente 1h por caso.
- Según los cálculos actuales de FTE requeridos, se asignan actualmente 2.72 FTE.
- El tiempo de simulación es de 8 horas por 365 días, es decir 2920 periodos de tiempo. El simulador tiene un horizonte de simulación de 5 años.
- El máximo retardo de atención permitido es de 80 minutos, aproximadamente 1.2 horas.
- Los tiempos de contratación, creación de vacantes y despido son constantes de acuerdo a lo definido en la sección 6.1.7.
- La política de despidos no está activa actualmente.

Dadas las condiciones anteriores, el simulador presenta el siguiente comportamiento:

### Flujos nivel cola de atención de casos

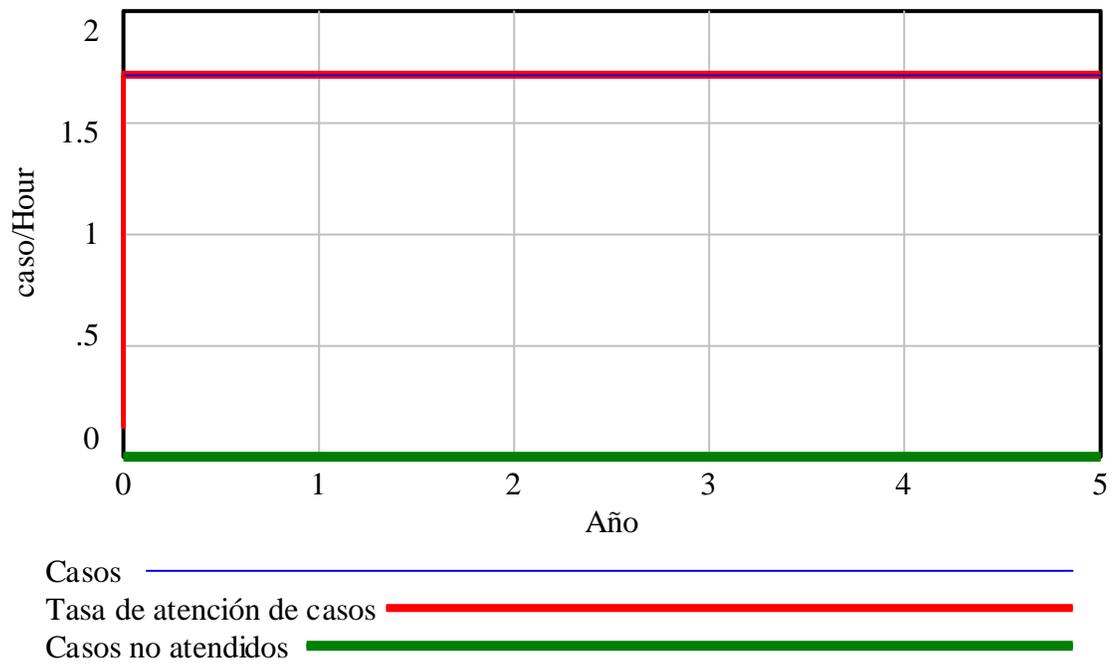


Figura 7 Flujos nivel cola de atención de casos

Debido a que la tasa de llegada de casos es menor a la, la tasa de atención inicial pues la productividad es de 2.72 casos por hora, la figura 7 permite ver como el comportamiento de estas dos variables es muy cercano. Y los casos no atendidos se mantienen en 0.

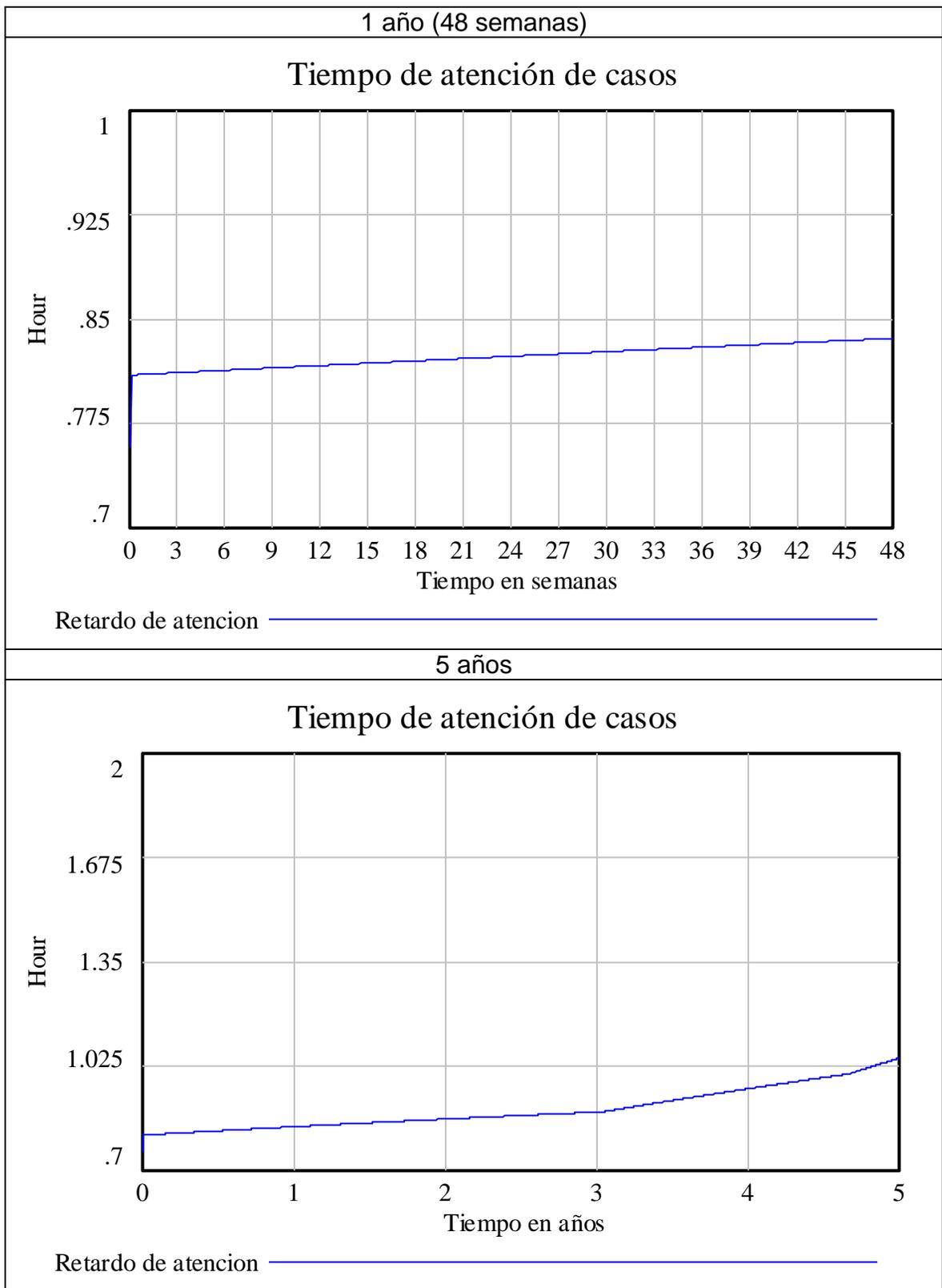


Figura 8 Resultados tiempos de atención Escenario base

Para este escenario el retardo de atención no supera el máximo tiempo permitido (1.2 horas). Durante el tiempo de simulación de un año, este tiempo alcanza un máximo de 0.85 horas. El simulador tiene un horizonte temporal máximo de 5 años, lo cual nos permite ver que el sistema intenta llevar el retardo de atención hasta alcanzar el tiempo máximo permitido, optimizando la cantidad de recurso humano requerido, el cual dada la productividad de un caso por empleado se comportaría de manera ideal si la cantidad de casos que llegan al sistema es igual a la productividad actual. A continuación, se muestra los ajustes que realiza el modelo al nivel FTE.

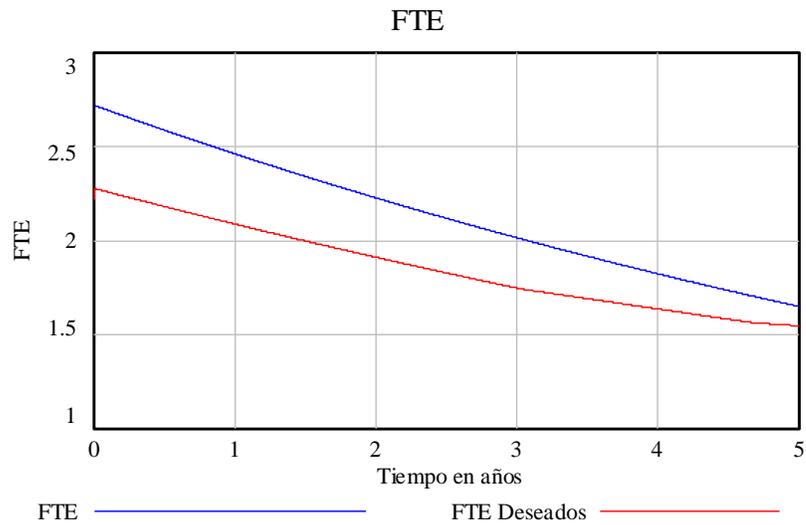


Figura 9 Mano de Obra Escenario base

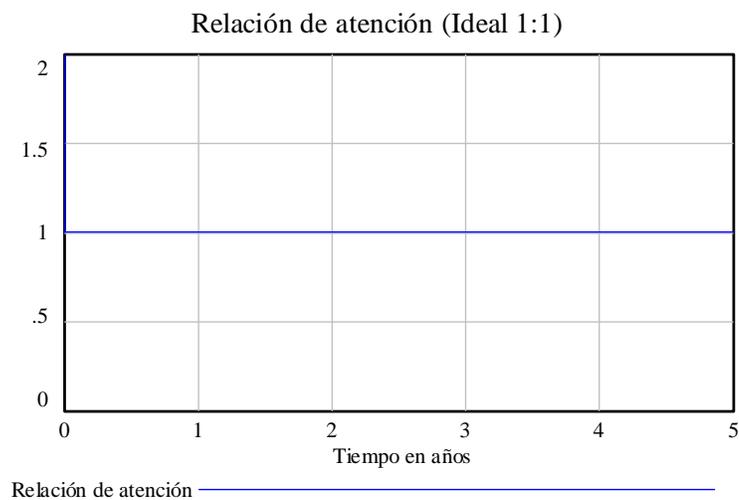


Figura 10 Relación de atención escenario base

Así mismo, la figura muestra que, aunque se presenten variaciones en la mano de obra, el sistema mantiene la relación ideal de un caso por empleado.

La situación presentada anteriormente se comporta de manera ideal, no obstante, es de esperar que se presenten variaciones en la base instalada y por ende en la cantidad de casos que llegan al sistema. O que se presente un cambio en la mano de obra disponible. Por esta razón, a continuación, se presentan dos escenarios que permitirán conocer el comportamiento del modelo ante algunas variaciones posibles.

### 7.1.1 Escenario 1 y resultados

En esta situación se modelará el incremento de base instalada de la sección 6.1.1, para posteriormente realizar una comparación entre los modelos.

El ejemplo de la sección 6.1.1 muestra que en el año 2021 (306 equipos) la base instalada será menor a la actual (1430 equipos). Lo anterior debido a la magnitud de la pendiente en la regresión lineal usada para pronosticar la demanda de equipos futura.

Para poder simular este caso usando el modelo desarrollado, se debe calcular los casos que se tendrán al inicio del año 2021, usando la ecuación 2. Para esto usamos el RCSCSE y lo multiplicamos por la base instalada proyectada, es decir 306 equipos.

$$\begin{aligned} \text{Total de horas año 2021} &= \text{RCSCSE} * \text{Base instalada proyectada 2021} = \frac{3.47 \left(\frac{\text{horas}}{\text{año}}\right)}{\text{equipo}} * 306 \text{ equipo} \\ &= 1061,82 \text{ horas/año} \end{aligned}$$

Sí se tiene en cuenta la relación actual de atención de 1:1, se tendrían 1062 casos para el año 2021. Es decir que para el año 2021 se generaría una reducción de 1.706 casos por hora en 2019 (año 0), a 0.4 casos por hora en 2021 (año 2).

Dadas estas circunstancias a continuación, se muestra el comportamiento del modelo, no como una fotografía de un instante si no como el comportamiento de una variable en el tiempo.

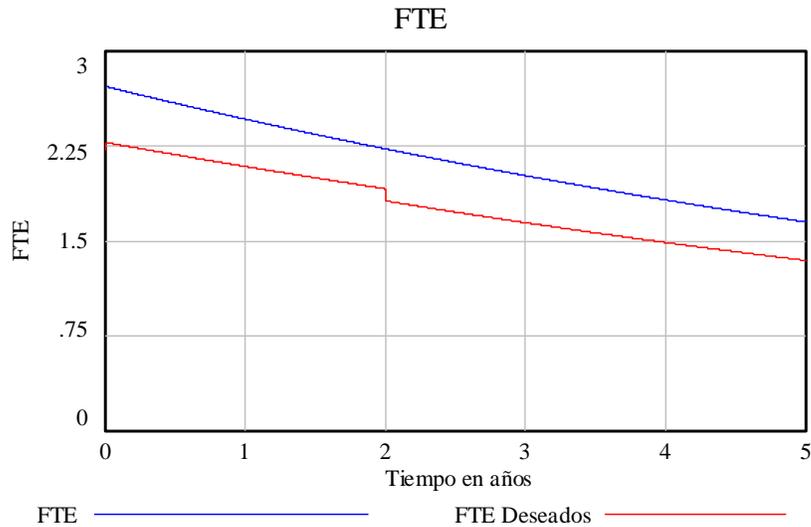


Figura 11 Comportamiento FTE escenario 2

Al simular una disminución en la cantidad de casos por hora según el pronóstico de demanda del ejemplo de la sección 6.1.1, se pudo evidenciar que las limitaciones propias de la compañía para despedir a sus empleados, fundamentada en su política de no despidos y un único flujo de salida asociado al retiro voluntario de personal. Por esta razón, aunque el requerimiento de mano de obra presupuestado con el método usado por la compañía actualmente determina que se requiere despedir 2.14 FTE; el modelo propuesto nos muestra que en el 2021 (año 2) solo se podría alcanzar una disminución máxima de 0.47 y la mano de obra total sería de 2.25 FTE. Y aún en los 5 años simulados, no se alcanzaría la disminución de la mano de obra deseada.

Ahora bien, si la compañía tuviese una política de despidos activa se podría pensar que la mano de obra se podría pensar que se alcanzaría la mano de obra deseada. Pero el modelo permite conocer el efecto de los retardos internos generados por el proceso de despidos. En el año 2 se lograría reducir la mano de obra a 1.5 FTE y solo después de casi dos años y medio más (año 4.5 aproximadamente), se alcanzaría la cantidad de mano de obra deseada.

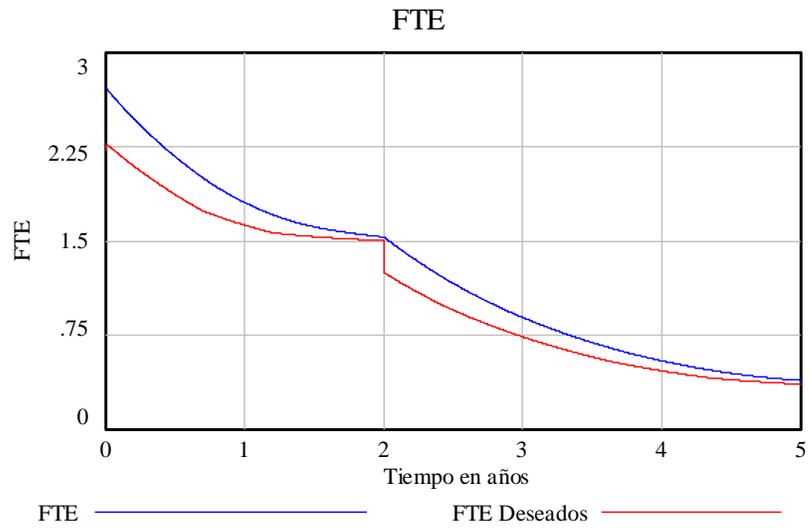


Figura 12 Comportamiento FTE, con la política de despidos activa

Con respecto al comportamiento de los tiempos de atención en este caso se presenta el siguiente comportamiento, para el caso de política de despidos activa y no activa:

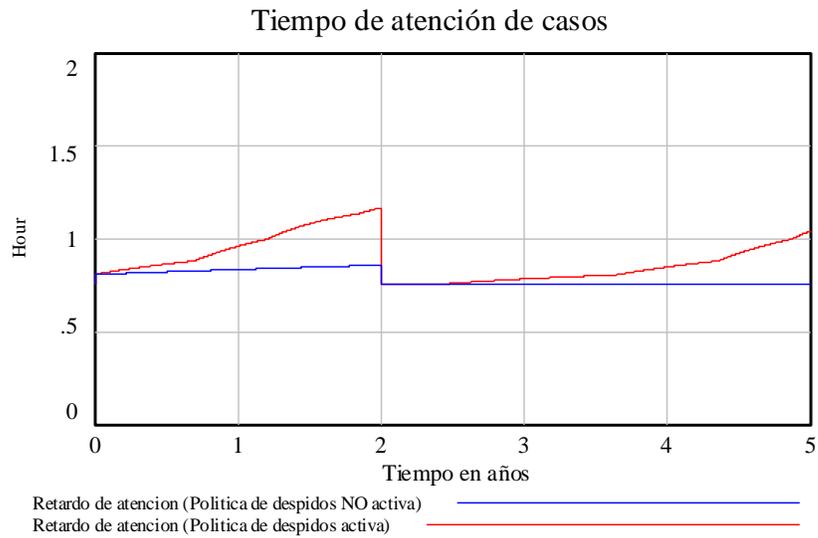


Figura 13 Tiempo de atención de casos Escenario 2

En el caso de que la compañía si tuviese una política de despidos activa, los retardos de atención se incrementarían debido a la salida de empleados. Sin embargo, el simulador nos muestra que no se alcanzaría un retardo mayor al permitido (1.2 horas).

### 7.1.2 Escenario 2 y resultados

El presente escenario trabaja también con los datos del ejemplo de la sección 6.1.1, y presenta el caso en que la demanda de casos tuviese un comportamiento totalmente contrario al escenario 1. Es decir que la pendiente de la tabla 4 fuese positiva, simulando un crecimiento de la base instalada extremadamente positivo.

La base instalada pronosticada sería:

Factores regresión lineal		Pronóstico base instalada		
a	b	sep-20	dic-20	mar-21
1,493	66541	132374	132509	132643

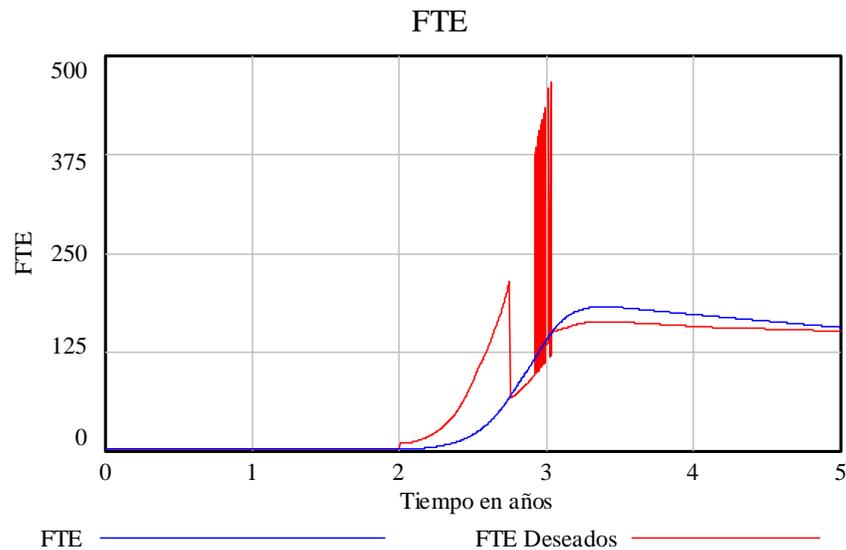
Tabla 6 Regresión lineal escenario 2, pendiente positiva

Usando la ecuación 2 nuevamente,

$$\begin{aligned}
 \text{Total de horas año 2021} &= RCSCSE * \text{Base instalada proyectada 2021} = \frac{3.47 \left( \frac{\text{horas}}{\text{año}} \right)}{\text{equipo}} * 132643 \text{ equipo} \\
 &= 454.375 \text{ horas/año}
 \end{aligned}$$

En este caso extremo simulado, se presentaría un incremento del 900% en la tasa de llegada de casos anual. Sí se tiene en cuenta la relación actual de atención de 1:1 entre empleados y los casos, la nueva cantidad de empleados es de 455 según el método actual de evaluación de mano de obra requerida.

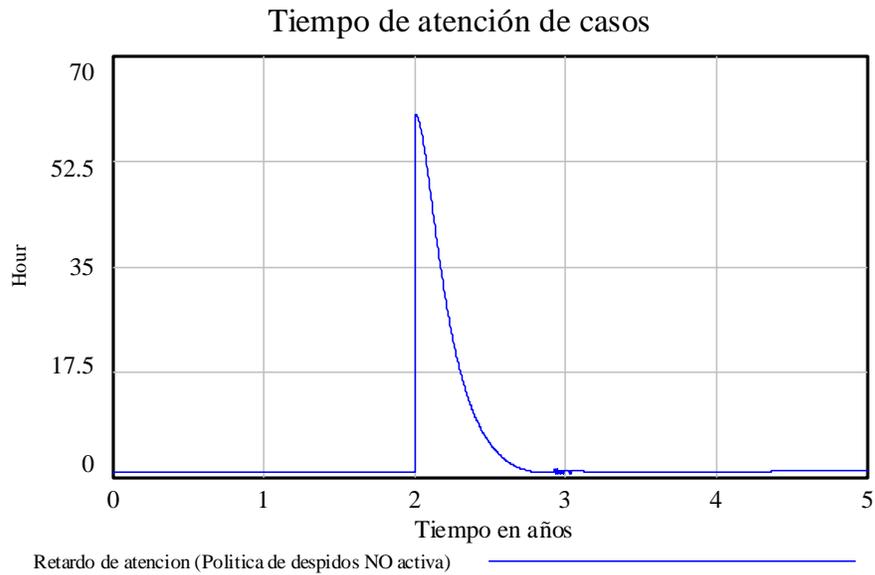
Si se simula este escenario la tasa de llegada de casos por hora sería de 169, y se presentaría el siguiente comportamiento en la mano de obra:



**Figura 14 Comportamiento mano de obra Escenario 2**

Como es de esperarse, la mano de obra deseada (FTE Deseados) se incrementa producto de la nueva tasa de llegada de casos, y lo hace en la misma proporción. Sin embargo, la mano de obra actual (FTE) difiere de la cantidad deseada, debido a que el sistema está restringido por las políticas de tiempo de atención y los retardos generados por los procesos de recurso humanos, comportamiento que simula la realidad. Adicionalmente, el sistema solo aumenta la capacidad de servicio hasta que el tiempo de espera de atención no supere el máximo permitido. Para confirmar esta afirmación, la figura 15 permite ver el comportamiento del tiempo de atención.

Por otra parte, la capacidad deseada entra en oscilación iniciando el año 3 debido al efecto de las presiones generadas por la no atención de casos y el incremento en el tiempo de atención. Una vez el flujo de atención de casos es el suficiente para cumplir con la política de atención, el sistema se estabiliza, Ver figura 16. La capacidad actual de FTE no oscila debido a que no varía según la presión del sistema directamente, sino también con respecto a los tiempos promedio de contratación y despido de la compañía.



**Figura 15 Comportamiento tiempo de atención escenario 2**

El retardo de atención en el año 2 supera el máximo permitido notablemente, llegando a estar por encima de las 50 horas. Este valor empieza a disminuir al contratar nuevos empleados, proceso que demora aproximadamente 10 meses. Es decir, que el sistema solo estaría ajustado (cumpliendo las políticas de atención), después de unos 10 meses.

Por otra parte, teniendo en cuenta que se tendrán casos sin atenderse durante el periodo de ajuste anteriormente descrito es importante conocer el comportamiento del flujo de casos no atendidos. A continuación, se muestra este comportamiento:

### Flujos nivel cola de atención de casos

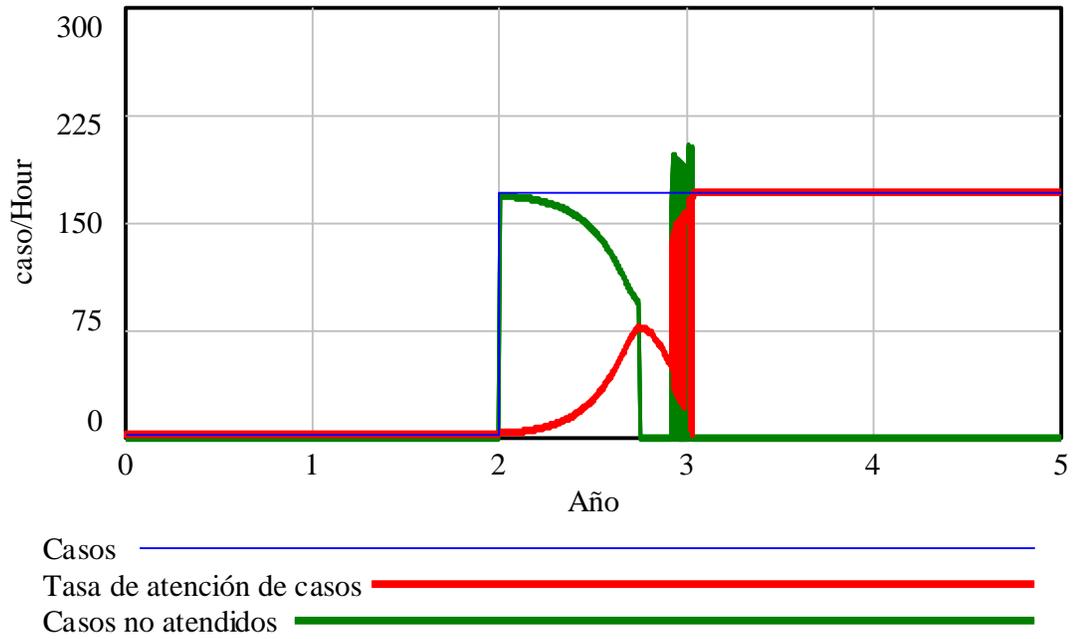


Figura 16 Comportamiento flujo de casos escenario 2

### Flujos nivel cola de atención de casos

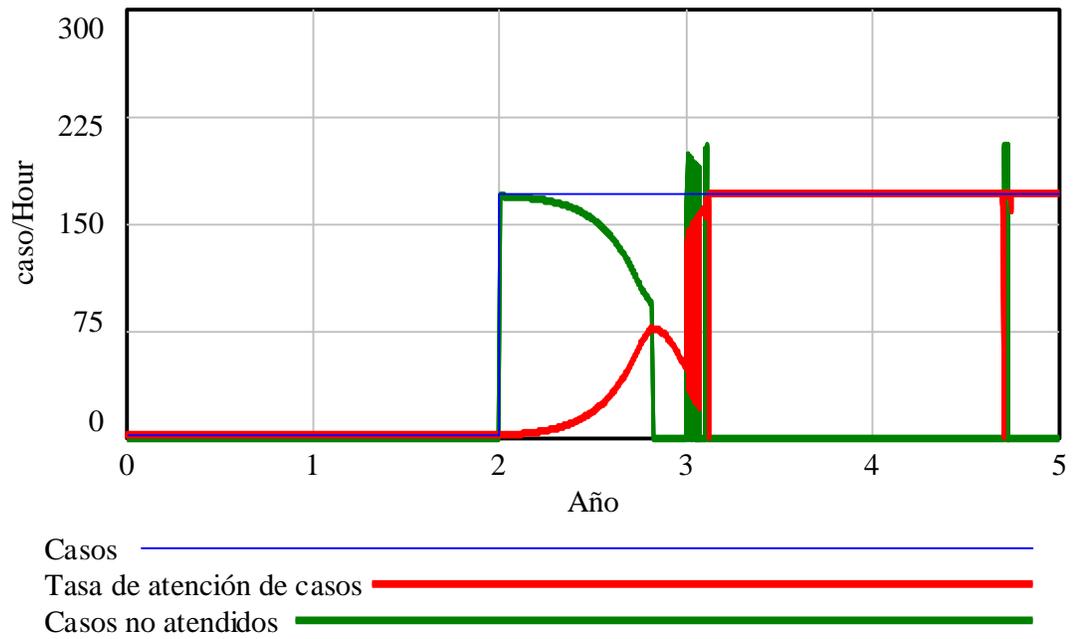
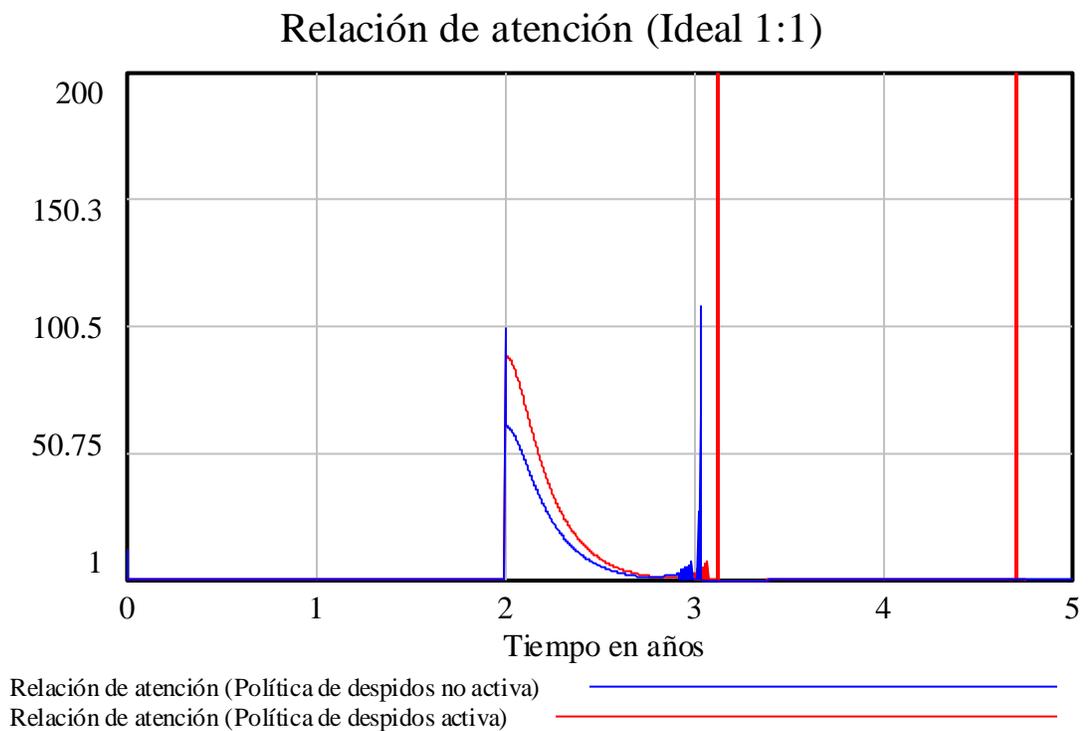


Figura 17 Comportamiento cola de atención con la política de despidos activa

Activar la política de despidos, genera que la cantidad de personal que sale durante el periodo de oscilación sea mayor. Causando que el tiempo de estabilización del sistema sea mayor (Ver Figura 17). Se puede observar que el tiempo de ajuste del sistema supera el inicio del año 3, y en el caso de la Figura 16 este tiempo no lo supera.

Mientras la tasa de atención no alcanza a cumplir con el requerimiento de tiempo máximo de espera, la cantidad de casos no atendidos se incrementa y se mantiene constante hasta que la relación de atención sea nuevamente de 1:1 (Ver figura. 18). Si la política de despidos está activa, pueden presentarse instantes de tiempo en la simulación donde la relación de atención no sea la ideal, como se puede ver en la figura 18. Este comportamiento impacta directamente en la satisfacción del cliente, pues se incumple con los acuerdos de servicio durante un tiempo prolongado, lo cual puede impactar las negociaciones futuras debido a una mala imagen corporativa.



**Figura 18 Comportamiento relación de atención escenario 2**

El cambio en la política de despidos también impacta el comportamiento de la mano de obra, haciendo que el tiempo que tarda el sistema en igualar la cantidad de

empleados deseada con la requerida sea un poco menor. Como se puede ver en la figura 19, las líneas se interceptan cerca al cuarto año; mientras que, en la figura 14 ocurre aproximadamente en la mitad del cuarto año.

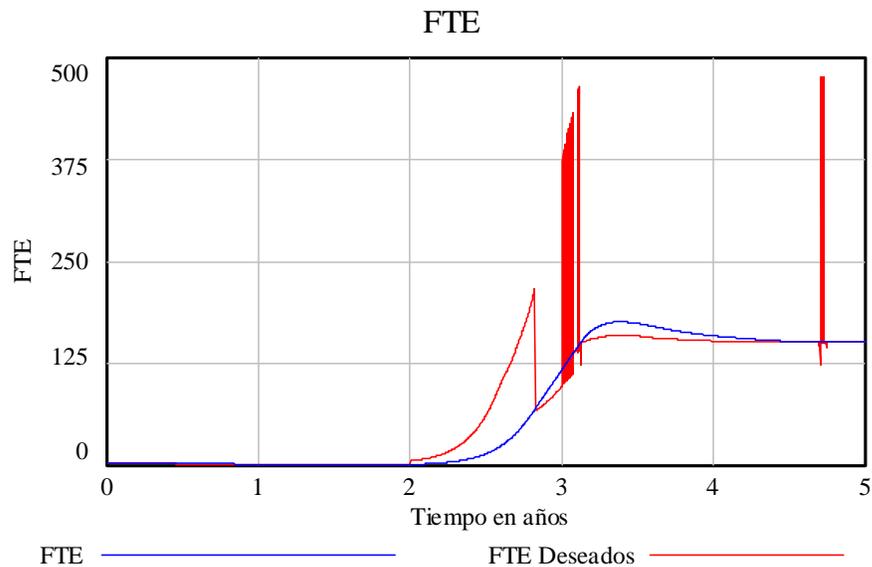


Figura 19 Comportamiento mano de obra con la política de despidos activa

## 7.2 Políticas propuestas

A continuación, se proponen algunas políticas de atención y administración del RCSC teniendo en cuenta el estudio desarrollado en las secciones anteriores. Principalmente teniendo en cuenta los dos acuerdos de servicio identificados directamente relacionados con la satisfacción del cliente

### *Política 1*

Los tiempos de los ciclos de contratación, despido y creación de vacantes deben reducirse (en este caso se reducen a la mitad). De esta manera, el tiempo de ajuste del modelo ante alguna variación en la tasa de llegada de casos será mucho más rápida. Para mostrar el efecto de este ajuste operacional, se simula el escenario de la sección 7.1.2 reduciendo el tiempo de contratación actual a la mitad. Actualmente se tiene un tiempo de 16 semanas (4 meses). La política de despidos permanece in activa.

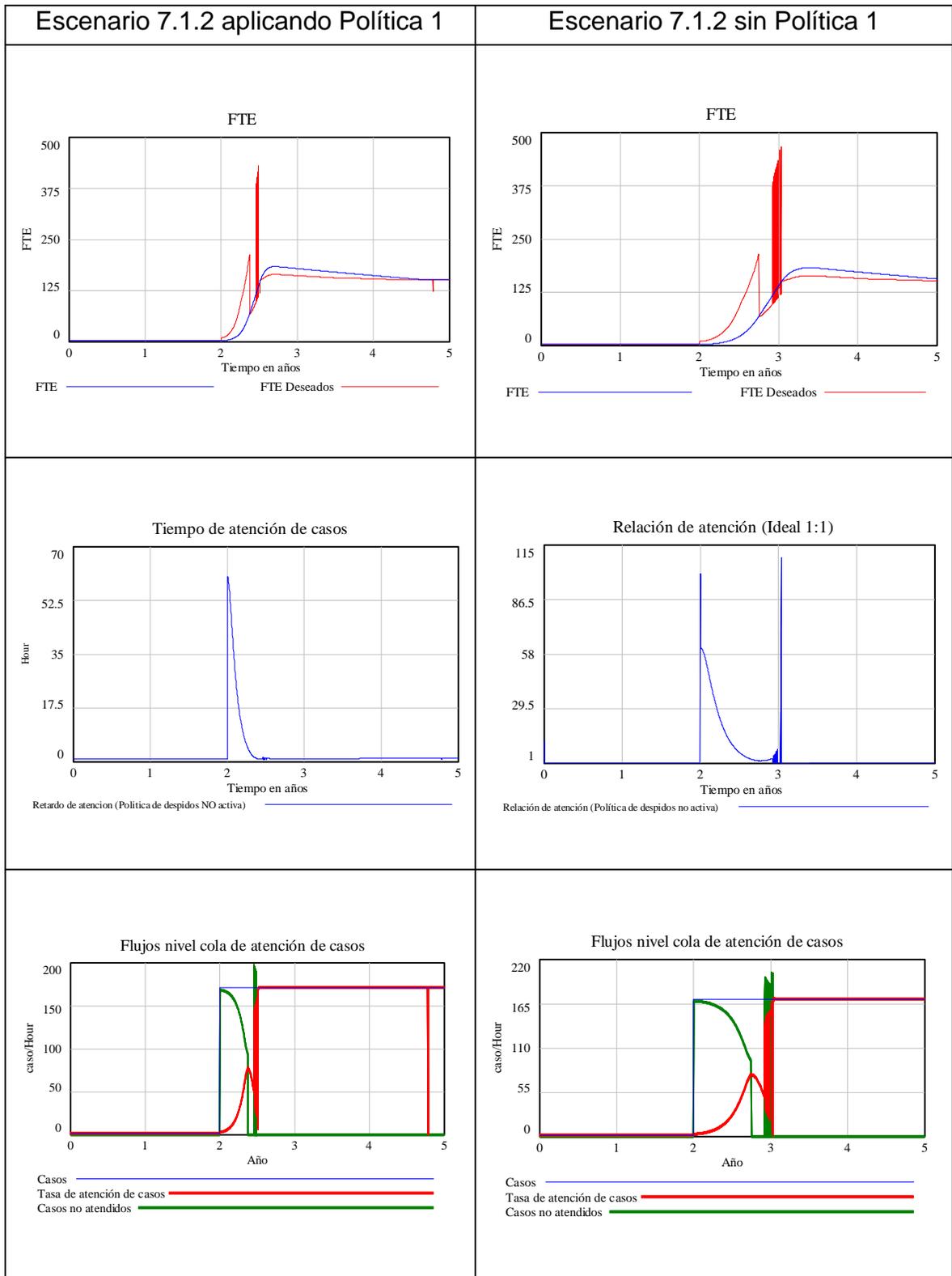


Figura 20 Comportamiento del modelo aplicando política 1

Al comparar el efecto de la reducción mencionada se esperaría que se reduzca de manera proporcional el efecto en las demás variables. Sin embargo, el efecto es aún mayor como se puede observar en la figura 20. Los clientes percibirían el retraso de atención durante un periodo de tiempo mucho menor y en menor proporción, pues el tiempo máximo de retraso es cercano a 50 horas. De la misma manera la tasa de atención de casos se ajustaría mucho más rápido, disminuyendo el impacto en la percepción del cliente sobre la calidad del servicio prestado. Claro está que este caso simula un comportamiento de un crecimiento del 900%.

Sobre esta política se puede concluir que la reducción de los tiempos de contratación, generan que el periodo de ajuste del sistema sea menor. Esta política requiere mayormente esfuerzos endógenos, facilitando la implementación de la misma.

### *Política 2*

Luego de evaluar la respuesta del modelo a variaciones en el tiempo de atención por caso (10,20,30 y 40%), se encuentra que solo al reducir este tiempo en más del 30% se logra tener un impacto significativo en el comportamiento del modelo (Ver figura 21). En los demás casos, la mano de obra permanece cercana a 125 FTE.

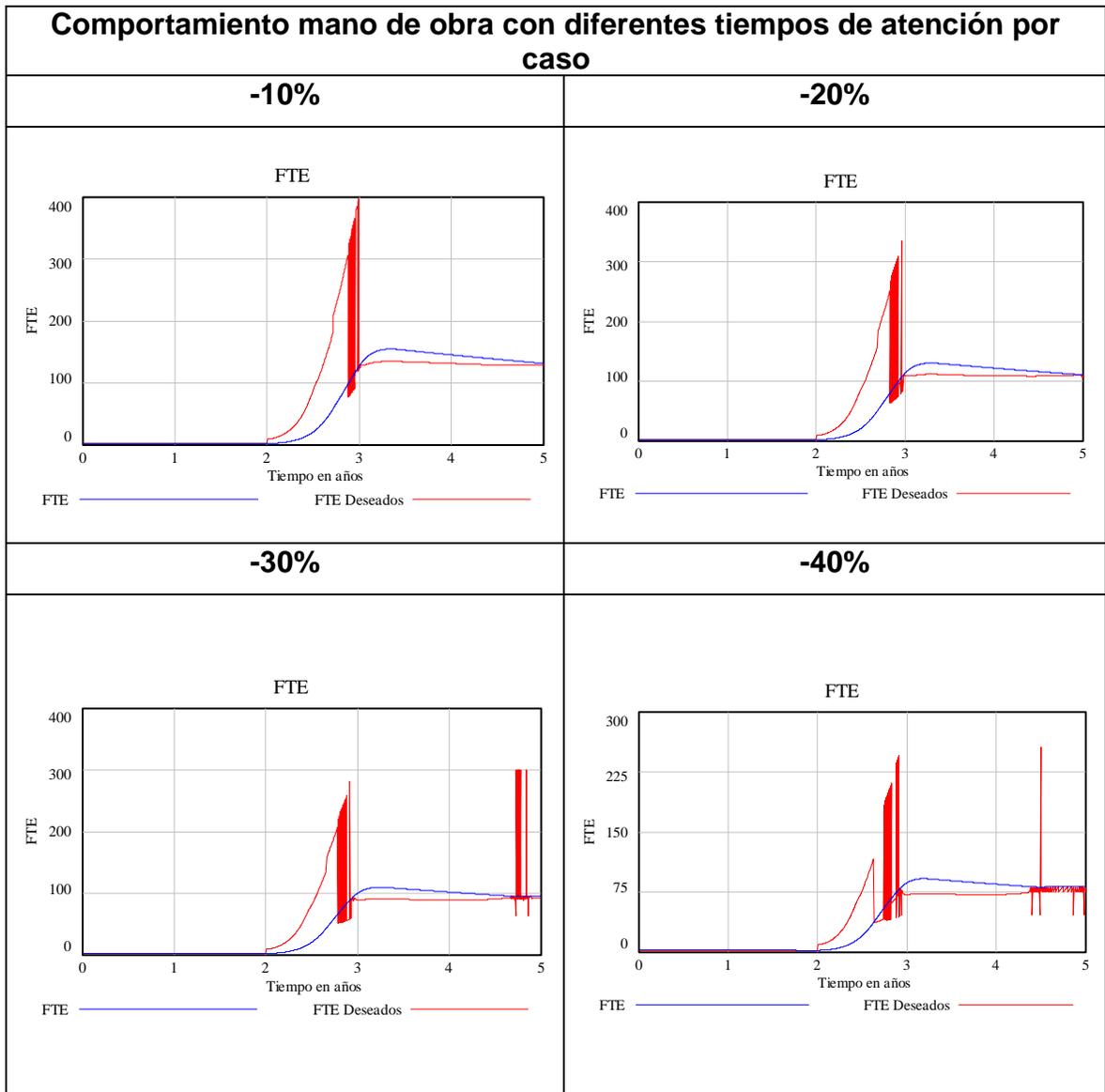


Figura 21 Comportamiento mano de obra con diferentes tiempos de atención

Sin embargo, se encontró que el tiempo de atención se normaliza en un tiempo muy similar en todos los casos (Ver Figura 22). Pero la cantidad de casos que se despachan sin ser atendidos si presenta un comportamiento que puede impactar de mejor manera la percepción del cliente con respecto al nivel de atención del RCSC.

## Tiempo de atención de casos

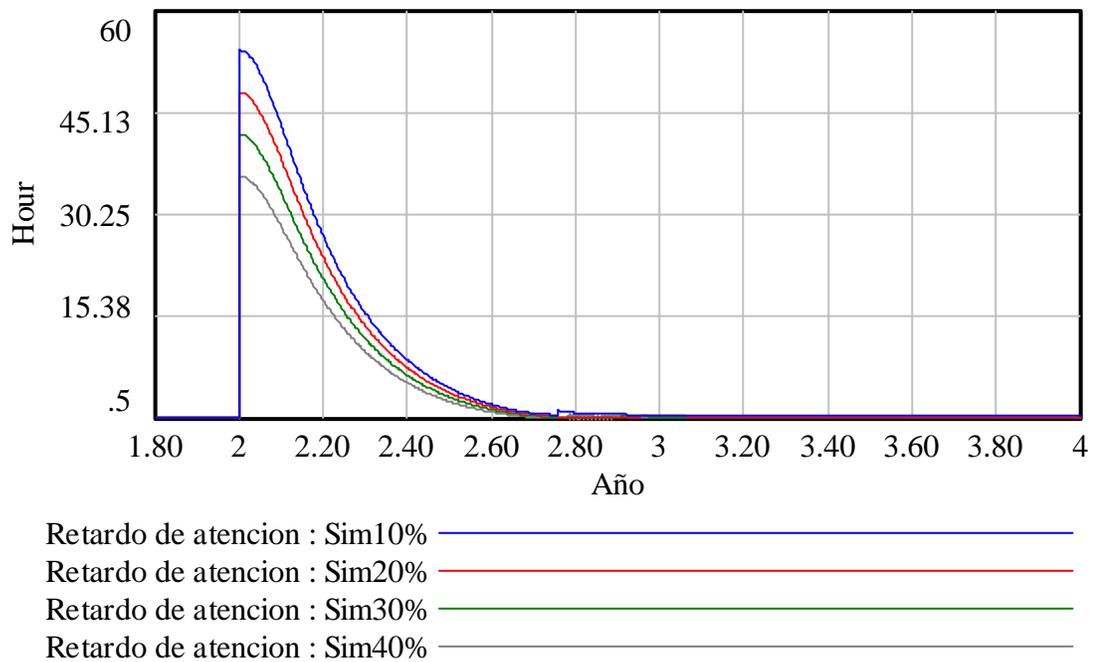


Figura 22 Retardos de atención con diferentes tiempos de atención por caso

Con respecto al comportamiento de los casos no atendidos con diferentes tiempos de atención simulados (Ver Figura 23), se puede indicar se reducen causalmente con la disminución del tiempo de atención, no obstante; la duración del periodo donde más casos atendidos se presentan, fue mucho menor con la reducción del 40%. La oscilación que presenta el sistema a partir del periodo 2.7, se genera debido las variaciones entre los flujos del nivel “Cola de atención”. Se estabiliza, una vez el tiempo de atención es menor a 1.2 horas (para este escenario). Para ver mejor este comportamiento se realizó un acotamiento al eje x entre el periodo 2.6 y 3 (Ver figura 24).

### Casos no atendidos

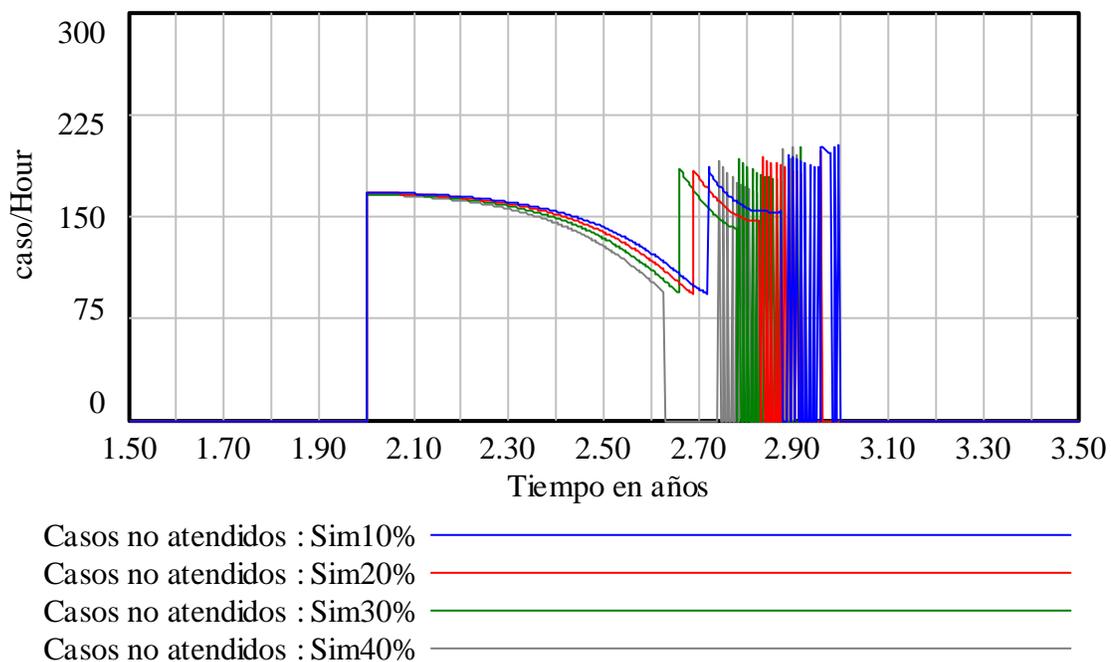


Figura 23 Comportamiento casos no atendidos a diferentes tiempos de atención por caso

### Tiempo de atención de casos

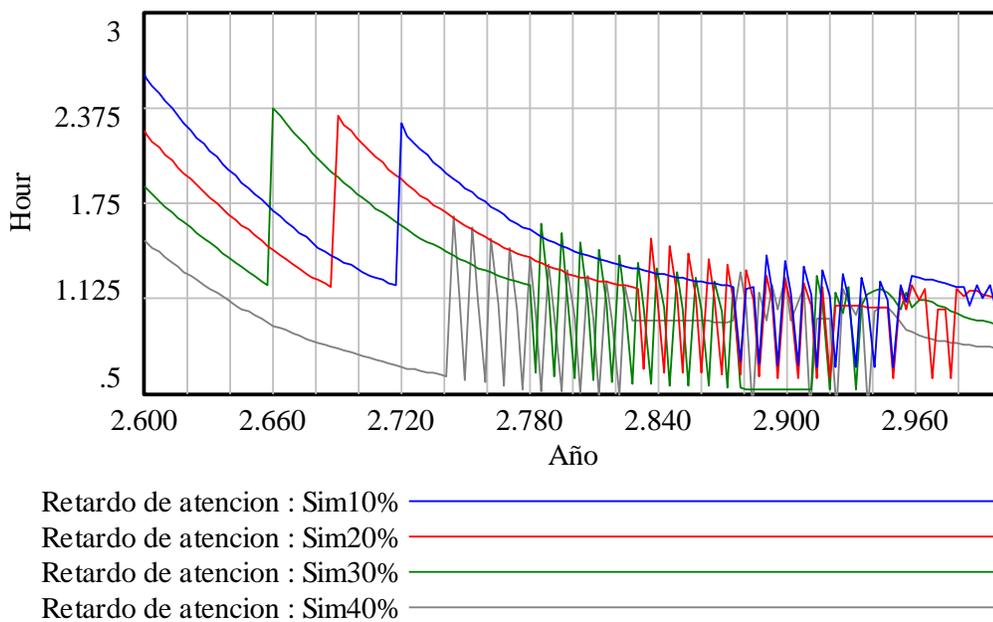


Figura 24 Tiempo de atención de casos entre el año 2.6 y 3.

## 8 MICROMUNDO

Con el fin de crear un micromundo para que los gerentes del centro de servicios pudiesen probar sus modelos mentales sobre el comportamiento de la capacidad de servicio del RCSC ante diferentes circunstancias, se diseñó una interface gráfica para facilitar la interacción con el modelo diseñado en Vensim®.

Para cumplir este objetivo se utilizó:

- La versión de Vensim PLE® para poder publicar el modelo en formato VPM (“Vensim packaged model”), y también para poder crear variables de tipo “Game”, las cuales permiten conectar una variable con un elemento configurable en la interface de usuario.
- Y el software Sable® en su versión demo, el cual permite crear elementos de interface de usuario. La versión demo tiene una licencia vigente por 30 días.

### 8.1 Pantallas del simulador

Se compone de 2 pantallas principales: introducción, simulador y una mini pantalla que muestra el comportamiento del flujo de casos al presionar un botón.

#### 8.1.1 Pantalla de introducción

En esta pantalla se brinda instrucciones básicas de funcionamiento y las características principales del modelo. Al dar clic en avanzar, se accede a la pantalla de simulación.

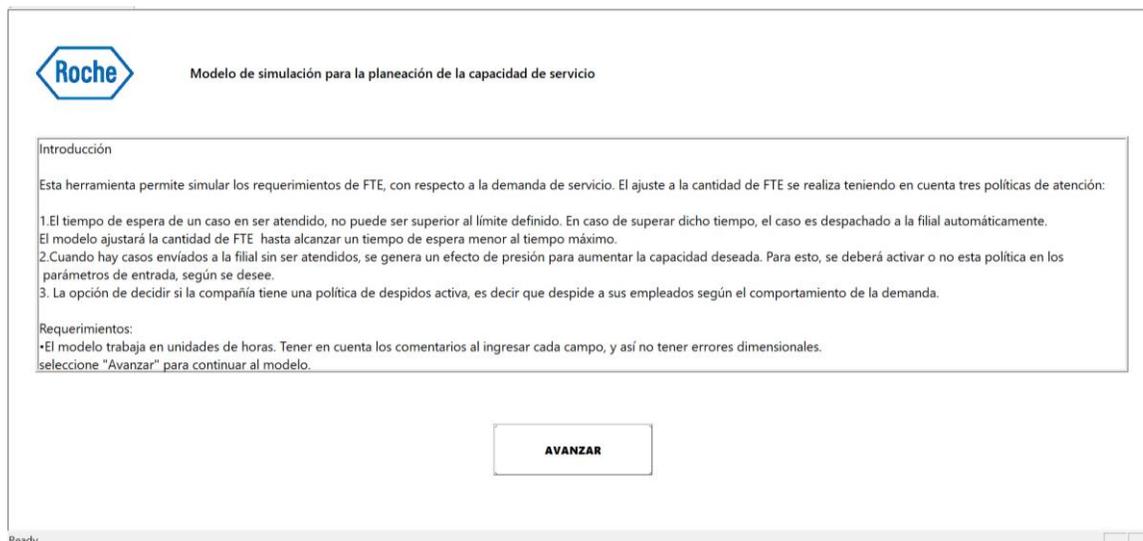


Figura 25 Pantalla de introducción

### 8.1.2 Pantalla de simulación

Está compuesta por la sección de botonería en la parte izquierda, donde se puede configurar los parámetros a simular (Ver Figura 21). Adicionalmente cuenta con dos casillas de chequeo para activar o no las políticas de casos no atendidos y la política de despidos, y el botón que da acceso a la mini pantalla (Ver Figura 22).

Cada botón de la pantalla cuenta con un mensaje de instrucción para facilitar su uso. Los rangos de la botonería fueron probados para que en sus valores extremos no presenten comportamientos aberrantes, aclarando que para determinar la sensibilidad del modelo se requeriría un estudio no comprendido en el presente proyecto.

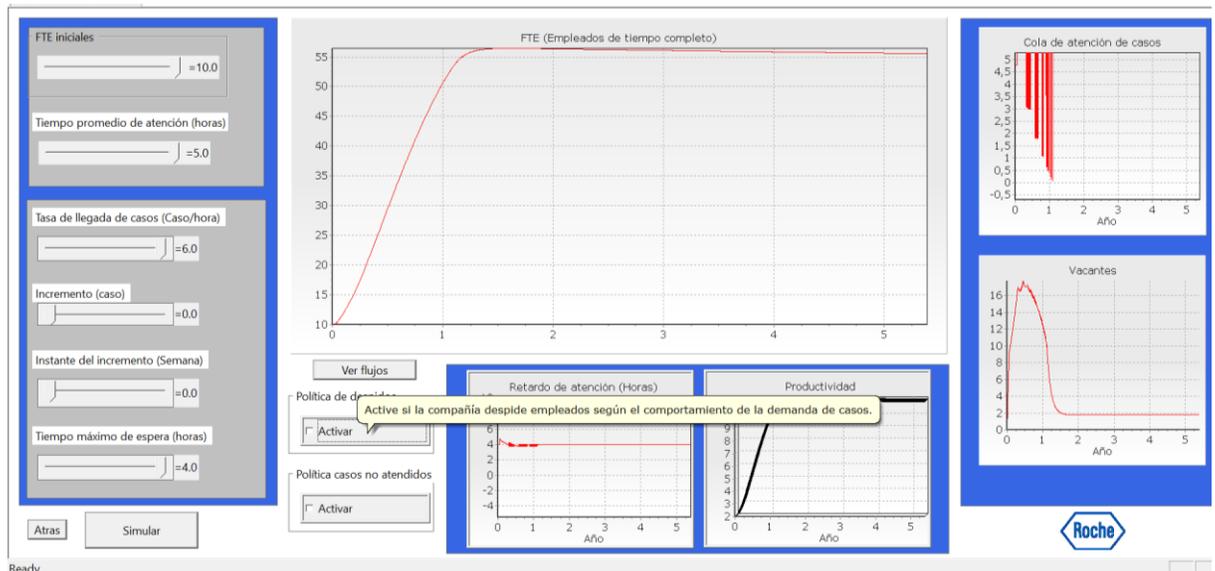


Figura 26 Pantalla de simulación

En la pantalla de simulación se tiene acceso a la visualización de los gráficos más importantes del modelo:

- Gráfico de FTE.
- Gráfico retardo de atención del sistema.
- Productividad.
- Gráfico del nivel cola de atención de casos.
- Gráfico del nivel vacantes.

**Ver flujos**

**Despidos**

Activar

**Política casos no atendidos**

Activar

Figura 27 Casillas de chequeo de políticas y botón de activación mini pantalla

**FTE iniciales**

=1.0

**Tiempo promedio de atención (horas)**

=1.0

**Tasa de llegada de casos (Caso/hora)**

=0.1

**Instante del incremento (Semana)**

=0.0

**Incremento (caso)**

=0.0

**Tiempo máximo de espera (horas)**

=1.2

Figura 28 Botonería parámetros de entrada.

### 8.1.3 Mini pantalla auxiliar

Al presionar el botón “Ver flujos” (Ver figura 22) se activa la visualización de la mini pantalla de la figura 23. En esta pantalla se muestran:

- Flujo de llegada de casos
- Flujo de atención de casos
- Flujo casos no atendidos.

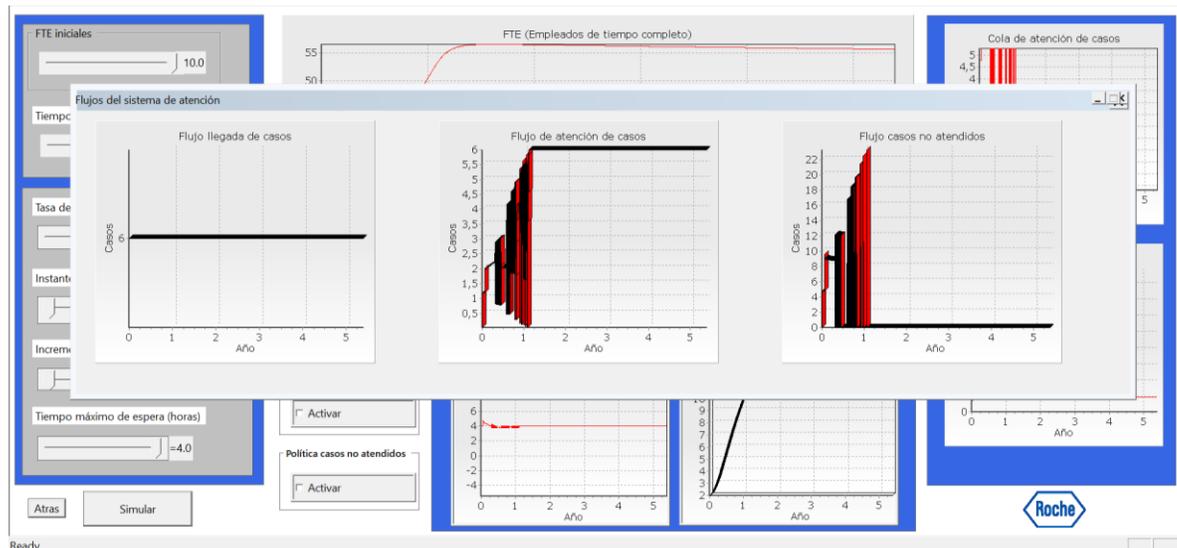


Figura 29 Mini pantalla flujo de casos

### 8.2 Modo de funcionamiento del simulador

Debido a que la compañía no tiene una cultura de simulación y de aprendizaje usando micro mundos, se iniciará con un modelo de trabajo comparativo entre los modelos mentales de cada uno de los gerentes y la respuesta del modelo. De esta manera se buscará que el acercamiento a la metodología de pensamiento sistémico y causal tenga un mejor impacto.

Este simulador se usará empleando una metodología de aprendizaje, en la cual se planteará una situación a los gerentes del RCSC y ellos deberán primeramente modelar mentalmente el comportamiento de la demanda de mano de obra. Posteriormente se correrá el mismo contexto en el simulador y se realizará una comparación entre el modelo mental de los gerentes y la respuesta planteada en el modelo.

### 8.2.1 Pasos de operación

1. Una vez sean leídas las instrucciones de la pantalla principal, se debe dar clic en avanzar para poder acceder a la pantalla de simulación.
2. Se configura cada parámetro de la sección de entrada en la pestaña de simulación, y posteriormente se da clic en simular.
3. Se procede a realizar la interpretación de los datos generados por el simulador, desplegando también la mini pantalla con el botón “ver flujos”.
4. Para simular un nuevo caso, solo se debe repetir los pasos 3 y 4.

## CONCLUSIONES

Después de estudiar la relación causal de las diferentes variables del centro de servicios, aplicar la metodología de dinámica de sistemas propuesta por J.W Forrester y compilada por J. Sterman en su libro (Sterman, 2000), se concluye que:

Al analizar las relaciones causales de las diferentes variables se logró desarrollar un modelo de simulación que permite evaluar la capacidad de servicio de uno de los centros de servicios de una compañía del sector de diagnóstico Invitro. Teniendo como referencia los dos principales acuerdos de servicio directamente relacionados con la satisfacción del cliente, los cuales son:

- Los clientes no pueden esperar más de 1 hora (1.5 horas en algunos casos), en ser atendidos.
- La cantidad de casos que no pueden ser atendidos debe ser menor a 2 casos por hora. De otra manera, los servicios en campo pueden colapsar.

El modelo ajusta la capacidad de servicio según el efecto de la presión ejercida por los requerimientos anteriormente descritos. Simulando el comportamiento adaptativo de las expectativas de los gerentes del centro de servicios sobre los recursos del sistema, en especial la mano de obra.

Se logró identificar la estructura causal que representa la interacción de los procesos involucrados en la atención de los requerimientos del centro de servicios, para posteriormente aplicar la metodología de dinámica de sistemas en la elaboración del diagrama de flujos y niveles para el caso estudiado. Este desarrollo se encuentra en el capítulo 6 del presente documento.

Una vez se logró obtener un modelo que representara el comportamiento del RCSC, se puso a prueba con la información actual del grupo de servicio para equipos de coagulación y POC. El comportamiento del modelo es el esperado bajo las circunstancias propuestas, asemejando el modelo mental de los gerentes de la

compañía de manera cuantitativa. La sección 7 contiene dicho análisis, y dos políticas gerenciales con enfoque al cliente, que impactan la satisfacción del cliente pues reducen el tiempo requerido por el sistema para alcanzar su estado deseado, ajustando los tiempos internos de contratación (Política 1), y a su vez se determinó que a partir de una reducción del 30% en el tiempo de atención por caso, se obtiene un impacto considerable en la mano de obra requerida (Política 2).

El trabajo desarrollado permite proponer un modelo no holístico e integral, capaz de proyectar la demanda de mano de obra requerida compilando las características endógenas de la compañía. Cumpliendo con las dos políticas de atención con mayor impacto en la satisfacción del cliente. Los resultados de las dos políticas propuestas en la sección 7.2, dan un indicio del impacto de este tipo de herramientas en la toma de decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo como menciona (Himmelblau & Bischoff, 1976).

El micromundo desarrollado permite que los gerentes del centro de servicios pongan a prueba sus modelos mentales sobre el comportamiento de la mano de obra con respecto a la demanda. Agregando valor al proceso actual, pues el método usado no permite considerar el impacto de las demás variables involucradas, y arroja solo un valor futuro (Ver 6.1.1), mientras que; el modelo propuesto (Ver 7.1) permite visualizar gráficamente el comportamiento de las variables del sistema durante el horizonte de tiempo de simulación.

Para ejemplificar lo anteriormente dicho, se compara el ejemplo de la sección 6.1.1 con el propuesto. El modelo actual prevé una disminución en la cantidad de FTE igual a 2.14 FTE para el año 2021. En tanto, el modelo propuesto muestra que, dadas las características endógenas del RCSC, para 2021 se habrá podido tener una reducción de 0.47 FTE, y que se requerirán más de 5 años para lograr alcanzar la mano de obra deseada (0.58 FTE).

## BIBLIOGRAFÍA

- Al- Najjar, B., & Jacobsson, M. (2013). A computerised model to enhance the cost- effectiveness of production and maintenance dynamic decisions. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 19(2), 114–127. <https://doi.org/10.1108/13552511311315931>
- Becerra Fernandez, M., Castro, J. O., Quiroga, O. R., & Ramirez, M. H. (2013). Model for Calculating Operational Capacities in Service Providers Using System Dynamics. *Proceedings of the 31st International Conference of the System Dynamics Society*, July, 1–26.
- Bradl, P. (2003). System Dynamics (SD) — An Approach within Corporate Planning. In *Operations Research Proceedings 2002* (pp. 431–436). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-55537-4\\_70](https://doi.org/10.1007/978-3-642-55537-4_70)
- Braun, W. (2002). The system archetypes. *System*, 1–26. [http://www.myewb.ca/site\\_media/static/attachments/group\\_topics\\_grouptopic/86984/systemarchetypes.pdf.pdf](http://www.myewb.ca/site_media/static/attachments/group_topics_grouptopic/86984/systemarchetypes.pdf.pdf)
- Chung, S. H., Jung, D. C., Yoon, S. N., & Lee, D. H. (2010). A dynamic forecasting model for nursing manpower requirements in the medical service industry. *Service Business*, 4(3–4), 225–236. <https://doi.org/10.1007/s11628-009-0092-4>
- Church, D. L., & Hall, P. (1999). Centralization of a regional clinical microbiology service: The Calgary experience. *Canadian Journal of Infectious Diseases*, 10(6), 393–402. <https://doi.org/10.1155/1999/372382>
- Dhillon, B. S. (2006). *Maintainability, maintenance, and reliability for engineers / B.S. Dhillon*. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat06493a&AN=sab.00062130&site=eds-live>
- Fang, L., & Zhaodong, H. (2015). System Dynamics Based Simulation Approach on Corrective Maintenance Cost of Aviation Equipments. *Procedia Engineering*, 99, 150–155. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.519>

- Fei, M., Ma, S., Li, X., Sun, X., Jia, L., & Su, Z. (Eds.). (2017). *Advanced Computational Methods in Life System Modeling and Simulation* (Vol. 761). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-6370-1>
- Flichman, G. (Ed.). (2011). *Bio-Economic Models applied to Agricultural Systems*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1902-6>
- Garg, A., & Deshmukh, S. G. (2006). Maintenance management: literature review and directions. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 12(3), 205–238. <https://doi.org/10.1108/13552510610685075>
- Haroun, A. E. (2015). Maintenance cost estimation: application of activity-based costing as a fair estimate method. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(3), 258–270. <https://doi.org/10.1108/JQME-04-2015-0015>
- Himmelblau, D. M., & Bischoff, K. B. (1976). *Análisis y simulación de procesos*. Reverté.
- John A. Laczin. (2013). *The Shift to a Centralized Lab Approach*. <http://www.appliedclinicaltrials.com/shift-centralized-lab-approach>
- Li, K., Xue, Y., Cui, S., Niu, Q., Yang, Z., & Luk, P. (Eds.). (2017). *Advanced Computational Methods in Energy, Power, Electric Vehicles, and Their Integration* (Vol. 763). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-6364-0>
- Mahfoud, H., El Barkany, A., El Biyaali, A., Mahfoud, H., El Barkany, A., & El Biyaali, A. (2016). Preventive Maintenance Optimization in Healthcare Domain: Status of Research and Perspective. *Journal of Quality and Reliability Engineering*, 2016, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2016/5314312>
- Maletič, D., Al-Najjar, B., Maletič, M., & Gomišček, B. (2014). The role of maintenance in improving company's competitiveness and profitability. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 25(4), 441–456. <https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2013-0033>
- Malone, B. (2013). *The Rise of Mobile Health Devices - AACC.org*. <https://www.aacc.org/cln/articles/2013/may/mobile>

- Mutingi, M., Mbohwa, C., & Kommula, V. P. (2017). System dynamics approaches to energy policy modelling and simulation. *Energy Procedia*, 141, 532–539. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.071>
- O'Donovan, P., Leahy, K., Bruton, K., & O'Sullivan, D. T. J. (2015). An industrial big data pipeline for data-driven analytics maintenance applications in large-scale smart manufacturing facilities. *Journal of Big Data*, 2(1), 1–26. <https://doi.org/10.1186/s40537-015-0034-z>
- Papert, S. (1980). *Children , Computers , and Powerful Ideas and Powerful Ideas*. 230. <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1095592>
- Rafele, C. (2007). System Dinamics Simulation : an Application to Regional Logistics Policy Making. *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 1, 253–260. <http://www.naun.org/main/NAUN/computers/ijcomputers-42.pdf>
- Ramírez Nava, D. M., Ramírez Nava, M. D., González Carbonell, R. A., Romo Ángel, J. L., Sánchez Sierra, A., & Lemus Arellano, M. (2017). Retos de la dirección. In *Retos de la Dirección* (Vol. 11, Issue 1). Univ. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2306-91552017000100006&lng=en&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-91552017000100006&lng=en&tlng=en)
- Riaño M; Gomez J;Echevarria L; Rangel L; Sanchez J. (2018). Revista cubana de investigaciones biomédicas. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 37(3), 195–201. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03002016000300001&lng=en&tlng=en#?](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03002016000300001&lng=en&tlng=en#?)
- Roche. (2015). *Roche Diagnostics*. [Www.Roche.Com](http://www.Roche.Com). <https://www.roche.com/about/business/diagnostics/about-diagnostics.htm>
- Rossetti, M. D. (Manuel D. (2010). *Simulation modeling and Arena*. John Wiley.
- Sharma, A., Yadava, G. S., & Deshmukh, S. G. (2011). A literature review and future perspectives on maintenance optimization. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 17(1), 5–25. <https://doi.org/10.1108/135525111111116222>

- Simons, C. S. (2019). *The Pros and Cons of Centralizing Microbiology Services | AACC.org*. <https://www.aacc.org/cln/articles/2019/julyaug/the-pros-and-cons-of-centralizing-microbiology-services>
- Špicar, R. (2014). System dynamics archetypes in capacity planning. *Procedia Engineering*, 69, 1350–1355. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.128>
- Sterman, J. (2000). Business dynamics—systems thinking and modeling for a complex world. In *Irwin/McGraw-Hill, 2000*.
- Suryani, E., Chou, S. Y., & Chen, C. H. (2012). Dynamic simulation model of air cargo demand forecast and terminal capacity planning. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 28, 27–41. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2012.05.012>
- Tsang, A. H. C. (2002a). Strategic dimensions of maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 8(1), 7–39. <https://doi.org/10.1108/13552510210420577>
- Tsang, A. H. C. (2002b). Strategic dimensions of maintenance management. In *Journal of Quality in Maintenance Engineering* (Vol. 8, Issue 1, pp. 7–39). <https://doi.org/10.1108/13552510210420577>
- van Ackere, A., Haxholdt, C., & Larsen, E. R. (2013). Dynamic capacity adjustments with reactive customers. *Omega (United Kingdom)*, 41(4), 689–705. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.09.007>
- Wang, W. (2013). Strategic Human Resource Management, Enterprise Competence and Competitive Advantage – A System Dynamics Model. In *International Conference on Information Technology & Management Science (ICITMS 2012) Proceedings 2012*. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-34910-2\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-642-34910-2_33)
- Yue, D., Peng, C., Du, D., Zhang, T., Zheng, M., & Han, Q. (Eds.). (2017). *Intelligent Computing, Networked Control, and Their Engineering Applications* (Vol. 762). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-6373-2>