



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL

MODELO PARA ESTIMAR LA DEMANDA Y GESTIONAR EL INVENTARIO DE ANTIBIÓTICOS ESTANDARIZADOS EN EL HOSPITAL CLÍNICO DE LA RED DE SALUD UC CHRISTUS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

ILAN DANIEL PAZOLS GELMAN

PROFESOR GUÍA:
RICARDO SAN MARTÍN ZURITA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
PATRICIO CONCA KHEL
OMAR CERDA INOSTROZA

SANTIAGO DE CHILE
2020

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE:**
Ingeniero Civil Industrial
POR: Ilan Daniel Pazols Gelman
FECHA: 23/01/2020
PROFESOR GUÍA: Ricardo San Martín Zurita

**MODELO PARA ESTIMAR LA DEMANDA Y GESTIONAR EL INVENTARIO DE
ANTIBIÓTICOS ESTANDARIZADOS EN EL HOSPITAL CLÍNICO DE LA RED DE
SALUD UC CHRISTUS**

En el presente informe se darán a conocer los detalles del trabajo de título a realizar por el estudiante dentro del área de farmacia del Hospital Clínico de la Red de Salud UC CHRISTUS. En un principio, se dan a conocer antecedentes relevantes sobre la organización, nombrando sus características, misión, visión, organigrama de la empresa, proceso que debe pasar cada uno de los pacientes, el mercado en donde se desenvuelve y su desempeño organizacional a lo largo de los años. Teniendo alrededor de 5.000 trabajadores, 32.353 egresos hospitalarios y una recaudación de \$101.713 millones de CLP en el 2018, esta institución se considera como una de las más significativas a nivel nacional.

Por otro lado, se comenta y describe sobre la importancia del área de Farmacia en donde se desarrollará su estudio, la cual está dividida en dos partes: La Central de Mezclas y el área de Dispensación. La principal función de esta área es recibir medicamentos desde la bodega 0, procesando los que son necesarios, a través de la Central de Mezclas, para obtener el producto deseado y enviar estos los insumos a los servicios clínicos que los solicitan, realizando esta transacción mediante el área de Dispensación. Durante el 2018, la Central de Mezclas logró producir 73.619 antibióticos estandarizados, significando un ingreso de \$1.382.317.089 CLP. El problema principal dentro del área es el manejo ineficiente del inventario de antibióticos, lo cual ocurre por la falta de información que posee el personal sobre las solicitudes que son enviadas desde los servicios clínicos a Farmacia y que la producción es realizada utilizando la intuición del personal. Por otro lado, los efectos de este problema corresponden a quiebres de stock y sobre producción de inventario, repercutiendo en costos innecesarios de insumos almacenados. Actualmente, trabajan 62 personas dentro de Farmacia y 14 activamente en la Central de Mezclas.

El alumno se propone a crear un modelo de estimación de la demanda para gestionar el inventario de antibióticos estandarizados, con el fin de que la farmacia cuente con la información necesaria para enfrentar las solicitudes que llegan sistemáticamente y se pueda tener un control eficiente del almacenamiento de estos insumos. Luego de obtener las predicciones necesarias, se crean sistemas de inventario para diferentes escenarios para el mes de diciembre del 2018, en donde todos los resultados son rentables en comparación al almacenamiento real. Para el caso óptimo, en donde el punto de reorden es igual al que es entregado por el modelo, se obtiene una utilidad mensual igual a \$7.294.498 CLP. Finalmente, se entregan propuestas de solución para los problemas de gestión dentro de la Central de Mezclas, como la contratación de nuevo personal, dos entradas a producir por día laboral, instancias para que el personal se conozca entre sí y boletines informativos sobre antibióticos para los servicios clínicos.

“Nunca fui consciente de cualquier otra opción que no fuera la de cuestionar todo”

Avram Noam Chomsky

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no habría sido posible de realizar sin la ayuda de mi familia y amigos más cercanos, quienes han estado siempre apoyándome a pesar de todas las dificultades. En primer lugar, quiero agradecer a mis padres, quienes me han entregado la oportunidad de estudiar en la Universidad de Chile, institución pública que me permitió conocer diferentes realidades y personas de todo el país. Mi hermana prematura también ha sido un apoyo importante para mí, dejando que la moleste y exprese mis preocupaciones de sus decisiones a lo largo de este último año. Además, quiero darle las gracias a los profesores que me han apoyado con sus conocimientos a lo largo de este proceso, haciendo que este trabajo tenga la mejor calidad y resultados posibles.

En segundo lugar, quiero dar un homenaje a las “Amebas”, los cuales son mis amigos universitarios más cercanos y quienes me han acompañado durante este desafiante proceso universitario, haciendo que lo disfrute a través de risas, chistes y anécdotas inolvidables. “Bigote-sensei” es uno de los integrantes de este grupo de genios, quien me ha ayudado a lo largo de todo el trabajo que realicé (“arigato gosaimas”).

En tercer lugar, quiero darle las gracias profundamente a mi polola “Catalaina”, quien ha sido un apoyo incondicional dentro de mi vida y en mi trabajo universitario, ayudándome en todo lo posible y aguantando todos mis problemas personales a lo largo de este tiempo. Sin ella nada tendría sentido en mi vida y los niños no tendrían a la mejor “miss” del mundo.

En cuarto lugar, agradecer a mi amigo “Peter Rock Coffe”, quien ha sido mi compañero de la vida y siempre ha estado ahí para ayudarme cuando las cosas empeoran, asistiendo a las reuniones más importantes a nivel nacional y discutiendo temas serios sobre el futuro de este planeta.

También, quiero darle las gracias al “Devastación”, “Sr. Rodilla”, “Gerentech”, “Benjita de ojos claros” y por supuesto a la Ingrid, quienes han sido los mejores compañeros de trabajo que podría haber tenido, haciendo que esta relación llegue más allá de la oficina. Son y serán amigos para toda la vida que me queda por delante.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a todos los chilenos/as quienes por fin despertaron y han luchado incansablemente por sus derechos, con el fin de crear un país más justo para todos/as.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE GRÁFICOS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE IMAGENES	XII
1. INTRODUCCIÓN.....	13
2. ANTECEDENTES GENERALES	14
2.1. Características de la organización.....	14
2.2. Mercado y/o Marco institucional	15
2.3. Desempeño organizacional	17
3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN.....	19
3.1. Identificar el problema u oportunidad y su relevancia, con sus efectos y posibles causas.....	19
3.2. Inventario y demanda en plataformas diferentes	21
3.3. La producción no está alineada con el inventario y la demanda	22
3.4. Lotes de producción	23
3.5. Límites de producción	24
3.6. Rotación de inventario, sobre producción y costo de oportunidad ...	24
3.6.1 Tasa del proyecto	26
3.6.2 Costo de oportunidad.....	27
3.7. Inventario	27
3.8. Perdidas de medicamentos	28
3.9. Envío de frascos ATB a servicios clínicos.....	29
3.10. Entrevista a Químico Farmacéutico externo a la organización	32
3.11. Cantidad de medicamentos ATB enviados a los servicios clínicos	32
3.12. Resumen de costos relacionados a antibióticos estandarizados.....	34
3.13. Medicamentos eliminados del análisis posterior por tener una baja demanda y producción.....	37
4. IDENTIFICAR HIPÓTESIS Y POSIBLES ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	38
4.1. Propuesta de valor de las posibles soluciones o impacto del cambio propuesto.....	39
5. OBJETIVOS	41
5.1. Objetivo General	41
5.2. Objetivos Específicos	41

6.	MARCO CONCEPTUAL	43
	6.1. Modelos de Pronóstico de demanda	43
	6.2. Gestión de inventario	45
	6.2.1. Costos del inventario	45
	6.2.2. Tiempos de reposición.....	45
	6.2.3. Sistemas de inventario.....	46
7.	ALCANCES.....	47
8.	METODOLOGÍA	48
	8.1. Levantamiento de la situación actual	49
	8.1.1. Información del área de la empresa/organización	49
	8.1.2. Central de Mezclas del área de Farmacia	51
	8.1.3. Normativas Legales	53
	8.1.4. Normativas Técnicas	54
	8.1.5. Antibióticos	54
	8.1.6. Flujo de medicamentos entre los servicios clínicos y Farmacia	56
	8.1.7. Solicitudes de preparados por la Central de Mezclas	57
	8.1.8. Personal disponible para preparar antibióticos estandarizados	57
	8.1.9. Entrevistas a personal de Farmacia	61
	8.1.10. Entrevistas a enfermeras clínicas del Hospital Clínico	61
	8.1.11. Bitácora de problemas	62
	8.1.12. Evaluación económica	63
	8.2. Análisis y manejo de datos.....	66
	8.2.1. Manejo de la información entregada.....	66
	8.2.2. Comportamiento semanal Cefazolina	67
	8.2.3. Información general sobre demanda y producción de antibióticos estandarizados	69
	8.2.4. Análisis de Inventario	70
	8.2.5. Análisis de la producción.....	73
	8.2.6. Análisis de la demanda	76
	8.3. Pronóstico de la demanda	81
	8.3.1. Selección de datos y Cross Validation	81
	8.3.2. Asignación de variables	82
	8.3.3. Regresión lineal	82
	8.3.4. Aclaraciones antes de obtener los pronósticos	85
	8.3.5. Resultados y elección del modelo para antibióticos preparados en la Central de Mezclas	85
	8.3.6. Resultados y elección del modelo para antibióticos enviados en modalidad ATB	88
	8.4. Gestión del inventario	92
	8.4.1. Variables por utilizar.....	92
	8.4.2. Punto de reorden y cantidad a producir	93
	8.4.2. Gestión del inventario propuesto	93
	8.4.3. Beneficios de inventario ideal	97

8.4.4. Resultados recomendados	98
8.4.4. Simulación.....	99
8.4.5. Beneficios considerando simulación.....	102
8.5. Orden de producción	108
9. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN PARA LOS PROBLEMAS DE GESTIÓN.....	109
9.1. Personal encargado de la producción de antibióticos estandarizados y jornadas de producción	109
9.2. Personal encargado de monitoreo y administración dentro de la Central de Mezclas.....	110
9.3. Ambiente laboral.....	110
9.4. Comunicación con los servicios clínicos.....	111
9.5. Tabla de resumen económica de propuestas	111
10. CONCLUSIONES	113
11. BIBLIOGRAFÍA	115
12. ANEXOS	117

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Distribución de la población según su situación de afiliación al sistema previsional de salud.....	17
Gráfico 2: Egresos hospitalarios en la Red de Salud UC CHRISTUS.....	18
Gráfico 3: Demanda, producción e inventario de Cefazolina durante el primer semestre del 2018	22
Gráfico 4: Demanda, producción e inventario de Tazobactam durante el primer semestre del 2018.....	23
Gráfico 5: Porcentaje de medicamentos ATB enviados a los servicios clínicos y producción de estos medicamentos dentro de la Central de Mezclas, durante enero y julio del 2019	34
Gráfico 6: Comportamiento Cefazolina durante agosto del 2018.....	68
Gráfico 7: Inventario por mes de Cefazolina para el 2017, 2018 y 2019.....	71
Gráfico 8: Inventario por día de Cefazolina durante el 2017, 2018 y 2019.....	71
Gráfico 9: Demanda promedio por mes de Cefazolina durante el 2017 y 2018	77
Gráfico 10: Demanda promedio por día de Cefazolina durante el 2017 y 2018.....	78
Gráfico 11: Demanda diaria promedio de Cefazolina en modalidad ATB durante el 2017, 2018 y 2019.....	80
Gráfico 12: Demanda mensual promedio de Cefazolina en modalidad ATB durante el 2017, 2018 y 2019.....	80
Gráfico 13: Inventario real y propuesto para la Cefazolina durante el 2017	94
Gráfico 14: Inventario real y propuesto para la Cefazolina durante el 2018.....	94
Gráfico 15: Inventario real, ideal y propuestos para Ceftriaxona (diciembre del 2018)	100
Gráfico 16: Inventario real, ideal y propuesto para Cefazolina (diciembre del 2018) ...	100
Gráfico 17: Inventario real, ideal y propuestos para Vancomicina (diciembre del 2018)	101
Gráfico 18: Inventario real, ideal y propuesto para Tazobactam (diciembre del 2018).	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Costo promedio, precios de venta y rotaciones de inventario para antibióticos estandarizados	25
Tabla 2: Sobre producción de antibióticos estandarizados durante 2017 y 2018	26
Tabla 3: Costos de oportunidad	27
Tabla 4: Distribución de antibióticos estandarizados en refrigerador de almacenamiento	28
Tabla 5: Perdidas de medicamentos en el Hospital Clínico	28
Tabla 6: Desperdicios de antibióticos estandarizados durante el 2017, 2018 y 2019	29
Tabla 7: Comparación entre la demanda de antibióticos ATB durante 2017 y 2018.....	32
Tabla 8: Cantidad y porcentaje de antibióticos ATB demandados durante enero y julio del 2019	33
Tabla 9: Resumen de los costos relacionados a la producción de antibióticos estandarizados	36
Tabla 10: Costos relacionados a quiebres críticos relacionados con la producción de antibióticos estandarizados	36
Tabla 11: Listado de antibióticos estandarizados.....	55
Tabla 12: Cantidad de entradas que deberían realizarse diariamente, con sus respectivos Químicos y Técnicos.....	58
Tabla 13: Cantidad promedio de Químicos Farmacéuticos por día, su porcentaje con respecto al total de trabajadores y cantidad de días promedio destinados a antibióticos estandarizados, considerando los datos entre lunes y viernes (2019)	58
Tabla 14: Cantidad diaria promedio de Químicos Farmacéuticos, su porcentaje del total de trabajadores y cantidad de días promedio destinado a producir antibióticos, considerando sólo los fines de semana (2019)	59
Tabla 15: Cantidad promedio diaria de Técnicos, su porcentaje con respecto al total de trabajadores y la cantidad de días promedio que se le destina a producir antibióticos, considerando sólo los datos de lunes a viernes (2019).....	59
Tabla 16: Cantidad diaria promedio de Técnicos, su porcentaje con respecto al total de trabajadores y días promedio destinados a producir antibióticos, considerando sólo los fines de semana (2019).....	60
Tabla 17: Precios y costos de antibióticos ATB y preparados en la Central de Mezclas	63
Tabla 18: Utilidades obtenidas al comparar porcentajes de frascos que pudieron haber sido preparados en la Central de Mezclas	64
Tabla 19: Cantidad promedio de frascos a producir anual y diariamente por la Central de Mezclas según porcentaje.....	64
Tabla 20: Utilidad anual considerando el costo temporal de preparar medicamento ATB en servicio clínico	65
Tabla 21: Utilidad anual sin considerar el costo temporal de preparar medicamentos ATB en servicio clínico	65
Tabla 22: Utilidades promedio para crear medicamentos ATB solicitados, considerando la contratación de nuevo personal.....	66
Tabla 23: Información general sobre la base de datos de los movimientos realizados durante el 2017 y 2018.....	67
Tabla 24: Demanda, producción y costos de antibióticos estandarizados durante el 2017	69
Tabla 25: Demanda, producción y costos de antibióticos estandarizados durante el 2018	69

Tabla 26: Análisis del tiempo de los procedimientos previos al ingreso de cámara	73
Tabla 27: Análisis del tiempo que tarda un trabajador en producir diferentes antibióticos estandarizados	73
Tabla 28: Análisis del tiempo que tardan dos trabajadores en producir diferentes antibióticos estandarizados	74
Tabla 29: Lotes de producción con mayor frecuencia de antibióticos estandarizados y días sin producir	75
Tabla 30: Lotes de producción máximos y mínimos para cada tipo de medicamento....	76
Tabla 31: Resultados de regresión lineal para antibióticos preparados en la Central de Mezclas	83
Tabla 32: Resultados de regresión lineal para antibióticos ATB	84
Tabla 33: Errores de pronósticos para Ceftriaxona preparada en la Central de Mezclas	86
Tabla 34: Errores de pronósticos para Cefazolina preparada en la Central de Mezclas	86
Tabla 35: Errores de pronósticos para Tazobactam preparado en la Central de Mezclas	87
Tabla 36: Errores de pronósticos para Vancomicina preparada en la Central de Mezclas	88
Tabla 37: Errores de pronóstico para Ceftriaxona ATB	89
Tabla 38: Errores de pronósticos para Cefazolina ATB	89
Tabla 39: Errores de pronósticos para Tazobactam ATB.....	90
Tabla 40: Errores de pronósticos para Vancomicina ATB	91
Tabla 41: Modelos de pronóstico seleccionados para cada uno de los medicamentos .	92
Tabla 42: Resultados gestión del inventario.....	93
Tabla 43: Comparación entre sobre producción del inventario real y propuesto (2017)	95
Tabla 44: Comparación entre sobre producción del inventario real y propuesto (2018)	95
Tabla 45: Rotación de inventario para escenario real y propuesto (2017)	96
Tabla 46: Rotación de inventario para escenario real y propuesto (2018)	96
Tabla 47: Ahorros en costos de oportunidad de almacenamiento 2017.....	96
Tabla 48: Ahorro en costos de oportunidad de almacenamiento (2018)	97
Tabla 49: Ahorro y costos del sistema de revisión continua (2017)	97
Tabla 50: Ahorro y costos del sistema de revisión continua (2018)	98
Tabla 51: Resultados de puntos de reposición y cantidades a producir según pronóstico	98
Tabla 52: Disminución del inventario, rotación de productos, punto de reposición y cantidad óptima a producir para cada tipo de antibiótico	102
Tabla 53: Costos de oportunidad de sobre producción para inventario real y propuesto (simulación).....	103
Tabla 54: Costos de oportunidad de almacenamiento para inventario real y propuesto (simulación).....	103
Tabla 55: Potenciales quiebres de stock con respecto al modelo propuesto (diciembre del 2018)	104
Tabla 56: Potenciales mermas reales y propuestas por el modelo de gestión del inventario (diciembre del 2018)	105
Tabla 57: Costos de oportunidad del inventario real y propuesto (diciembre del 2018), considerando punto de reposición igual a $1,5R^*$	106
Tabla 58: Costos de oportunidad del inventario real y propuesto (diciembre del 2018), considerando punto de reposición igual a $2R^*$	106

Tabla 59: Costos mensuales relacionados al inventario real y los propuestos, para cada tipo de escenario y el mes de diciembre del 2018.....	107
Tabla 60: Razón crítica y orden de producción de antibióticos estandarizados preparados en la Central de Mezclas.....	108
Tabla 61: Costos mensuales y anuales de contratar nuevo personal	109
Tabla 62: Tabla resumen de costos mensuales y anuales de propuestas, considerando ahorros en costos de inventario	112
Tabla 63: Tabla con puntos de reposición teóricos y propuestos para cada antibiótico	114

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1: Estructura organizacional del Hospital y Clínica UC.....	15
Imagen 2: Esquema del sistema de salud en Chile.....	16
Imagen 4: Árbol de problemas	21
Imagen 5: Cabina de seguridad biológica de nivel II	24
Imagen 6: Frasco de Cefazolina.....	30
Imagen 7: Tabla de errores de preparación y administración de medicamentos intravenosos, estudio realizado en dos hospitales del Reino Unido.....	31
Imagen 8: Metodología de trabajo.....	48
Imagen 3: Ilustración de la Central de Mezclas.....	51
Imagen 9: Diagrama de la situación actual del flujo de medicamentos desde Farmacia al servicio clínico	56

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, los antibióticos son uno de los medicamentos más importantes dentro del ámbito de la salud mundial. Han aumentado la expectativa del ser humano y son capaces de prevenir enfermedades fatales. Estos productos son utilizados en casi todos los procedimientos médicos dentro de diferentes hospitales y también son consumidos, diariamente, por personas que han contraído algún tipo de enfermedad. Son uno de los hallazgos más significativos en la medicina y sin ellos sería casi imposible vivir con la cantidad de virus que existen. Por estas razones es indispensable que se genere un estudio de estos medicamentos con el fin de encontrar información relevante, solucionar el problema que existe dentro de una organización y evidenciar que los beneficios serán altísimos para la salud de las personas y/o pacientes dentro de los hospitales.

El presente estudio busca solucionar un problema crítico dentro de la farmacia del Hospital Clínico de la Red de Salud UC CHRSTUS, el cual está centralizado en investigar el comportamiento de los antibióticos estandarizados que se procesan dentro de la Central de Mezclas. Dentro de este sector, no existe una metodología que le permita al personal crear estos insumos médicos de manera eficiente para mantener un inventario ordenado y con la cantidad mínima para que no se produzcan quiebres de stock.

El estudiante desea crear una propuesta de solución que les permita a los trabajadores, de esta área ubicada en el Hospital Clínico, fabricar antibióticos eliminando el escenario de postergar la solicitud del pedido, mantener una cantidad confiable de insumos almacenados, entregar un producto de calidad al paciente y tener jornadas laborales que no sean exigentes para el personal de farmacia.

Por lo tanto, una propuesta de solución es crear un modelo que permita estimar la demanda de estos insumos por parte de los servicios clínicos, el cual logrará ayudar a gestionar el inventario de manera eficiente y eliminar los problemas de stock en antibióticos estandarizados.

2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1. Características de la organización

La Red de Salud UC CHRISTUS se especializa, principalmente, en brindar atenciones médicas privadas a sus pacientes, siendo considerada como una de las más importantes a nivel nacional. Por otro lado, esta institución le permite a las personas que estudian medicina, en la Pontificia Universidad Católica de Chile, formarse como profesionales y adquieran experiencia dentro de las mismas sedes que posee la universidad. Esta institución logró llegar a ser como es hoy en día gracias a la asociación generada el 2013, entre la Pontificia Universidad Católica y CHRISTUS Health, la cual es una de las 10 instituciones más grandes de Estados Unidos, expandiendo su servicio no solo a Chile, sino que a todo Latinoamérica. CHRISTUS Health cuenta con más de 60 hospitales y centros de cuidado de largo plazo, 175 clínicas y centros ambulatorios¹.

Actualmente, la Red de Salud UC CHRISTUS es una de las redes de atención médica más grandes a nivel nacional, la cual está compuesta por 3 principales sedes, el Hospital Clínico, la Clínica UC y la Clínica ubicada en San Carlos de Apoquindo. Posee 8 centros médicos, 3 centros de Salud Familiar, 6 laboratorios clínicos y 19 unidades de toma de muestras para diferentes exámenes. Estos establecimientos se ubican tanto en la región Metropolitana, como también en la región de Valparaíso².

Durante el periodo del 2018, la Red de Salud UC CHRISTUS obtuvo un total de 32.353 egresos hospitalarios, tomando en cuenta solo los quirúrgicos y pediátricos. Actualmente, la empresa posee aproximadamente 5.000 trabajadores, incluyendo médicos, personal administrativo y funcionarios³. Durante el 2018 el Hospital Clínico y la Clínica UC lograron recabar 101.713 Millones de CLP⁴. Sus principales sedes se encuentran en la región Metropolitana, las cuales corresponden al Hospital Clínico (ubicado en la calle Marcoleta), la Clínica UC (que se encuentra operando en conjunto con el Hospital) y la Clínica ubicada en San Carlos de Apoquindo.

La misión de la institución es: *“Entregar a la persona y a su familia una atención de salud integral y de calidad que contribuya a su bienestar, respetando su dignidad e inspirada en principios cristianos”*. Siguiendo este mismo punto, la visión que tiene la empresa es *“Ser la red de salud líder en Latinoamérica en la práctica clínica de excelencia y en el desarrollo de conocimientos para el cuidado de la persona, basada en los valores de la Iglesia Católica.”*⁵.

¹ Información obtenida en sitio web oficial de Red de Salud UC CHRISTUS, sección “Quiénes somos”. [<https://www.ucchristus.cl/informacion-al-paciente/quienes-somos>]

² Sitio web oficial de Red de Salud UC CHRISTUS [<http://redsalud.uc.cl/ucchristus/>]

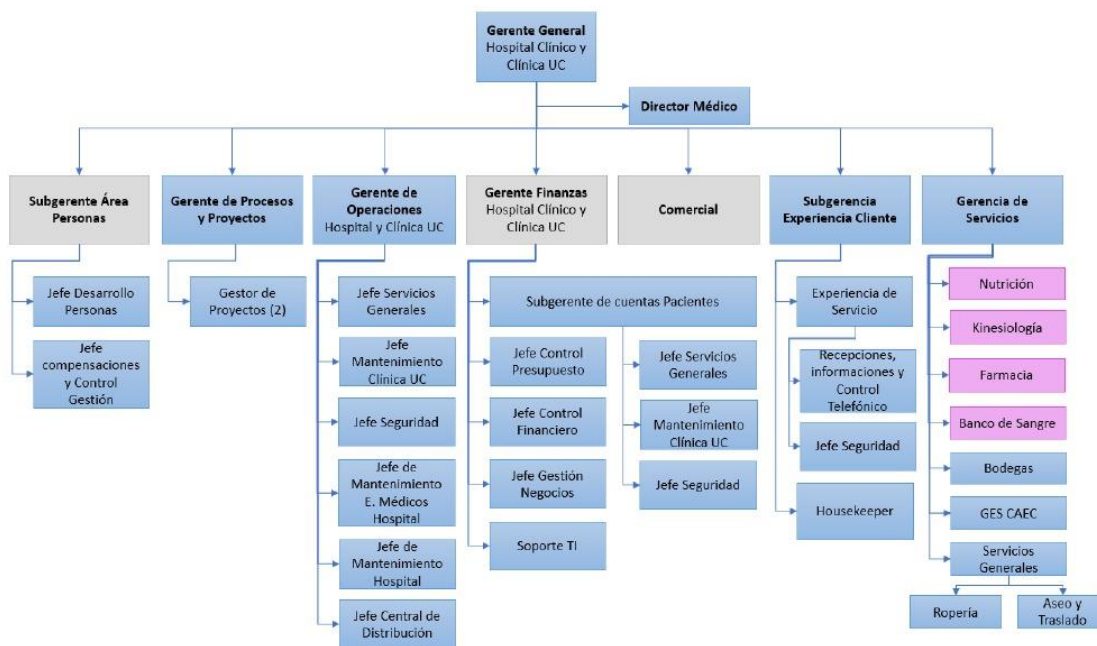
³ Anctividad y volumen de la Red de Salud. Sitio web oficial de UC CHRISTUS, sección “Actividad y volumen”. [<http://redsalud.uc.cl/ucchristus/indicadores-clinicos/actividad-y-volumen/total-red.act>]

⁴ Información obtenida en base de datos del Hospital Clínico. Fuente confidencial y privada.

⁵ Misión y visión de la empresa. Sitio Web oficial de la Red de Salud UC CHRISTUS, sección “Misión y visión”. [http://redsalud.uc.cl/ucchristus/QuienesSomos/mision_y_vision.act]

A continuación, se puede ver en la Imagen 1 la estructura organizacional del Hospital Clínico y la Clínica UC.

Imagen 1: Estructura organizacional del Hospital y Clínica UC



Fuente: Base de datos de la empresa.

Actualmente, la Red de Salud UC CHRISTUS cuenta con una gran variedad de servicios clínicos en los diferentes centros de atención que poseen. El Hospital Clínico, la Clínica UC y San Carlos de Apoquindo brindan atenciones terciarias a sus pacientes, en donde el primero y el último ofrecen tratamientos para enfermedades de alta, mediana y baja complejidad, contando con Radiología, Urgencias, Pabellones, Recuperación de cirugía cardíaca y vascular, entre otros⁶. Por otro lado, la Clínica UC ofrece atención médica de mediana y baja complejidad.

2.2. Mercado y/o Marco institucional

La Red de Salud UC CHRISTUS se desenvuelve dentro del mercado del sistema de salud del país, el cual se construye y financia a través de 3 entidades particulares: El estado, las empresas y las personas. Los entes más importantes dentro de esta red son los clientes que desean que les entreguen un servicio médico. Las empresas que les entregan estos servicios suelen ser hospitales, clínicas y consultas médicas. Por otro lado, los actores más relevantes dentro de este mercado son los productores, haciendo referencia principal a los médicos y enfermeros de diferentes hospitales a lo largo del país, brindando su profesionalismo a la medicina.

⁶ Sitio web oficial de la Red de Salud UC CHRISTUS, sección “Servicios clínicos”.
[<http://redsalud.uc.cl/ucchristus/Hospital/hospital-clinico/servicios-clinicos.act>]

El principal agente y regulador de este sistema de salud es el Estado de Chile, quien ejerce su tarea a través del Ministerio de Salud y las Secretarías Regionales Ministeriales⁷. Por otro lado, otro agente regulador es la Superintendencia de Salud, quien es la encargada de fiscalizar las diferentes entidades aseguradoras y prestadoras de servicios, controlando su calidad y los derechos de los pacientes (OCHISAP, 2015).

Este sistema se compone de entidades públicas y privadas, las cuales pueden ser clasificadas en 4 grupos diferentes: Regulación, financiamiento, aseguramiento y provisión de servicios asistenciales. Con respecto al primero, se tiene al MINSAL y la Superintendencia de Salud como principales reguladores. En el grupo de financiamiento se pueden encontrar actores tales como el Estado de Chile, empresas privadas y cotizaciones de trabajadores. Dentro del grupo de aseguramiento, se tiene que los principales agentes son FONASA e ISAPRE. Por último, en el grupo de provisión se destaca la participación de hospitales y clínicas, centros ambulatorios y laboratorios. En la Imagen 2 se puede observar un esquema del sistema de salud en Chile, el cual fue realizado por OCHISAP (2010).

Imagen 2: Esquema del sistema de salud en Chile

Cuadro 6.1 Esquema del sistema de salud en Chile y sus principales entidades, según función y sector

Función	Sector estatal o público	Sector privado
Rol rector	- Estado (Ministerio de salud)	
Rol regulador	- Estado (Ministerio de salud) - Superintendencia de Salud	
Financiamiento	- Estado - Cotización de trabajadores - Co-pago por bienes y servicios	- Empresas privadas - Cotización de trabajadores - Co-pago por bienes y servicios - Pago de bolsillo
Aseguramiento	- FONASA - Cajas de Previsión de Fuerzas Armadas y de Orden - Otros seguros públicos	- ISAPRE - Mutuales de Empleadores - Seguros específicos (escolares, transporte)
Centros de provisión de servicios asistenciales	- Hospitales del SNSS - Hospitales de Fuerzas Armadas y otros estatales - Centros de atención ambulatoria del SNSS (incluye administración municipal)	- Hospitales y clínicas - Centros ambulatorios - Laboratorios - Centros de imagenología - Otros centros de apoyo diagnóstico o terapéutico

Fuente: (OPS Chile, 2010) Adaptado de MINSAL, 2008 (1)

Fuente: OCHISAP (2010).

Los pacientes tienen la posibilidad de pagar estos servicios utilizando montos recaudados por el Fondo Nacional de Salud (FONASA), beneficios de diferentes instituciones de Salud Provisional o pueden optar por un pago directo. En el Gráfico 3 se puede observar la distribución de la población chilena según su situación de afiliación a sistema previsional de salud (encuesta CASEN 2017). El 78% de la población chilena es asegurada por FONASA, financiada por aporte fiscal y cotizaciones a los asegurados.

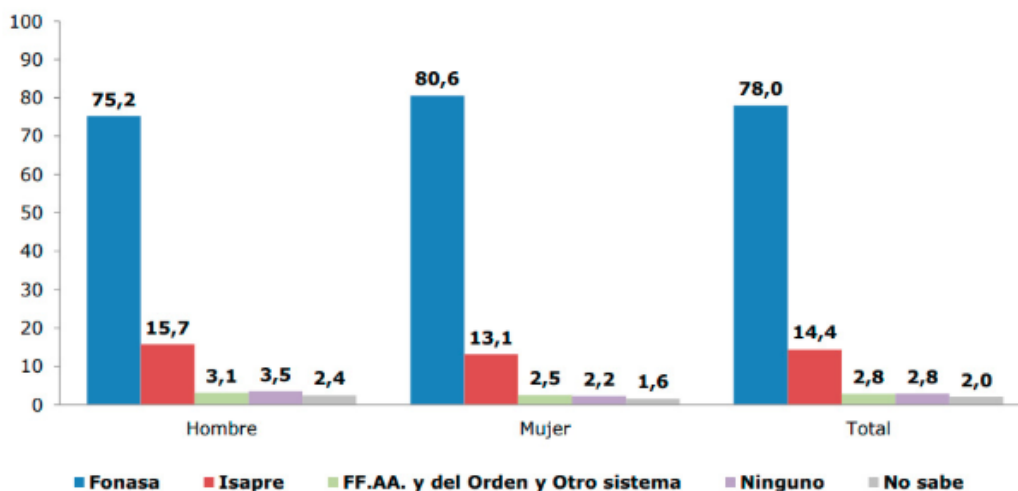
⁷ Sitio web oficial del Ministerio de Salud. [<https://www.minsal.cl/>]

Por otro lado, las ISAPRES cubren el 14.4% de la población, financiándose a través de cotizaciones y aporte voluntario de sus afiliados. El porcentaje restante corresponde a pacientes que utilizan Mutuales de Seguridad, seguros escolares, el sistema previsional de las Fuerzas Armadas, Cheque Consalud o pago personal para liquidar los servicios entregados por la institución.

Gráfico 1: Distribución de la población según su situación de afiliación al sistema previsional de salud

Distribución de la población según situación de afiliación a sistema previsional de salud por sexo (2017)

(Porcentaje, población total por sexo)

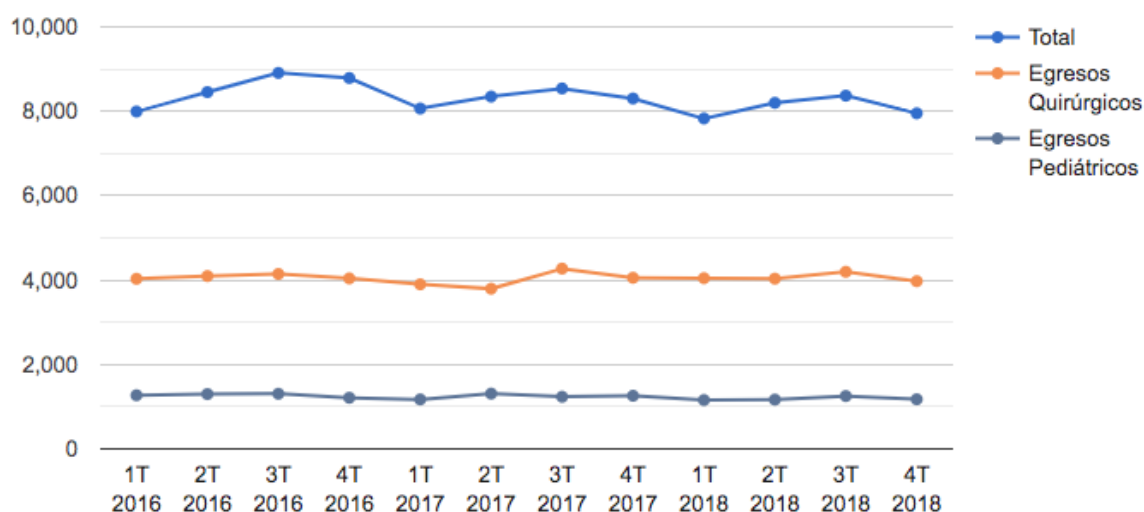


Fuente: Encuesta CASEN 2017.

2.3. Desempeño organizacional

Actualmente, la empresa se encuentra dentro de una etapa de consolidación con respecto a su crecimiento. Esto se puede comprobar observando el Gráfico 2, en donde se puede concluir que dentro de los años 2016 y 2018 los egresos hospitalarios se han mantenido sin variaciones significativas.

Gráfico 2: Egresos hospitalarios en la Red de Salud UC CHRISTUS



Fuente: Página web de la empresa.

Considerando estas magnitudes de egresos durante los últimos años de funcionamiento del Hospital Clínico y los altos costos de los medicamentos que deben pagar los pacientes que recibieron algún tipo de servicio quirúrgico, se puede concluir que estos insumos corresponden a una parte significativa de la remuneración que ha obtenido la institución a lo largo de los años, velando por que se le haga entrega al paciente una experiencia agradable y segura.

Por otro lado, un informe de la Super Intendencia de Salud realizado el año 2015⁸ revela que el Hospital Clínico de la Universidad Católica posee un porcentaje no menor de 62,9% con respecto a las prestaciones de medicamentos e insumos hacia sus pacientes. Se espera que este porcentaje se encuentre estable a la fecha y que el paciente pueda acceder a la información relacionada a los costos de tratamiento (precios de medicamentos o insumos) de manera sencilla.

Hoy en día, los antibióticos son solicitados y utilizados en diferentes Hospitales y farmacias del país, debido a que el ser humano es incapaz de llevar una vida al largo plazo sin utilizar estos medicamentos para contraatacar los virus que se presentan actualmente. El Hospital Clínico sufre una problemática importante con respecto a estos insumos, tendiendo a incurrir en prácticas poco profesionales para preparar antibióticos y brindárselos al paciente. A continuación, se presentará el proyecto a desarrollar por el alumno y como este se dispone a resolver el problema mencionado.

⁸ Sitio web oficial de superintendencia de salud. [http://www.supersalud.gob.cl/normativa/668/articles-15335_recurso_1.pdf]

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN

3.1. Identificar el problema u oportunidad y su relevancia, con sus efectos y posibles causas

La persona interesada en realizar el trabajo de título dentro de Farmacia es la jefa de esta área. Este proyecto consiste en crear un modelo para estimar la demanda de diferentes antibióticos estandarizados que se producen y distribuyen desde este sector del Hospital Clínico. Estos medicamentos son producidos en dosis similares para cada uno de los pacientes, pasando la materia prima por los diferentes procedimientos controlados dentro de la Central de Mezclas.

El principal problema que afecta a la contraparte es el poco manejo de inventario que se tiene dentro del área de producción con respecto a estos medicamentos, los cuales son demandados diariamente. La producción y la demanda se encuentran totalmente desalineados con el inventario, creando espacio para suponer que existen faltas de metodología y herramientas necesarias dentro de los procedimientos que se deben realizar para obtener el producto final. Este hecho repercute en que se tenga una sobre producción de varios insumos o bien, quiebres de stock en donde no se pueden satisfacer algunas solicitudes de los servicios clínicos, lo cual repercute en enviar el medicamento en frasco a su destino final para que el personal de esta área cree el insumo solicitado, atentando contra la salud del paciente. La contraparte afirma que la falta de información sobre la demanda afecta bastante las jornadas laborales dentro de la Central de Mezclas, repercutiendo en tener una producción caótica y afectando al personal dispuesto.

Algunas de las causas que afectan directamente al problema que ocurre en la Central de Mezclas son:

- **Falta de información sobre la demanda diaria de cada uno de los antibióticos estandarizados:** La farmacia de dispensación no cuenta con un estudio relevante sobre la demanda de estos insumos.
- **No existe una metodología determinada para producir los medicamentos según el inventario que poseen en ese instante.**
- **Falta de procesos estandarizados para medir inventario y demanda:** La farmacia de dispensación comenzó a producir antibióticos estandarizados a fines del 2015, por lo que no se tiene un procedimiento claro de cómo recopilar los datos sobre inventario actual y la demanda diaria.
- **Producción de antibióticos estandarizados se hace según intuición del personal de farmacia:** Generalmente, la producción de antibióticos sigue un patrón constante a lo largo de un periodo de tiempo (100 unidades el lunes, 200 el martes, entre otros), por lo que los químicos farmacéuticos hacen una estimación ineficiente de lo que se debe generar.

- **Capacidad limitada de producción:** Los procedimientos para obtener el producto final solo pueden realizarse dentro de una cabina de seguridad biológica de nivel II. Esta estructura solo permite que puedan trabajar, simultáneamente, dos trabajadores, por lo que la cantidad de insumos que este personal puede generar (dentro del tiempo estipulado para suplir la demanda) es limitado, lo cual a generando problemas de producción cuando se desea producir una gran cantidad de antibióticos.
- **Poco personal que se dispone para producir los medicamentos:** Actualmente existe una capacidad límite con respecto al personal que es capaz de generar estos insumos. Esta causa se debe a que la cabina biológica solo posee espacio suficiente para que dos químicos farmacéuticos trabajen simultáneamente y los turnos de trabajo no permiten que se tenga una producción constante dentro de la Central de Mezclas. La opción de añadir al área una más de estas cabinas es impensable, debido a que el espacio físico no da abasto ni tampoco el presupuesto que dispone Farmacia. Además, debido a lo tedioso que es este procedimiento, la gran mayoría de los trabajadores de la Central de Mezclas presentan altas cantidades de licencias médicas por exceso de trabajo y no se cuenta con el personal necesario para suplir estas faltas que ocurren constantemente.

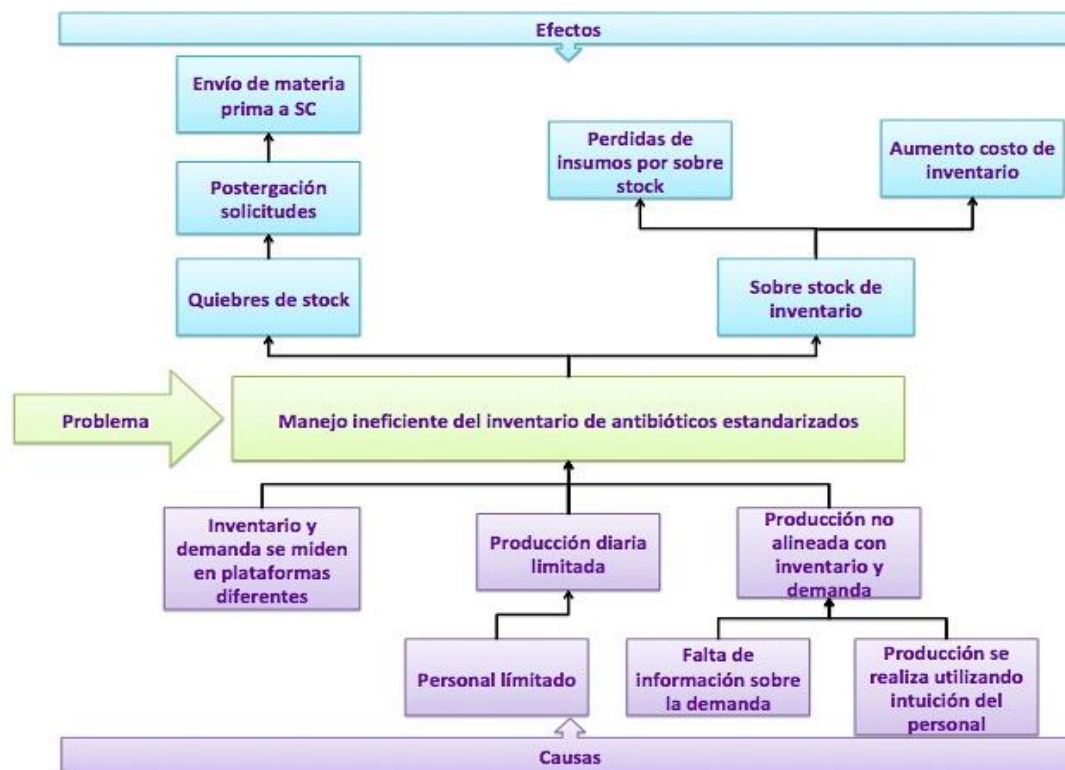
Con respecto a los efectos que el problema genera, tanto en farmacia como a los servicios clínicos del Hospital, se pueden observar los siguientes escenarios:

- **Quiebres de stock para suplir la demanda.**
- **Sobre stock de inventario al producir mayor cantidad que la demandada solicitada.**
- **Postergación de solicitud para el día siguiente por falta de insumo preparado en inventario.**
- **Envío de la materia prima del antibiótico estandarizado, sin pasar por los procedimientos controlados de la Central de Mezclas.**
- **Aumento de la probabilidad de perder insumos por tener sobre stock de insumos en inventario.**

La creación de un modelo de estimación de la demanda diaria busca solucionar el manejo ineficiente del inventario, creando una oportunidad para crear una herramienta que le permita al personal saber cuál es la cantidad que se debe producir en un determinado periodo de tiempo, considerando el inventario que se tiene en la bodega de Farmacia. Una vez que se tenga la propuesta de solución preparada, entonces se beneficiarán tanto la farmacia de dispensación, como también los servicios médicos

relacionados con las solicitudes. En la Imagen 4 se da a conocer una ilustración del árbol de problemas, el cual permite comprender de mejor manera las causas y los efectos de esta problemática.

Imagen 3: Árbol de problemas



Fuente: Elaboración propia.

3.2. Inventario y demanda en plataformas diferentes

Es importante destacar que el inventario que se tenía durante el 2017 y 2018 sólo se escribía físicamente, por lo que, consiguiendo la información de un día, dentro de cualquiera de esos dos años, es posible proyectar el inventario hacia los demás periodos de tiempo, utilizando la cantidad producida y la demanda. Este hecho explica una de las causas ilustradas en el árbol de problemas, la cual está relacionada con que el inventario y la demanda no se están registrando dentro del mismo software. Mientras la producción y las solicitudes son registradas en Excel, el inventario es escrito a mano en un formulario y archivado. Esto produce que el personal de la central de mezclas no pueda visualizar el inventario actual antes de crear los antibióticos solicitados.

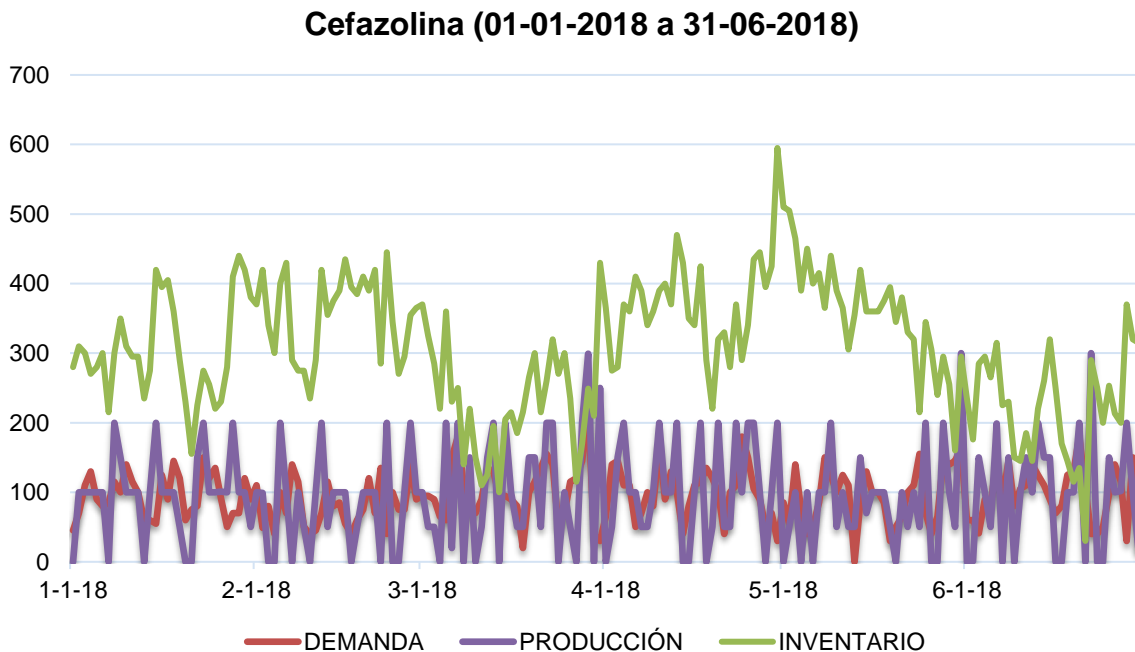
Por otra parte, luego de que finaliza la jornada laboral dentro de la Central de Mezclas, el área de dispensación recopila el inventario existente dentro del software ABA, el cual posee un desfase de actualización de 1 hora, por lo que existe una alta posibilidad de que el inventario físico no sea el mismo del que se tiene en el sistema. En el Anexo 3 se puede observar el formulario que la central de mezclas utiliza para registrar el inventario al final de cada día laboral (el cual se lleva a cabo dentro de las 8:00 y las 20:00 hrs.).

3.3. La producción no está alineada con el inventario y la demanda

Para comprobar el hecho de que no existe una producción alineada con el inventario que se posee actualmente en Farmacia, se han desarrollado gráficos para cada tipo de antibiótico estandarizado, utilizando solo la información del primer semestre del 2018 (se elige este periodo de manera aleatoria entre los 4 semestres disponibles), dando a conocer el inventario de cada uno de los medicamentos, sus respectivas demandas y su producción.

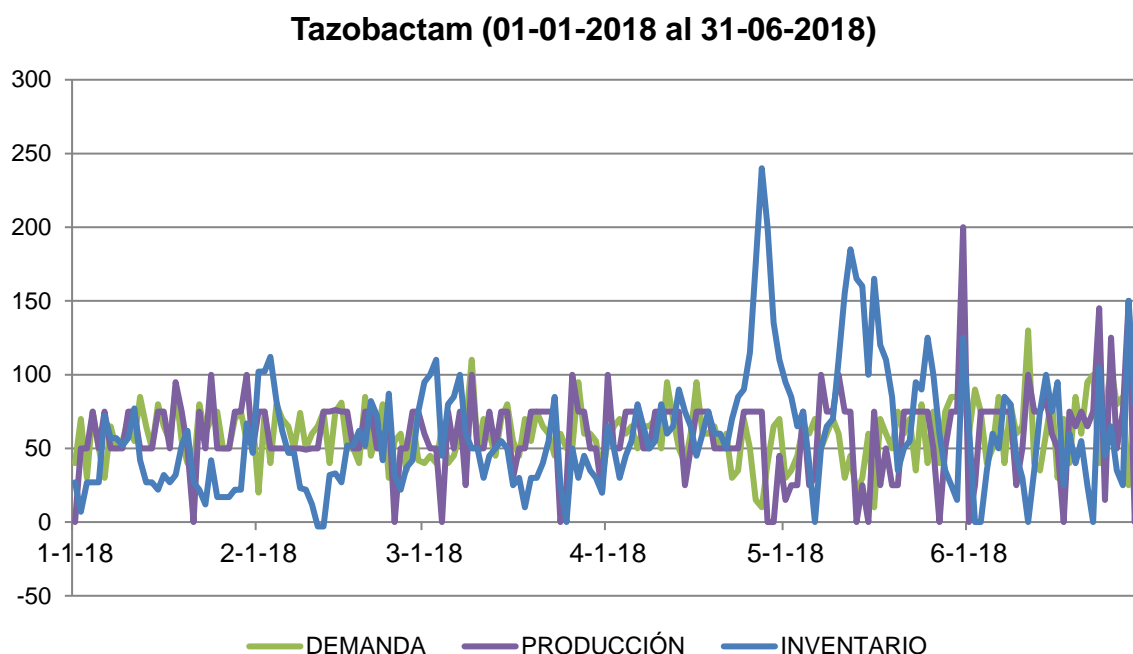
Además, este estudio también demostrará otra de las causas del problema, la cual habla sobre la falta de información que posee la central de mezclas sobre la demanda diaria de antibióticos estandarizados, por lo que no se puede mantener un inventario eficiente debido a la incertidumbre de la cantidad de solicitudes que se tendrán a lo largo del día, repercutiendo en que el personal cree medicamentos basándose en su intuición y el tiempo destinado a este procedimiento. A continuación, se presentan dos gráficos de los que se han obtenido, en donde uno de ellos corresponde al comportamiento de Cefazolina y el otro al Tazobactam. El resto de los resultados se pueden visualizar en la sección de Anexos (4, 5, 6 y 7).

Gráfico 3: Demanda, producción e inventario de Cefazolina durante el primer semestre del 2018



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4: Demanda, producción e inventario de Tazobactam durante el primer semestre del 2018



Fuente: Elaboración propia.

En el primer gráfico, se puede observar claramente que la cantidad producida de Cefazolina no considera el inventario que se posee en ese instante, teniendo una gran brecha con la demanda real. Se ve una sobre producción del producto a lo largo del primer semestre del 2018, debido a que no se cuenta con información clara sobre la demanda y cuantos medicamentos se poseen dentro del inventario.

Por otro lado, en el Gráfico 4, se concluye que el antibiótico Tazobactam posee días en donde se presentan quiebres de stocks críticos y sistemáticos, lo cual demuestra la ineficiencia de la producción y el inventario de este medicamento. En el Anexo 4, la Vancomicina posee tanto sobre inventario como también quiebres de stock. Por otro lado, en el Anexo 5, la Clindamicina ha tenido una gran variedad de puntos en donde se produce mayor cantidad de los que se está demandando, teniendo productos que se almacenan sin ninguna necesidad. Con respecto a la Ceftriaxona, se tiene un comportamiento similar a lo que sucede con la Vancomicina. Por último, en el Anexo 7 se puede concluir que la Cefotaxima posee sobre producción, pero no en altas cantidades.

3.4. Lotes de producción

Además de las conclusiones mencionadas anteriormente, se observa que la producción de estos antibióticos estandarizados sigue un patrón sistemático durante periodos de tiempo, por lo que se infiere que una de las razones de porque la producción del producto no está alineada con el inventario actual es debido a que el personal de la Central de Mezclas realiza los procedimientos de producción siguiendo su propia intuición sobre la demanda que se tendrá en ese día. Si se analiza detenidamente la oferta de cada uno de los productos, se puede concluir que la Cefazolina es producida

frecuentemente en montos de 150 o 200. Por otro lado, el Tazobactam se produce sistemáticamente en cantidades de 25, 50 o 75 unidades, la Vancomicina en montos de 25 o 50, la Clindamicina tiene una producción común que oscila entre 0 y 40 unidades diarias, el Ceftriaxona en 50 o 100 unidades y se producen comúnmente 50 Cefotaxima al día. Dentro del análisis de datos se entregará información detallada sobre los lotes de producción.

3.5. Límites de producción

Otra de las causas que produce este problema es el límite de producción diario que se tiene por parte de farmacia. A continuación, se puede ver una imagen de una cabina de seguridad biológica de clase II, con el fin de demostrar las dimensiones del aparato utilizado para producir los antibióticos.

Imagen 4: Cabina de seguridad biológica de nivel II



Fuente: Central de Mezclas.

Debido a los turnos de trabajo que existen en la Central de Mezclas, el proceso para desinfectar el área (alrededor de una hora antes del ingreso del personal) y el poco personal que puede producir los medicamentos simultáneamente, se genera un límite de producción, considerando el tiempo estipulado para suplir la solicitud. Si es que existiera el espacio físico para implementar otra de estas cabinas, el personal dispuesto para producir antibióticos es insuficiente dentro de la Central de Mezclas, por lo que se incurrirían en costos de contratación para solucionar el problema a través de esta vía.

3.6. Rotación de inventario, sobre producción y costo de oportunidad

Cuando un producto posee una sobre producción, implica un aumento de la probabilidad de perder insumos en inventario por las características de almacenamiento

que posee este medicamento. Es decir, si es que existe una rotación de inventario que tenga un límite mayor o cercano a la cantidad de días que este producto puede ser almacenado (de manera refrigerada o a temperatura ambiente), entonces la probabilidad de perder este insumo por vencimiento es bastante alta. A continuación, en la Tabla 2 se muestran las rotaciones de los antibióticos estandarizados, mencionados anteriormente, con diferentes tipos de indicadores y datos obtenidos con la base de datos de los años 2017 y 2018.

Tabla 1: Costo promedio, precios de venta y rotaciones de inventario para antibióticos estandarizados

Antibiótico	Costo promedio	Precio venta	Rotación de inventario (2017)	Rotación de inventario (2018)	Costo de inventario promedio (2017)	Costo de inventario promedio (2018)
Cefazolina	\$4.307	\$8.744	4,274 días	2,68 días	\$1.616.943	\$1.227.798
Vancomicina	\$6.075	\$12.103	1,27 días	2,31 días	\$366.163	\$333.174
Tazobactam	\$8.356	\$31.591	1,66 días	1,14 días	\$577.599	\$559.812
Clindamicina	\$2.698	\$6.357	4,81 días	4,25 días	\$120.326	\$123.379
Ceftriaxona	\$4.270	\$15.344	1,64 días	2,27 días	\$199.140	\$360.403
Cefotaxima	\$3.843	\$7.912	4,56 días	3,75 días	\$272.183	\$303.699
Total	\$29.549	\$82.051	-	-	\$3.152.354	\$2.908.265

Fuente: Elaboración propia.

La Vancomicina, Tazobactam, Clindamicina, Cefotaxima y Ceftriaxona no poseen un problema de rotación de inventario, ya que sus días límites de expiración son mayores a los que permanecen en inventario. Sin embargo, la Cefazolina si tiene un problema con respecto a la rotación, si es que esta es almacenada a temperatura ambiente. Cabe destacar, que la cantidad de medicamentos que se pueden almacenar en refrigeración es limitada y está destinada a todos los antibióticos que se procesan dentro de la Central de Mezclas.

Por otra parte, se calculan los escenarios en donde la Central de Mezclas posee sobre producción de inventario y el costo que conlleva producir más de la cuenta. Este monto se basa en el caso de que el personal produzca medicamentos durante el día i para satisfacer la demanda del día siguiente, teniendo un inventario que logra suplir, sin considerar los insumos producidos, las solicitudes que llegarán durante el periodo $i + 1$. Cuando este escenario ocurre, se define la sobre producción de inventario como la suma de estas cantidades de antibióticos estandarizados producidos sin la necesidad de satisfacer la demanda futura.

Este cálculo tiene por objetivo, considerar estos puntos de sobre producción y obtener el costo de oportunidad del invertir este monto y obtener utilidades positivas. Tomando en cuenta esta explicación y los costos de producir estos medicamentos, se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 2: Sobre producción de antibióticos estandarizados durante 2017 y 2018

Antibiótico	Sobre producción 2017	Costo sobre producción 2017	Sobre producción 2018	Costo sobre producción 2018
Cefazolina	4.728	\$20.363.496	32.767	\$141.127.469
Vancomicina	6.051	\$36.759.825	6.347	\$38.558.025
Tazobactam	9.875	\$82.515.500	9.351	\$78.136.956
Clindamicina	2.653	\$7.157.794	2.963	\$7.994.174
Ceftriaxona	9.522	\$40.658.940	11.045	\$47.162.150
Cefotaxima	4.879	\$18.749.997	6.108	\$23.473.044
Total	37.708	\$206.205.552	68.581	\$336.451.818

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que los costos anuales de sobre producción de antibióticos son bastante elevados, demostrando que se produce más de lo que se requiere para suplir la demanda actual.

3.6.1 Tasa del proyecto

Para conocer los costos de oportunidad de invertir el valor monetario del sobre producir antibióticos, es necesario obtener la tasa de interés del proyecto que se trabaja, incluyendo el hecho de que se está trabajando dentro de la salud privada. Por lo tanto, se realizará una evaluación privada del trabajo, considerando la tasa del rendimiento real del capital como la rentabilidad actual anual del IPSA (8,9%) y la tasa de inflación igual a la del IPC durante el 2019 (2,9%). Luego de aclarar estas variables, se calcula la tasa del proyecto utilizando la siguiente fórmula, más conocida como la “Ecuación de Fisher”.

$$(1 + i_a) = (1 + i_r) * (1 + \pi)$$

i_a : Tasa de interés nominal

π : Tasa de inflación

i_r : Tasa de rendimiento real del capital

Tomando en cuenta esta metodología y los valores mencionados anteriormente, se obtiene la tasa de interés del proyecto de la siguiente manera:

$$i_a = i_r + \pi + i_r * \pi = 12,05\%$$

3.6.2 Costo de oportunidad

Con la tasa de interés del proyecto conocida, se puede obtener los costos de oportunidad con respecto a los montos sobre producidos durante los años 2017 y 2018, los cuales están ilustrados en la siguiente tabla.

Tabla 3: Costos de oportunidad

Antibiótico	Costo de oportunidad 2017	Costo de oportunidad 2018
Cefazolina	\$2.443.620	\$16.935.296
Vancomicina	\$4.411.179	\$4.626.963
Tazobactam	\$9.901.860	\$9.376.435
Clindamicina	\$858.935	\$959.301
Ceftriaxona	\$4.879.073	\$5.659.458
Cefotaxima	\$2.250.000	\$2.816.765
Total	\$24.744.666	\$40.374.218

Fuente: Elaboración propia.

3.7. Inventario

El refrigerador de almacenamiento cuenta con 5 bandejas, en donde la Cefazolina puede completar una de estas con 240 unidades. A continuación, se presenta una tabla en donde se pueden visualizar la distribución destinada a cada uno de los medicamentos dentro del refrigerador de almacenamiento. Por otra parte, dos de estos medicamentos solo pueden ser almacenados de manera individual (Tazobactam y Cefazolina). Es decir, estos deben encontrarse en bandejas diferentes, con el objetivo de evitar confusiones a la hora de despachar el producto o etiquetarlos previamente.

Tabla 4: Distribución de antibióticos estandarizados en refrigerador de almacenamiento

Antibiótico	Cantidad máxima en almacenamiento
Cefazolina	240 unidades (bolsas de 10 unidades; 20 bolsas por bandeja)
Cefotaxima	120 unidades (bolsas de 10 unidades)
Ceftriaxona	120 unidades (bolsas de 10 unidades)
Vancomicina	100 unidades (bolsas de 5 unidades; 20 bolsas por bandeja)
Clindamicina	100 unidades (bolsas de 5 unidades; 20 bolsas por bandeja)
Tazobactam	120 unidades (bolsas de 5 unidades)

Fuente: Central de Mezclas.

Esta tabla demuestra la capacidad de almacenamiento que existe dentro de la cámara de la Central de Mezclas. Sin embargo, fuera de ella (en el área de Dispensación) existen otros dos refrigeradores de almacenamiento, por lo que la capacidad para guardar estos medicamentos se puede triplicar a lo mencionado anteriormente.

3.8. Perdidas de medicamentos

Al consultar por la información relacionada a los desperdicios históricos de medicamentos, relacionados a la Central de Mezclas y Dispensación, se encuentran pocas perdidas de antibióticos estandarizados con respecto al total de medicamentos. La Química Farmacéutica a cargo de la central de mezclas afirma que este registro es erróneo, debido a que los insumos que se pierden dentro de los servicios clínicos no son digitalizados por el personal que trabaja dentro de estas áreas. En la siguiente tabla se pueden observar las cantidades y los montos relacionados a las pérdidas de medicamentos en Farmacia, considerando también los antibióticos estandarizados desechados (los cuales corresponden mayormente a Clindamicina).

Tabla 5: Perdidas de medicamentos en el Hospital Clínico

Año	Monto	Cantidad de perdidas	Cantidad de antibióticos	Porcentaje de perdidas	Porcentaje de antibióticos
2015	\$2.194.642	1692	0	20%	0%
2016	\$2.713.470	1959	40	23%	2%
2017	\$2.065.096	1230	12	14%	1%
2018	\$19.135.684	2130	0	25%	0%
2019	\$2.725.704	1655	0	19%	0%
Total	\$28.834.595	8666	52	100%	3%

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de solo contar con este registro, se estima que el 5% de los antibióticos estandarizados preparados en la Central de Mezclas y que son enviados a los servicios clínicos son desechados por vencimiento o bien por no utilizar toda la dosis que ha sido entregada. En la tabla que se presenta a continuación, asumiendo que este escenario ocurre de manera anual, se puede observar los costos de los desperdicios de antibióticos.

Tabla 6: Desperdicios de antibióticos estandarizados durante el 2017, 2018 y 2019

Antibiótico	Utilidad	Cantidad desperdicios 2017	Cantidad desperdicios 2018	Cantidad desperdicios 2019	Utilidades perdidas
Cefazolina	\$4.437	1.467	1.727	358	\$15.755.343
Cefotaxima	\$4.069	283	385	22	\$2.808.017
Ceftriaxona	\$11.074	520	677	3	\$13.281.602
Clindamicina	\$3.659	169	196	72	\$1.599.166
Tazobactam	\$23.235	759	1.078	455	\$53.237.194
Vancomicina	\$6.028	393	434	188	\$6.121.133
TOTAL	\$52.502	3.591	4.496	1097	\$482.183.618

Fuente: Elaboración propia.

3.9. Envío de frascos ATB a servicios clínicos

Si el paciente necesita de manera urgente el medicamento y este no se encuentra preparado para ser despachado en modalidad intravenosa, entonces el insumo puede ser enviado sin procesar hacia el destino final. Estos medicamentos son denominados ATB y en el momento que llegan a su destino, el o la enfermera/o del servicio clínico debe realizar los mismos procedimientos que se realizan en la Central de Mezclas para obtener el producto final, pero sin contar con el control de bacterias externas y la esterilización que se tiene dentro de Farmacia, por lo que el antibiótico se puede contaminar y empeorar la salud del paciente. Al ocurrir esto, el Hospital Clínico puede poner en riesgo la vida del cliente e incurrir en una demanda de millones de CLP.

A este producto se le debe inyectar suero fisiológico o bien, agua bidestilada, para luego dejar reposar y obtener el producto final. Cada tipo de medicamento posee tiempos de reposo y procesos de administración diferentes. Debido a las características que poseen estos insumos, es necesario contar con un procedimiento eficiente, con el fin de que el paciente no se vea afectado por errores humanos y proteger al personal de Hospital Clínico. En la Imagen 6, se puede observar una fotografía del frasco utilizado para crear el medicamento de Cefazolina, previamente a posterior inyección del suero fisiológico o agua bidestilada.

Imagen 5: Frasco de Cefazolina



Fuente: Central de Mezclas.

Actualmente, no se tiene registro dentro de Farmacia sobre como realizan los procedimientos dentro de los servicios clínicos para inyectar estos medicamentos a sus pacientes, por lo que se realizó una investigación exhaustiva con respecto a diferentes errores que el personal del Hospital podía cometer y así, encontrar una probabilidad de que el paciente se vea afectado al no recibir el medicamento preparado para utilizarse, inmediatamente, de manera intravenosa.

Katja Taxis y Nick Barber (2006), profesores de la Universidad de Londres, realizaron un estudio en el Reino Unido que tenía por objetivo entregar un análisis detallado de los diferentes tipos de errores que pueden cometer los o las enfermeras/os cuando preparan medicamentos que se administrarán por vía intravenosa al paciente. Esta investigación tenía la facultad de poseer una perspectiva etnográfica, en donde se utilizaron medidas definidas para determinar la incidencia de errores preparando y administrando estos insumos, identificando las etapas del proceso en donde ocurrían y evaluando su importancia clínica.

Los datos fueron recolectados en dos hospitales diferentes, en donde el primero era universitario (poseen metodologías para enseñar al personal las técnicas médicas que debe recibir el paciente) y el otro correspondía a un hospital general. Considerando estos lugares, se seleccionaron 20 cuartos, lo cual equivale a 400 camas cada uno. Dividiendo los tipos de errores entre menor, moderado y severo, con un total de 430 observaciones y considerando la opinión de doctores, enfermeras/os y estudiantes, se obtuvieron los resultados ilustrados en la Imagen 7.

Imagen 6: Tabla de errores de preparación y administración de medicamentos intravenosos, estudio realizado en dos hospitales del Reino Unido.

Table 3 Type and clinical importance of errors in preparation and administration of intravenous drugs. Values are numbers (percentages) of errors in 430 observations

Type of error*	Importance of error			Total
	Minor	Moderate	Severe	
Preparation errors:				
Errors in solvent/diluent	20 (5)	16 (4)	0	36 (8)
Wrong dose	0	11 (3)	1 (0.2)	12 (3)
Omission	0	12 (3)	0	12 (3)
Other	0	0	2 (0.5)	2 (0.5)
Administration errors:				
Fast bolus dose (peripheral line)	64 (15)	63 (15)	0	127 (30)
Fast bolus dose (central line)	14 (3)	22 (5)	0	36 (8)
Incompatibilities	1 (0.2)	11 (3)	0	12 (3)
Other	3 (7)	9 (2)	0	12 (3)

*No errors were observed in the categories of preparing the wrong drug, using an unauthorised drug, or administration to the wrong patient.

Fuente: Elaborado por Katja Taxis y Nick Barber (2006).

Se puede ver que existen errores significativos tanto dentro de los procesos de preparación de estos medicamentos, como también en el momento que estos son administrados a los pacientes. Katja y Nick afirman que los errores relacionados con este tipo de insumos intravenosos son más comunes de lo que esperaban, ya que casi el 30% del total de los pacientes en un hospital (400 camas totales) recibe estos tratamientos, teniendo como resultado más de 300 dosis intravenosas al día, por lo que es bastante probable que se cometa un error en la administración y el uso de estos insumos.

Por otro lado, luego de analizar estos resultados, dan a conocer que es necesario reducir estos riesgos a través de diferentes etapas de preparación. En este punto, se hace hincapié en que el método de preparar estos medicamentos en Farmacia, previamente a su despacho, es indispensable para que el cliente reciba el insumo en su forma correcta y que el personal del servicio clínico, el cual no cuenta con la capacitación y habilidades necesarias para preparar estos medicamentos, puedan destinar su tiempo a la atención del paciente.

Por lo tanto, si se considera solo el ratio de errores severos para este trabajo (0,7%), se tendría un total de 371 medicamentos mal preparados dentro de los servicios clínicos, durante el periodo del 2019. Además, el 2017 y 2018 existe la probabilidad de que 540 y 338 antibióticos hayan sido mal preparados, respectivamente. Esta situación es bastante grave, ya que el número de pacientes que pueden ser infectados no es menor y basta con que uno de ellos se percate de este error para que el Hospital Clínico de la Red de Salud incurra en una negligencia médica.

El sitio web oficial de negligencias médicas en Chile asegura que cuando la organización, que atendió directamente al paciente, realiza una mala práctica que puede

afectar la salud del cliente, se incurre en un costo que varía entre los \$130.000.000 y los \$300.000.000 CLP ⁹.

Además, una de las principales políticas del Hospital es que el/la enfermera/o le destine el 90% de su tiempo al cuidado del paciente, por lo que realizar este procedimiento hace que la institución incurra en un costo bastante alto a nivel político y monetario.

3.10. Entrevista a Químico Farmacéutico externo a la organización

Para indagar más en esta problemática de la preparación de medicamentos intravenosos, dentro de los servicios clínicos, se consultó la opinión de un experto en materia farmacéutica y que no tenga relación con la Red de Salud UC CHRISTUS. Rodrigo Vidal, Químico Farmacéutico egresado de la Universidad Andrés Bello, dio a conocer su opinión sobre estas preparaciones de insumos intravenosos en pisos, en donde dio a conocer que estas prácticas son muy cuestionadas a nivel nacional por el riesgo que puede contraer tanto el paciente, como también la/el enfermera/o al manipular medicamentos altamente activos, los cuales pueden formar una resistencia secundaria al personal de la organización.

Con esta información entregada, se puede corroborar que la investigación realizada anteriormente es válida, demostrando que el escenario en donde la organización se vea involucrada dentro de una negligencia médica es probable y hay que tomar las medidas necesarias para proteger a los pacientes o trabajadores en los Hospitales.

3.11. Cantidad de medicamentos ATB enviados a los servicios clínicos

A continuación, se darán a conocer las características generales de la demanda de estos medicamentos, así como también su contraste con la producción de los antibióticos creados en la central de mezclas.

Tabla 7: Comparación entre la demanda de antibióticos ATB durante 2017 y 2018

DESCRIPCIÓN DEL ARTÍCULO	DEMANDA 2017	PORCENTAJE 2017	DEMANDA 2018	PORCENTAJE 2018
Cefazolina	13.505	18%	9.415	20%
Cefotaxima	6.413	8%	3.143	7%
Ceftriaxona	14.166	18%	6.213	13%
Vancomicina	22.363	29%	17.219	36%
Clindamicina	5.492	7%	4.393	9%
Tazobactam	15.161	20%	7.842	16%
Total	77.100	100%	48.225	100%

⁹ Sitio web oficial de negligencias médicas en Chile [<https://www.negligenciasmedicas.cl>].

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8: Cantidad y porcentaje de antibióticos ATB demandados durante enero y julio del 2019

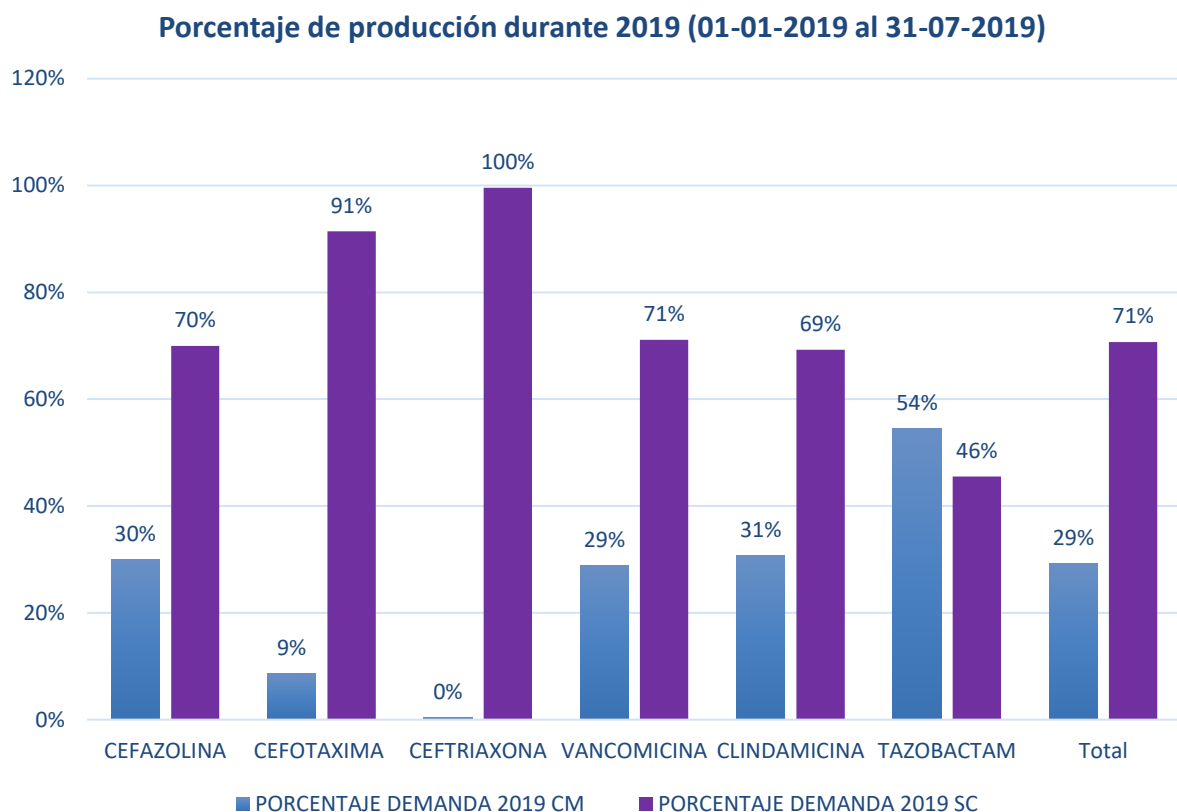
DESCRIPCIÓN DEL ARTÍCULO	CÓDIGO	DEMANDA 2019	PORCENTAJE DEMANDA
Cefazolina	FK3020	16.752	31%
Cefotaxima	FK3022	4.758	9%
Ceftriaxona	FK3025	11.589	22%
Vancomicina	FK3055	9.380	18%
Clindamicina	FK3049	3.329	6%
Tazobactam	FK3063	7.671	14%
Total	-	53.479	100%

Fuente: Elaboración propia.

Considerando estas cifras, se puede observar que durante el 2017 se realizaron una gran cantidad de despachos de antibióticos ATB a los servicios clínicos. Por otro lado, el 2018 se tuvo una disminución de un 37% con respecto al año anterior (Anexo 8), debido al aumento del rendimiento de los procesos dentro de la Central de Mezclas para preparar antibióticos estandarizados y disminuir la cantidad de frascos ATB enviados a diferentes lugares del Hospital Clínico. Durante el mes de enero y julio del 2019, se ve un aumento significativo de los envíos de estas sustancias a los servicios clínicos, superando las cantidades despachadas durante el 2018.

A continuación, se presenta un gráfico que muestra el porcentaje de antibióticos creados en la Central de Mezclas y los que son enviados en formato ATB a los servicios clínicos durante el 2019. Los resultados obtenidos para los demás periodos se pueden visualizar en los Anexos 9 y 10.

Gráfico 5: Porcentaje de medicamentos ATB enviados a los servicios clínicos y producción de estos medicamentos dentro de la Central de Mezclas, durante enero y julio del 2019



Fuente: Elaboración propia.

Analizando los despachos para cada uno de los medicamentos, se puede concluir que aproximadamente la mitad han sido entregados en modalidad de frascos a los servicios clínicos durante el 2017, pero la Cefazolina ha sido una excepción, demostrando la importancia de que este medicamento llegue preparado al lugar donde se encuentra el paciente. Por otra parte, durante el 2018 se observa una disminución significativa de envíos ATB a los servicios clínicos, demostrando que el rendimiento de la Central de Mezclas aumentó en un 17% en la creación y procesamiento previo de antibióticos estandarizados. En cambio, durante el 2019, el rendimiento de la Central de Mezclas disminuyó en un 36% en la fabricación de estos medicamentos, con respecto al año anterior y el despacho total de estos insumos.

Este caso es crítico para la empresa, ya que actualmente se tienen medicamentos que no han sido fabricados dentro de Farmacia durante 6 meses, teniendo solo uno que supera la brecha del 50% de producción en relación con los frascos despachados (Anexo 11 para observar detalles de transacciones).

3.12. Resumen de costos relacionados a antibióticos estandarizados

Con el fin de procesar y recordar toda la información mencionada anteriormente, se crean dos tablas que resumen los costos relacionados a estos insumos médicos.

Además, se dan a conocer cuáles son los montos en que se incurren cuando la preparación de antibióticos estandarizados se encuentra relacionada a un escenario complejo y los riesgos a producir estos medicamentos. Estos costos se dividen en los siguientes grupos:

- **Relacionados a no mantener en funcionamiento la cabina de seguridad biológica:** Como se mencionó anteriormente, la producción actual de la Central de Mezclas se realiza, principalmente, durante la jornada que ocurre durante las primeras horas del día (8:00 hasta las 12:00 hrs). Esto repercute en que la cabina de seguridad se encuentre en reposo durante la mitad del tiempo de trabajo reglamentario y se incurra en un costo de oportunidad por no mantener los activos en funcionamiento. Considerando este hecho, el precio de estas cabinas en el mercado (\$2.8 millones de CLP) y una vida útil de 20 años, se obtiene un costo de oportunidad igual a \$1.023 CLP por día laboral.
- **Enviar medicamento ATB al servicio clínico:** En el momento en que el medicamento es enviado en frasco al paciente, se incurre en un costo de oportunidad al no haber enviado el medicamento preparado. Este valor corresponde a la diferencia entre las utilidades de estos dos escenarios.
- **Costo diario por ausencia de Químico Farmacéutico a la jornada laboral:** Cuando un trabajador importante dentro de la Central de Mezclas se ausenta para un día laboral, el área incurre en un costo igual a un porcentaje del salario del empleado que no pudo asistir. Tomando en cuenta que un Químico Farmacéutico tiene una remuneración monetaria promedio en Chile de 1,2 millones de CLP y la cantidad de días hábiles laborales (considerando además un mes de vacaciones), se obtiene el costo diario mencionado e ilustrado en la Tabla 10.
- **Valor esperado de obtener una negligencia médica:** Como se menciona en capítulos anteriores, existe la posibilidad de que la salud del paciente se vea afectada si es que un medicamento ATB es enviado al servicio clínico, en lugar de realizar la preparación correspondiente en la Central de Mezclas. Si se utiliza la probabilidad de este escenario y el monto promedio de incurrir en una negligencia médica (\$200 millones de CLP, aproximadamente), se obtiene el valor esperado de la demanda.
- **Costos de inventario:** Valor de almacenar una unidad dentro del inventario de la Central de Mezclas, lo cual corresponde al costo de fabricar este insumo.
- **Valor esperado de las pérdidas por vencimiento:** Cada uno de los medicamentos estudiados tiene una vida útil y una probabilidad sobre la cantidad de medicamentos que se desechan en el Hospital Clínico. Multiplicando la utilidad

perdida de este insumo con la probabilidad de que sea desechado, se obtiene el valor esperado de estas pérdidas.

Tabla 9: Resumen de los costos relacionados a la producción de antibióticos estandarizados

Escenario	Costos por quiebres relacionados a un medicamento (CLP)
Enviar Cefazolina en frasco (un)	\$2.663
Enviar Cefotaxima en frasco (un)	\$2.608
Enviar Ceftriaxona en frasco (un)	\$8.909
Enviar Clindamicina en frasco (un)	\$1.831
Enviar Vancomicina en frasco (un)	\$3.138
Enviar Tazobactam en frasco (un)	\$485
Costo de inventario de Cefazolina (un)	\$4.307
Costo de inventario de Cefotaxima (un)	\$3.843
Costo de inventario de Ceftriaxona (un)	\$4.270
Costo de inventario de Clindamicina (un)	\$2.698
Costo de inventario de Vancomicina (un)	\$6.075
Costo de inventario de Tazobactam (un)	\$8.356
Valor esperado perdidas Cefazolina (un)	\$222
Valor esperado perdidas Cefotaxima (un)	\$203
Valor esperado perdida Ceftriaxona (un)	\$554
Valor esperado perdida Clindamicina (un)	\$183
Valor esperado perdidas Vancomicina (un)	\$301
Valor esperado perdidas Tazobactam (un)	\$1.162
Total	\$51.808

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10: Costos relacionados a quiebres críticos relacionados con la producción de antibióticos estandarizados

Escenario	Costos por quiebres externos
No mantener cabina en funcionamiento (4 horas)	\$1.023
Valor esperado negligencia médica	\$14.000.000
Falta de un trabajador por licencia médica (salario de \$1.2 CLP)	\$30.000
Total	\$14.031.023

Fuente: Elaboración propia.

3.13. Medicamentos eliminados del análisis posterior por tener una baja demanda y producción

Debido a la alta cantidad de información y análisis que implica estudiar la demanda, producción, inventario y generar la propuesta de solución para cada tipo de antibiótico estandarizado, se decide por eliminar dos de estos medicamentos debido a la poca rentabilidad que le entregan a la organización, la baja cantidad anual de solicitudes que se reciben de estos insumos (tanto en modalidad ATB, como también preparados) y la poca cantidad de recursos que se dispone para abarcar estos antibióticos dentro del estudio a realizar. Estos medicamentos corresponden a la Cefotaxima y Clindamicina, los cuales han tenido una demanda de ATB menor al 8%, gastos menores del 5% con respecto a la producción en la Central de Mezclas, solicitudes que no superan los 5.000 productos intravenosos por año y bajos lotes de producción.

4. IDENTIFICAR HIPÓTESIS Y POSIBLES ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Es necesario investigar profundamente las causas del problema principal de la Farmacia del Hospital, generando hipótesis plausivas sobre estas y analizando cual es la manera más eficiente para encontrar las diferentes alternativas de solución que atacarán las raíces del problema.

- **Hipótesis 1: No existe una comunicación eficiente entre las dos áreas de la Farmacia.** Esta hipótesis podría explicar la causa de que la producción, la demanda y el inventario se registran en softwares diferentes, lo cual dificulta bastante la tarea de crear productos eficientes según la demanda diaria. Una alternativa de solución para este caso es crear un sistema que sea capaz de ser modificado por las dos áreas de manera simultánea y, además, posea las capacidades para que toda la institución pueda acceder a los movimientos del inventario, demanda y producción de farmacia.
- **Hipótesis 2: No existe un monitoreo eficiente por parte de la administración de Farmacia sobre la producción de medicamentos y el inventario que se tiene dentro de la Central de Mezclas.** Está hipótesis está también relacionada con la causa de que existan plataformas diferentes para registrar las actividades de los medicamentos dentro de Farmacia, confundiendo el medio por donde se debe evaluar el rendimiento del personal. Una posible alternativa de solución es implementar indicadores de rendimiento para la Central de Mezclas y el área de Dispensación, con el objetivo de que la administración sea capaz de monitorear la producción de los medicamentos, la demanda diaria y el inventario.
- **Hipótesis 3: No se ha realizado ningún tipo de análisis eficiente de la demanda de antibióticos estandarizados por parte del personal de Farmacia.** Esta hipótesis ataca la idea de que no existe información sobre la demanda diaria que recibe la Central de Mezclas con respecto a los medicamentos solicitados, por lo que la producción de antibióticos no se genera tomando en cuenta lo que los servicios clínicos necesitan, durante la jornada laboral. Una alternativa de solución para enfrentar este problema es crear un modelo capaz de estimar la demanda diaria de antibióticos estandarizados, con el objetivo de que el personal de la Central de Mezclas sea capaz de tomar en consideración la información recopilada antes de producir.
- **Hipótesis 4: Producción acelerada por parte del personal de la Central de Mezclas.** Una posible situación que esté ocurriendo en farmacia es que los trabajadores realicen el procedimiento de producción a una gran velocidad por miedo a no suplir las solicitudes diarias, lo cual puede generar percances a la hora

de que se tomen el tiempo de investigar cual es la demanda actual de antibióticos y el inventario existente.

- **Hipótesis 5: Personal de Farmacia no es asignado de manera eficiente dentro de la Central de Mezclas y no se posee la cantidad necesaria de Técnicos o Químicos Farmacéuticos.** Este es una de las causas que afectan considerablemente al problema principal del inventario de antibióticos estandarizados en la Central de Mezclas, debido a la alta cantidad de licencias que presenta el personal a lo largo del año.

La causa que se eligió para atacar de raíz el problema principal es la falta de información que se posee actualmente sobre la demanda de antibióticos estandarizados, debido a que, al tener un modelo de estimación de la demanda de estos medicamentos, entonces se debería llegar a una producción eficiente de insumos para satisfacer las solicitudes diarias de los servicios clínicos, alineando la demanda, gestionando el inventario y optimizando la producción de estos insumos.

4.1. Propuesta de valor de las posibles soluciones o impacto del cambio propuesto

La solución de crear un modelo capaz de estimar la demanda y gestionar el inventario de antibióticos estandarizados, permitirá que se ahorren bastantes recursos dentro de la Central de Mezclas, el área de Dispensación y en los diferentes servicios clínicos. En primer lugar, una vez que se tenga una estimación de cuánto es necesario producir diariamente, se disminuirán, significativamente, los costos de inventario en antibióticos estandarizados, teniendo una producción alineada con las solicitudes de los servicios clínicos y un inventario óptimo a través de los años. En segundo lugar, se tendrá la posibilidad de distribuir eficientemente las horas laborales de producción de los Químicos Farmacéuticos, optimizando el tiempo de producción dentro de la Central de Mezclas, sin tener la necesidad de que el personal de farmacia tenga que, sobre producir medicamentos.

Se espera que, una vez entregada la propuesta de solución, todas las solicitudes debieran ser completadas y entregadas en su totalidad a los servicios clínicos, dentro de un escenario normal, contemplando los errores de producción y de inventario. Además, se disminuirán considerablemente la cantidad de frascos ATB enviados a los servicios clínicos, con respecto a los despachos realizados durante el 2019. Esto generaría que el personal del servicio clínico no se arriesgue a dañar la salud del cliente, se disminuya la cantidad de tiempo que toma preparar estos medicamentos y logré centralizar sus habilidades en la atención del paciente.

Para calcular cuantitativamente estos beneficios, es necesario tomar en cuenta el costo total de inventario de todos los antibióticos estandarizados almacenados dentro de Farmacia, el tiempo que se ahorraría una vez implementada la solución con la respectiva remuneración diaria del personal de la Central de Mezclas, la cantidad de personal necesario para producir los antibióticos en contraste con la propuesta de solución, evaluar una posible inversión en personal dentro de la Central de Mezclas, el tiempo que le toma a una enfermera producir el mismo medicamento intravenoso en el servicio clínico, las

respectivas remuneraciones monetarias y el costo de incurrir en una demanda por dañar la salud del paciente al brindarle un antibiótico contaminado.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

“Generar un sistema de inventario que gestione eficientemente los antibióticos estandarizados almacenados dentro del área de Farmacia del Hospital Clínico y que sea capaz de satisfacer la demanda de los servicios clínicos.”

El modelo de estimación de la demanda logrará que el inventario se gestione de mejor manera, permitiendo que el personal de la Central de Mezclas cuente con un stock de seguridad para cada uno de los antibióticos estandarizados que se encuentran dentro del almacenamiento.

Para medir el cumplimiento de este objetivo, se utilizarán diferentes indicadores de rendimiento luego de que se obtenga la propuesta de solución. En primer lugar, se comparará la rotación de inventario antes y después de que el modelo de estimación de la demanda sea creado e implementado, con el fin de observar la diferencia de tiempo que les toma a los productos en ser renovados dentro del almacenamiento de la Central de Mezclas. Es necesario también observar la sobre producción del inventario propuesto en contraste con el que se tuvo realmente, observando cual fue el que produjo mayor cantidad de insumos innecesarios para suplir una demanda pequeña. Por otro lado, se deben comparar los quiebres de stock entre el inventario real y el pronosticado, con el fin de observar que tan rentable es el modelo para la implementación.

5.2. Objetivos Específicos

1. Obtener un inventario que disminuya los costos actuales y pueda mantenerse estable, a pesar de la demanda del periodo.
2. Modelo de estimación debe predecir la demanda del pasado con un grado de precisión considerable para que este sea eficiente en la práctica.
3. Rotación de inventario debe disminuir y permitir que los medicamentos no sean desperdiciados, considerando su tiempo de vida útil.
4. Costos de oportunidad del inventario deben disminuir en, al menos, un 40% con respecto a su totalidad.
5. Analizar la cantidad de personal disponible para que la propuesta de solución sea implementada, evaluando una posible inversión de la organización de ser necesario.
6. Estimar la demanda de medicamentos ATB para suplir un porcentaje determinado de la demanda determinado, una vez que la producción de preparados se haya optimizado

7. Una vez que el modelo de estimación de demanda este completado, encontrar un nivel de inventario de seguridad para mantener un nivel de productos eficiente dentro del almacenamiento.
8. La propuesta de solución debe considerar los horarios y turnos laborales del personal de Farmacia, con el fin de que la logística no sea un impedimento para crear el modelo.

6. MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual se dividirá en dos secciones, una enfocada a modelos para pronosticar la demanda de un producto y la otra con respecto a la gestión de inventarios.

6.1. Modelos de Pronóstico de demanda

Para este caso, el estudiante seguirá los pasos explicados en el libro “Administración de Operaciones, Producción y Cadena de Suministros”, creado el 2009 por Richard B. Chase, F. Robert Jacobs y Nicholas J. Aquilano. Por otro lado, también se utilizará el apunte obtenido en el curso de Gestión de Operaciones I, tomando en cuenta las cátedras en donde se analiza y estudian los diferentes modelos para estimar la demanda de algún tipo de producto o servicio.

Existen varios pronósticos para estimar la demanda de un producto, los cuales se pueden clasificar en cuantitativos y cualitativos. Las técnicas cuantitativas utilizan información con respecto a la demanda pasada para predecir la futura, relaciones de causa efecto o bien, modelos dinámicos. Estos pueden dividirse en 3 grupos: Series de tiempo, relaciones causales y simulación.

Para este caso, solo se considerará la información relacionada con series de tiempo y relaciones causales, debido a que se utiliza la información del pasado para predecir la demanda futura, lo cual está relacionado directamente con la alternativa de solución. Las componentes que típicamente se utilizan para describir los cálculos de series de tiempo tienen la siguiente notación:

$$\begin{aligned}n &: \text{Número de periodos.} \\D_t &: \text{Demanda observada en el periodo } t. \\F_{t+1} &: \text{Pronóstico para el período } t + 1 \\A_t &: \text{Demanda promedio en el periodo } t \\e_t = D_t - F_t &: \text{Error de pronóstico}\end{aligned}$$

Además, algunos pronósticos de demanda utilizan variables para cuantificar ponderaciones temporales, constantes de suavización (α) y tendencia (δ), con el fin de entregar importancia a valores y entregar un pronóstico conciso, realista y eficiente. Los valores de estas variables deben ser siempre mayores que 0 y menores que 1.

Por otro lado, se quiere destacar que para obtener la propuesta de solución se han integrado modelos de pronóstico que escapan del alcance de la Bibliografía mencionada anteriormente, tales como arboles binomiales, Random Forest, suavización exponencial con tendencia amortiguada, Holt-Winters con tendencia amortiguada, Prophet y ARIMA. A modo de amenizar los contenidos de esta sección, en el Anexo 12 se puede ver un resumen de las principales fórmulas de los pronósticos a utilizar y sus características a la hora de estimar el futuro.

Luego de observar los diferentes tipos de pronóstico, es posible afirmar en que escenarios puede ser útil uno por sobre el otro o cuales entregarán los mejores resultados.

Si la demanda de estos medicamentos ha sido estable a lo largo de los años, entonces el promedio móvil simple o la suavización exponencial simple podrían ser buenos estimadores para predecir el futuro, sobre todo el último, por su facilidad de ajustarse a cambios históricos poco significativos dentro de la base de datos. Por otro lado, si se poseen datos históricos que demuestran tener una tendencia observable a lo largo del tiempo, entonces el método de suavización con tendencia amortiguada, Prophet o ARIMA podrían ser los mejores candidatos para este escenario, debido a su fácil implementación y flexibilidad para calcular el pronóstico esperado.

Siguiendo este análisis, si los datos históricos demuestran estacionalidad durante ventanas de tiempo determinadas (sin tendencia observable), el suavizado exponencial con estacionalidad, Prophet o ARIMA serían los modelos acertados para pronosticar el futuro, haciendo hincapié en los últimos mencionados, debido a su exactitud evaluando la situación actual. Por otra parte, si los datos poseen tendencia y estacionalidad, se espera que variados modelos entreguen resultados aceptables, tales como Holt-Winters (con y sin tendencia amortiguada), Prophet y ARIMA. Cabe destacar que, si se poseen variabilidades significativas durante feriados irrenunciables, entonces el modelo Prophet será el que mejor pronostique el futuro, ya que cuenta con la facilidad de incluir los fenómenos que ocurren durante estos periodos de tiempo.

En el caso de que se creen variables independientes que expliquen en un alto porcentaje la variabilidad de la variable dependiente, entonces es altamente probable que Random Forest o arboles binomiales sean los métodos que mejor pronostiquen el futuro, debido a su capacidad de situarse en diferentes escenarios y decidir cuál será la decisión óptima.

Además de esto, es necesario estudiar de qué manera se realizará el pronóstico de los datos, ya sea diaria, semanal o mensualmente. El único caso en donde los modelos propuestos difieren en los resultados que entregan es cuando se desea realizar un pronóstico diario, ya que los métodos de suavización con tendencia necesitan una ventana de tiempo que sea mayor que un solo día en el pasado, por lo que es complejo obtener resultados exactos para cada periodo de tiempo deseado. Si este es el caso, el modelo Prophet, regresiones lineales, Random Forest y arboles binomiales poseen la facultad de ser buenos estimadores diarios de la demanda futura.

En el caso de que los datos no posean estacionalidad ni tendencia y se cuente con fluctuaciones aleatorias por variados instantes de tiempos (sin tener variables independientes que expliquen el comportamiento de la variabilidad de la demanda por sobre un 10%), entonces es altamente probable que el modelo móvil simple sea el que obtenga menor magnitud con respecto a los errores del pronóstico realizado.

Es importante recalcar el hecho de que varios de estos modelos necesitan un tiempo de entrenamiento extenso para obtener resultados eficientes de pronóstico, por lo que al tener una base de datos que solo cuenta con dos años relevantes se espera que los mejores resultados provengan de modelos causales o desde el promedio móvil simple (o ponderado).

Por otro lado, los errores de pronóstico corresponden a la diferencia entre el valor obtenido en el pronóstico y lo que realmente ocurrió. Todos los modelos contienen errores y es necesario medir su magnitud resultados a través de diferentes estadísticos que proporcionen evidencia sobre el nivel que este posee. En el Anexo 13 se puede visualizar un resumen de estos indicadores, con su respectiva fórmula matemática y sus características.

Considerando todas las metodologías para medir los errores del pronóstico obtenido, se concluye que los más efectivos y que poseen una interpretación simple para el lector, corresponden al MAPE, RMSE y MAE. Sin embargo, el error absoluto porcentual de la media (MAPE) no es buen indicador cuando se está tratando con datos que contengan demandas pequeñas o cercanas a cero, debido a que su valor aumenta drásticamente cuando la demanda real es pequeña y el valor del punto pronosticado es mayor. Con esto se afirma que este indicador traerá problemas al analizar los diferentes resultados de antibióticos estandarizados, por lo que no se tomará en cuenta en el momento en que se decida seleccionar el modelo correcto.

Por otra parte, tanto el MAE como el RMSE son indicadores eficientes y fáciles de implementar, en donde el primero de ellos es bastante útil de utilizar cuando la demanda posee una gran cantidad de outliers. Por otro lado, el RMSE brinda la seguridad de obtener un indicador con menor sesgo cuando se desea analizar las diferencias entre la demanda real y la pronosticada. Considerando estas características, se decide priorizar el modelo con menor RMSE, pero se considerarán los dos valores en el caso en que se tenga un pronóstico con menor MAE que el modelo seleccionado.

6.2. Gestión de inventario

En esta sección, se utilizará la misma bibliografía consultada para los modelos de estimación de demanda, en donde se aborda el tema sobre los costos que demuestran el desempeño del inventario, el tiempo de reposición de los productos y los diferentes sistemas de control que existen con respecto al almacenamiento de productos.

6.2.1. Costos del inventario

Para analizar los costos relacionados al inventario y obtener una cantidad mínima de seguridad, es necesario considerar tanto el costo de adquisición de la compra de la materia prima de antibióticos estandarizados, como también el de mantenimiento y los costos que implica tener un quiebre de stock de insumos preparados.

6.2.2. Tiempos de reposición

El tiempo de reposición (L), llamado generalmente como *lead time*, corresponde al tiempo desde el momento en que la orden es realizada hacia los proveedores (dispensación) hasta que el producto solicitado está listo para el despacho.

$$L = T_{deseado} - T_{solicitud}$$

6.2.3. Sistemas de inventario

Estos sistemas le permiten a la empresa tener una estructura organizacional y políticas operativas para mantener y controlar sus bienes en existencia. El sistema elegido tiene por objetivo establecer el momento determinado para realizar los pedidos, llevar un registro de lo solicitado, la cantidad a despachar e identificar quién es cliente o área que realiza el pedido. Estos sistemas se pueden dividir dentro de dos secciones: Sistemas de un periodo o de periodos múltiples. Actualmente, existen tres tipos de modelos con respecto a los sistemas de periodos múltiples: Modelo de cantidad de pedido fija, de revisión continua y de revisión periódica. Las ecuaciones y características de cada uno de estos se pueden visualizar en el Anexo 14.

Considerando las diferentes metodologías que existen para controlar el inventario de insumos, se puede concluir que el sistema que mejor encaja con la situación actual de los antibióticos estandarizados es el de revisión continua (Q), debido a que es un modelo que no considera que la demanda sea constante y que el inventario debe ser monitoreado de manera continua dentro de la Central de Mezclas, luego de cada periodo de preparación.

7. ALCANCES

Los alcances de este estudio dentro del área de farmacia contemplan los siguientes puntos, cada uno con sus respectivas características:

- 1. Estudio solo abarcará los antibióticos estandarizados rentables para la organización y no los personalizados:** Este alcance se debe a que la contraparte solo está interesada a estudiar la demanda de los medicamentos estandarizados dentro de la central de Farmacia, los cuales poseen la misma cantidad de dosis sin distinción entre los pacientes, por lo que no se ha brindado información sobre los demás medicamentos que son manipulados por esta área de la institución.
- 2. La implementación de la alternativa de solución queda fuera de los alcances de este estudio:** Por falta de tiempo y recursos no es posible abarcar la implementación del modelo de estimación de demanda dentro de los alcances del trabajo.
- 3. Alternativa de solución debe influir en la demanda de todos los servicios clínicos que estén relacionados con el proceso de dispensación de antibióticos estandarizados:** Es necesario que el modelo de predicción de demanda beneficie a todos los servicios clínicos del Hospital que estén relacionados con las solicitudes de antibióticos estandarizados.
- 4. Inventario debe tener un margen de seguridad para cada uno de los medicamentos:** En el caso de que se tenga una demanda alta para un antibiótico estandarizado, es necesario contar con un stock de seguridad para que no ocurra ningún escenario de quiebres de insumos dentro de la Central de Mezclas.

8. METODOLOGÍA

La metodología por plantear para realizar el proyecto descrito debe estar relacionada directamente con el marco conceptual, las condiciones específicas del área de trabajo en donde se va a realizar el estudio, la literatura relacionada y que sea capaz de cumplir con los objetivos del trabajo de título. En la siguiente Imagen, se presentan los pasos a seguir para conseguir, de manera eficiente, la alternativa que soluciona el problema abordado.

Imagen 7: Metodología de trabajo



Fuente: Elaboración propia.

El primer paso para encontrar una propuesta de solución eficiente es realizar un levantamiento de la situación actual que existe hoy en día en la Central de Mezclas. Este paso tiene por objetivo conocer su funcionamiento, como se realiza el pedido de los antibióticos estandarizados preparados, la cantidad de personal activo encargado de realizar estos procedimientos y conocer cómo se desenvuelve el área dentro de Farmacia. El procedimiento adecuado para conseguir estos datos es asistir al sector de producción, crear una bitácora de problemas observables y conseguir los datos con respecto a los turnos del personal de la Central de Mezclas.

El siguiente paso es analizar el inventario, la producción y la demanda de todos los antibióticos estandarizados. El objetivo de esta acción es conocer el comportamiento de cada uno de los medicamentos, saber cuál es la mejor manera de abarcar el problema, comprobar cuáles son los productos con mayores problemas de inventario e investigar la tendencia y estacionalidad de los antibióticos estandarizados, tanto dentro del inventario, como también con respecto a su producción y demanda diaria. Además, es necesario conocer cuáles son las prioridades a la hora de almacenar alguno de estos insumos. Por otro lado, es indispensable conocer información relevante sobre los lotes de producción y la capacidad máxima de creación de cada insumo dentro de la Central de Mezclas.

Posteriormente, se debe proceder a calcular los diferentes métodos de pronóstico y obtener resultados que se ajusten a la realidad, utilizando herramientas de gestión de operaciones para llegar a ellos. Se utilizará el software Excel y R Studio para analizar estos datos, incluyendo la tendencia y estacionalidad de los antibióticos estandarizados. Luego, se analizarán los resultados obtenidos para seleccionar el modelo del pronóstico

de la demanda que tenga un mayor ajuste a las tendencias que se perciben para cada tipo de producto, mejores resultados y pequeños errores de pronóstico.

Después de seleccionar el modelo, se realizará una estimación de la demanda diaria de antibióticos estandarizados considerando la gestión del inventario, el personal disponible en la Central de Mezclas, el orden en que los insumos deben ser procesados y los tiempos de despacho para cada uno de estos medicamentos.

Una vez que la demanda es pronosticada para cada tipo de insumo, se realizará la gestión del inventario de antibióticos estandarizados, implementando primero el sistema de revisión continúa considerando la demanda real como conocida. Con esto, se podrá evaluar como el modelo de inventario beneficiaría a la empresa y cual sería el comportamiento ideal que deberían haber tenido cada uno de los antibióticos estandarizados dentro de almacenamiento. Luego de analizar los potenciales beneficios de este modelo, se realizará el mismo procedimiento, pero considerando la demanda pronosticada, simulando 3 escenarios diferentes durante el periodo de prueba seleccionado (cambiando el punto de reorden entre los diferentes inventarios) y comparando los costos entre el inventario real y el propuesto.

Por último, se darán a conocer propuestas de solución con respecto a los problemas de gestión que se tienen dentro de la Central de Mezclas. Esto tiene por objetivo entregar sugerencias para que el modelo no tenga problemas al ser implementado dentro de Farmacia.

8.1. Levantamiento de la situación actual

8.1.1. Información del área de la empresa/organización

El área del Hospital UC CHRISTUS que está interesada en realizar el proyecto es "Farmacia". El objetivo de esta unidad es distribuir diferentes tipos de medicamentos médicos a distintos servicios clínicos dentro del Hospital, pasando algunos de sus productos por un método de preparación eficiente y seguro antes de ser enviado a su destino final. Generalmente, esta área se especializa en distribuir fármacos dentro de la red, los cuales poseen códigos de identificación desde FA hasta FZ y llegan al área a través de transcripciones de recetas médicas. Algunos de estos insumos deben ser controlados constantemente debido a su alto riesgo a la contaminación externa. Por otro lado, también existen medicamentos que se utilizan de forma cotidiana y no necesitan ser controlados de manera metódica (de medio y bajo riesgo de contaminación).

La Farmacia se divide en dos sectores, la Central de Mezclas y la bodega de dispensación de los productos. La primera de ellas se preocupa de realizar los tratamientos necesarios, en un área controlada de bacterias externas, para que los fármacos sean utilizados inmediatamente dentro del servicio médico que solicite el producto. El personal de esta área se especializa en fabricar medicamentos denominados "Magistrales", enfocados a pacientes específicos. El segundo sector, conocido como Bodega número 7, se especializa en distribuir estos insumos, previamente preparados, a los servicios clínicos del hospital, confirmando los requisitos de la solicitud y utilizando al personal necesario para empacar los productos y despachar el pedido. Dispensación trabaja en conjunto con la Bodega número 0 del Hospital Clínico, la cual se encuentra

ubicada en el piso -1 del establecimiento y se encarga de distribuir insumos tanto ambulatorios, como no ambulatorios. Existen casos en donde los medicamentos no se consumen en su totalidad, lo cual se denomina una devolución y el personal de farmacia debe encargarse de recolectarlas y enviarlas a la Central de Distribución del Hospital.

En el Anexo 1 se da a conocer la estructura organizacional del área de Farmacia, teniendo como principales cabezas a la Jefa de Farmacia, Supervisor de la Central de Mezclas, Supervisor de Farmacia Clínica y el Supervisor de Dispensación.

La encargada de controlar todo lo que sucede dentro del sector y es la representante de esta área es la jefa de Farmacia, la cual tiene reuniones sistemáticas con químicos farmacéuticos, administrativos y personal de los servicios clínicos dentro del Hospital, con el fin de evaluar el sistema, encontrar errores y realizar diferentes proyectos dentro de Farmacia. Por otro lado, se encuentra el Supervisor de la Central de Mezclas, el cual debe velar por que los procedimientos se realicen adecuadamente, siguiendo las leyes de salud y creando el fármaco adecuado para la solicitud recibida, con la ayuda de diferentes Químicos Farmacéuticos, técnicos de farmacia y de apoyo. El Supervisor de Farmacia Clínica tiene la responsabilidad de que los Químicos Farmacéuticos posean los requerimientos necesarios para guiar al personal de la Central de Mezclas. Además, es el principal encargado de afrontar los problemas que se vean dentro de los procedimientos realizados en la fabricación de los diferentes insumos solicitados. Por otro lado, se tiene al Supervisor de Dispensación, quien es el principal encargado del empaquetamiento y dispensación de los productos solicitados. Dentro de esta labor, la Supervisora trabaja en conjunto con diferentes Químicos Farmacéuticos, quienes se especializan en crear el paquete que contiene los diferentes insumos médicos, velando por que este producto contenga los requisitos necesarios.

El supervisor también cuenta con Técnicos de farmacia y de apoyo, quienes les brindan su ayuda a los Químicos Farmacéuticos para crear los pedidos. Por último, dentro del área de Dispensación, se cuenta con un Supervisor de Inventario, el cual debe llevar a cabo el registro eficiente de los insumos almacenados dentro de esta pequeña bodega, dando a notificar a su supervisor cuando un producto tenga problemas de stock. En total, la Farmacia del Hospital Clínico cuenta con 62 trabajadores (sin considerar a los estudiantes químicos farmacéuticos que se encuentran realizando su tema de memoria o práctica profesional).

Esta área del Hospital Clínico recibe solicitudes de 42 servicios clínicos diferentes, por lo que es posible asimilar que la labor realizada por la farmacia de dispensación es de alta importancia para el establecimiento. Sin embargo, diariamente, solo trabajan de manera activa 14 personas TENS de farmacia, 7 Técnicos de nivel superior y de apoyo, 8 Químicos Farmacéuticos y 2 personas administrativas, los cuales cuentan con diferentes turnos de trabajo.

A continuación, se puede visualizar un resumen de las categorías de los productos con los que trabaja farmacia:

- Arsenal Normal: Medicamentos de bajo riesgo.

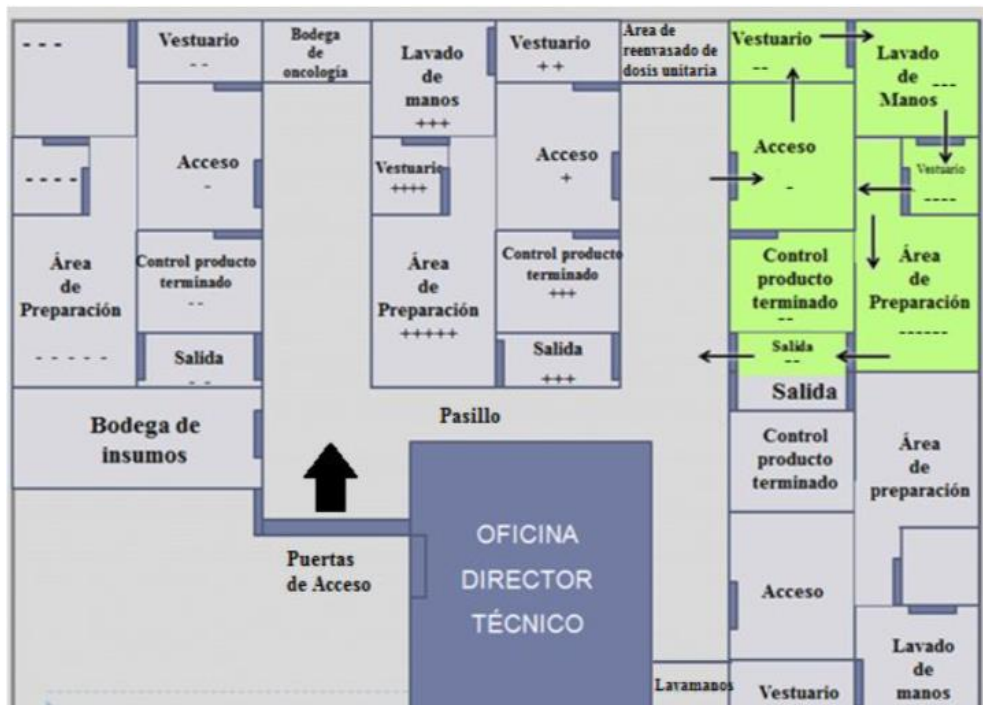
- Arsenal Controlado: Medicamentos de mediano/alto riesgo que deben ser revisados por un Químico Farmacéutico y ser aprobados para ser despachados.
- No Arsenal: Medicamentos que no se encuentran dentro del stock de la farmacia, por lo que se denominan “de compra externa”.
- Magistral: Medicamentos fabricados y controlados por la Central de Mezclas.
- Medicamentos FZ: Antibióticos estandarizados y personalizados los cuales pueden ser utilizados de uso directo o bien, deben ser tratados previamente por la Central de Mezclas para su uso.

Con respecto a los clientes relacionados con esta área, es correcto afirmar que corresponden a los pacientes que se encuentran dentro de la red de despacho de los diferentes servicios clínicos, quienes necesitan el medicamento para su tratamiento. En el Anexo 2 se pueden visualizar los servicios que envían las solicitudes a farmacia y que se encuentran dentro del Hospital Clínico.

8.1.2. Central de Mezclas del área de Farmacia

Esta área del Hospital clínico trabaja procesando diferentes tipos de medicamentos, los cuales deben ser manipulados por el personal previamente a su envío, dentro de un sector controlado de bacterias externas y protocolos de sanidad, con el fin de que el personal no esté en contacto directo con medicamentos altamente activos, que el insumo no se contamine y esto traiga repercusiones a la salud del paciente. La Central de Mezclas trabaja, principalmente, procesando antibióticos, insumos oncológicos, fraccionamiento y los que son destinados a nutriciones parentales. A continuación, se presenta una ilustración del espacio físico donde se realizan estos procedimientos y su posterior explicación, destacando en verde el sector de producción de antibióticos.

Imagen 8: Ilustración de la Central de Mezclas



Fuente: Elaborado por Franco Mejias. Estudiante Químico Farmacéutico.

El personal que desee ingresar a la Central de Mezclas, a través de las puertas de acceso, debe poseer la vestimenta y herramientas necesarias para mantener las condiciones asépticas del entorno (cabello y calzado deben estar cubiertos por material de plástico). En las bodegas de insumos se pueden encontrar los sueros y materiales que son indispensables para preparar los medicamentos. El área de antibióticos endovenosos (sección verde) es el espacio destinado a la preparación, almacenamiento y manipulación de antibióticos estériles. El área cuenta con el equipamiento necesario para resguardar la seguridad tanto del personal que se encuentra expuesto al medicamento, como al mismo antibiótico de bacterias externas. Este sector está compuesto por siete salas diferentes, las cuales presentan distintos grados de presión en el ambiente y se encuentran unidas por puertas de acero inoxidable, las cuales cuentan con un cierre automático. Las salas también se conectan a través de ventanas (transfer) para mover los medicamentos desde un sector al otro, con el fin de no infectar la materia prima por la manipulación del personal no estéril. Por otro lado, poseen la facultad de que el personal que ingresa solo puede seguir un sentido unidireccional, lo cual disminuye la probabilidad de que la materia prima o el producto se infecte por el ambiente de la sala anterior.

A continuación, se explicarán los procedimientos que se deben realizar en cada una de las salas relacionadas con la producción de antibióticos:

1. **Acceso:** Es el primer espacio por el cual el personal debe ingresar, la cual posee una diferencia de presión negativa con respecto al medio ambiente externo. En este lugar se puede encontrar el inventario de los insumos utilizados para preparar los antibióticos, los cuales son almacenados a temperatura ambiente o en un refrigerador exclusivo para este tipo de medicamentos. También, es el lugar donde se imprimen las etiquetas para identificar los diferentes preparados.
2. **Vestuario 1:** Lugar donde el personal de farmacia realiza, de manera privada, el cambio de su vestimenta por ropa estéril de baja circulación.
3. **Lavado de manos y área de acondicionamiento:** Está área se encuentra equipada con un lavamanos, dispensador de jabón y papel higiénico, los cuales son utilizados para realizar el procedimiento de lavado de manos del personal.
4. **Vestuario 2:** Esta sala cuenta con una presión menor al área de preparación y mayor que de la que posee el área de lavado de manos. El objetivo de este sector es que el personal de farmacia logre equiparse con diferentes elementos de bioseguridad (guantes, buzos, batas estériles) previamente a ingresar.
5. **Área de preparación:** Espacio destinado a la manipulación de materiales estériles (materia prima del antibiótico e insumos para la producción). Posee la menor presión ambiental entre las salas del sector, lo cual permite que no se puedan escapar ni emitir partículas biopeligrosas fuera de esta sala. Dentro de esta área, se puede encontrar una cabina de seguridad biológica de clase II, cabina de flujo laminar vertical y filtros HEPA. La primera, permite proteger a los trabajadores de los materiales que están manipulando y a los mismos antibióticos, pero

lamentablemente solo pueden trabajar dos Químicos Farmacéuticos o un Técnico y un Químico Farmacéutico a la vez. La segunda cabina le permite al personal trabajar en condiciones de esterilidad y ausencia de gérmenes externos, pero solo se puede utilizar por un trabajador. Por último, el filtro HEPA permite la filtración del aire recirculado y extraído dentro de las cabinas.

6. **Control producto terminado:** Área destinada a la revisión y organización de los antibióticos preparados, en donde son almacenados dentro de un refrigerador exclusivo y etiquetados para su despacho posterior.
7. **Salida:** Última de las salas, la cual posee dos puertas de acero inoxidable y cada una de ellas tiene un sistema de cierre automático. El personal que se desee retirar, luego de cumplir con su labor, debe hacerlo luego de entregar los productos terminados.

8.1.3. Normativas Legales

Las regulaciones que están relacionadas con esta área corresponden a las que se encuentran dictadas por el MINSAL e incluyen normativas sobre los diferentes medicamentos que se gestionan en las farmacias de todo el país¹⁰. Cabe destacar que, para este caso, es necesario centrarse en las normativas legales y técnicas que tienen que respetar los medicamentos y procesos internos de la Central de Mezclas.

La Ley N°20.724/2014, llamada “Ley de Fármacos”, habla sobre que el Ministerio debe velar que la población tenga acceso a medicamentos o productos farmacéuticos de calidad, a través de un sistema seguro y de eficacia¹¹. Además, se recalca la importancia del Instituto de Salud Pública como autoridad máxima del control sanitario de los productos farmacéuticos. Por otro lado, la Ley N° 725/1967 rige todas las cuestiones que están relacionadas a la protección y recuperación de los pacientes, tanto desde el punto de vista de limpieza de las salas públicas y privadas de operación, como también velar por el cumplimiento de las disposiciones de higiene y seguridad que deben poseer los procedimientos dentro del establecimiento. El Decreto Supremo N°3/2010 da a conocer los requisitos que debe cumplir el registro, importación, exportación, producción, almacenamiento, publicidad e información sobre los productos farmacéuticos.

Por otra parte, los Decretos Supremos N°405/1983 y N°405/1983 demuestran y explican los diferentes procedimientos normativos sobre los reglamentos que deben cumplir las estupefacientes y productos psicotrópicos que se manipulan dentro del área de farmacia. El Decreto N°79/2010 da a conocer los reglamentos que deben ser aplicados para elaborar preparados farmacéuticos en farmacias que solo dispongan recetas autorizadas y que cuenten con la calidad necesaria para administrarlos al paciente. Otro decreto que está relacionado con el trabajo a realizar es el N°466/1984, el cual establece las condiciones sanitarias necesarias en que deben efectuarse las preparaciones de fórmulas magistrales en farmacias, droguerías, almacenes

¹⁰ Normativas de medicamentos dispuestas en el sitio web del Ministerio de Salud.

[<https://www.minsal.cl/normativas-de-medicamentos/>]

¹¹ Ley extraída directamente desde la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile

[<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1058373>]

farmacéuticos, botiquines y depósitos. Por último, la Ley Ricarte Soto (N°20.850) busca asegurar el financiamiento de diagnósticos y tratamientos de medicamentos o dispositivos médicos aprobados¹².

8.1.4. Normativas Técnicas

A continuación, se darán a conocer las normativas, con características técnicas, que están relacionadas directa o indirectamente con el proyecto a realizar. La Norma General Técnica N°12 entrega una guía de cómo debe organizarse y funcionar la atención farmacéutica dentro del ámbito primario de la salud, mostrando que cuyo propósito debe ser contribuir y aportar al nivel de salud de la población del país, integrando sus actividades en planos de prevención, fomento y recuperación de la salud del paciente¹³. La Norma General Técnica N°147 es una guía que muestra cuales deben ser las prácticas de almacenamiento y distribución de productos farmacéuticos, demostrando cuales deben los roles y regulaciones que debe seguir el personal del establecimiento, los requisitos mínimos de almacenamiento, procedimientos de las devoluciones y las normas que deben regirse, al pie de la letra, con respecto al despacho y transporte de fármacos. La Norma General Técnica N°59, del Ministerio de Salud, regula la elaboración de medicamentos estériles que ocurren dentro de diferentes hospitales, mencionando el área desinfectada en donde se debe realizar el procedimiento, cuáles son los pasos a seguir para obtener los productos y las competencias que debe poseer el personal dispuesto.

8.1.4.1. Índice de Contacto Citotóxico (ICC)

Una de las normativas técnicas más importantes y relevantes, que se relaciona con la preparación de antibióticos estandarizados, es el ICC. Cuando los empleados de Farmacia ingresan a producir algún tipo de medicamento, deben considerar que existe un límite para la cantidad de tiempo que estas personas pueden estar expuestas y en contacto con agentes altamente activos. Por esta razón, la empresa debe imponer un ICC para estimar el tiempo límite en que sus trabajadores pueden producir dentro del área, sin poner en riesgo su salud. Este indicador está influenciado por la carga de trabajo y la rotación de los trabajadores, el cual permite obtener una aproximación objetiva de los niveles de exposición¹⁴.

La Red de Salud UC CHRISTUS afirma que el tiempo límite que puede estar produciendo, de manera continua, un trabajador de la Central de Mezclas es de 4 horas diarias, aproximadamente.

8.1.5. Antibióticos

Este proyecto esta centralizado en analizar el comportamiento de diferentes antibióticos estandarizados, por lo que es necesario entender cuál es la relevancia de

¹² Sitio web de la Red de Salud UC CHRISTUS, sección “Decreto supremo”.

[<http://redsalud.ssmso.cl/decreto-supremo-n/>]

¹³ Norma técnica general N°12. Ministerio de Salud en Chile. [<http://www.uss.cl/biblioteca/wp-content/uploads/2016/03/Norma-t%C3%A9cnica-N%C2%B0-12.pdf>]

¹⁴ Protocolo de vigilancia ambiental y salud por exposición a Citostáticos. Asociación Chilena de Seguridad (2017)

estos insumos a nivel global y que beneficios tiene para el ser humano hacer uso de estos. Realizando una investigación profunda sobre la historia de los antibióticos en el mundo y en el país, se logra hallar un estudio realizado el 2013 por el Comité de Antimicrobianos de la Sociedad Chilena de Infectología y Centros colaboradores, el cual trata sobre la evaluación del consumo de antimicrobianos en 15 hospitales chilenos. El principal objetivo de esta investigación era descubrir que datos sobre el consumo de antimicrobianos se encontraban disponibles en los diferentes hospitales y proporcionar un análisis comparativo entre las distintas instituciones.

En síntesis, se concluye que la vigilancia del consumo de antimicrobianos es una parte esencial dentro de los programas de utilización de insumos, sin embargo en Chile no se cuenta con datos relacionados al consumo de antibacterianos por servicio clínico, haciendo dificultoso un estudio con respecto a lo que ha sido utilizado por parte de los pacientes, dando espacio para que estos medicamentos sean manipulados de manera inapropiada, aumentando los costos, el riesgo de efectos secundarios indeseados y la aparición de resistencia microbiana. Por otro lado, en una reseña que relata la historia sobre los antibióticos en el mundo y su significancia para la humanidad (Waldo H. Belloso, 2009), se comenta que estos insumos son uno de los descubrimientos terapéuticos más significativos en la historia de la medicina y actualmente es casi improbable que una persona pueda vivir, un largo periodo de tiempo, sin recibir algún tipo de agente antimicrobiano. Es un instrumento insustituible que ha permitido prolongar la expectativa de vida de los seres humanos y a la vez, ha condicionado su eficacia al uso que se le da.

Con el fin de tener un análisis del problema y una propuesta de solución eficiente, es necesario conocer en profundidad los medicamentos que están relacionados con el estudio a tratar. En la siguiente tabla se resumen los diferentes antibióticos que forman parte de este proyecto y cuáles son sus características de almacenamiento:

Tabla 11: Listado de antibióticos estandarizados

CÓDIGO	ANTIBIÓTICO	ALMACENAMIENTO	PROTEGER DE LA LUZ	ESTABILIDAD
FZ0001	Cefazolina	T° Ambiente o refrigerado	No	3 días T° Ambiente o 30 días refrigerado
FZ0002	Cefotaxima	Refrigerado	Si	18 días
FZ0007	Ceftriaxona	Refrigerado	Si	20 días
FZ0008	Vancomicina	Refrigerado	Si	30 días
FZ0010	Clindamicina	T° Ambiente	Si	16 días
FZ0012	Piperacilina o Tazobactam	Refrigerado	Si	7 días

Fuente: Central de Mezclas.

Se puede observar que, cada uno de los antibióticos estandarizados, poseen singularidades únicas con respecto a su almacenamiento, las cuales hay que tomar en cuenta una vez que se dispone a enviar el producto al inventario, ya sea de manera refrigerada o a temperatura ambiente.

8.1.6. Flujo de medicamentos entre los servicios clínicos y Farmacia

Para comprender como se comportan estos medicamentos dentro del Hospital Clínico y el sector de Farmacia, se ha creado un diagrama simplificado de la situación actual sobre los movimientos de los antibióticos estandarizados, el cual tiene por objetivo explicar paso a paso el flujo que estos tienen una vez que ingresan al establecimiento y son entregados al paciente en diferentes modalidades.

Imagen 9: Diagrama de la situación actual del flujo de medicamentos desde Farmacia al servicio clínico



Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, el médico que se encuentra atendiendo a un paciente debe entregar al personal del servicio clínico la prescripción médica del cliente, en donde se especifica el o los medicamentos que se necesitan para mejorar la salud de la persona con la que se está tratando. Una vez que este hace entrega de estas indicaciones, el personal del servicio debe enviar a la farmacia del Hospital una transcripción de la receta médica, en donde se hace hincapié en los medicamentos que deben ser preparados o enviados en su forma original al destino en donde se está atendiendo al paciente. Luego de recibir este papeleo, el área de Dispensación se encarga de crear el kit de medicamentos que se necesitan. En el caso de que se requiera un medicamento intravenoso, que sea magistral y no se encuentre dentro del inventario de Dispensación,

entonces el personal de esta área le debe solicitar a la Central de Mezclas la preparación inmediata del insumo.

Por otro lado, si el servicio clínico exige que el medicamento llegue de manera inmediata y este no está listo para ser despachado en modalidad intravenosa, entonces se envía en modalidad de frasco para que se prepare dentro del mismo servicio clínico. Mientras tanto, la bodega central del Hospital se encarga de despachar, dos veces al día, todo tipo de medicamentos a Farmacia. Este procedimiento se realiza siguiendo la ley de mínimos y máximos, la cual utiliza límites para enviar los medicamentos durante la mañana (8:00 hrs.) y la tarde (16:00 hrs). El despacho utiliza información histórica de las solicitudes y el inventario de los medicamentos para predecir la cantidad de insumos que le hacen falta a la Farmacia.

Una vez que Dispensación consigue obtener el pack de medicamentos necesarios, entonces su personal se encarga de despachar estos insumos al servicio clínico que realizó la solicitud, finalizando el recorrido con la firma del personal que se encarga de mantener la salud del paciente estable.

8.1.7. Solicitudes de preparados por la Central de Mezclas

Hoy en día, la Central de Mezclas de la farmacia del Hospital Clínico realiza sus respectivas preparaciones según la cantidad de medicamentos que posean el área de Dispensación. Esto quiere decir que la demanda de antibióticos estandarizados no llega directamente a la Central de Mezclas, sino que una persona que es parte del personal se encarga todas las mañanas (8:00 hrs.) de medir cuanta cantidad de estos insumos se encuentra dentro del inventario de Dispensación. Analizando esta situación, es bastante difícil que, contando dos almacenamientos refrigerados, se presente un escenario en donde se supere la capacidad del inventario. Por otro lado, este procedimiento da espacio a que se generen errores de medición humanos de cuanto es lo que se debe producir y no se posee una metodología fundamentada que respalde las decisiones que se están tomando dentro de la Central de Mezclas.

8.1.8. Personal disponible para preparar antibióticos estandarizados

Una gran problemática que existe hoy en día y la cual es una de las principales causas de la mala gestión del inventario de medicamentos en la Central de Mezclas, es la ineficiencia y la falta de personal disponible para obtener los productos necesarios. Este problema viene persistiendo a lo largo del 2019, teniendo una gran cantidad de faltas por exceso de trabajo, estrés laboral y reposo. Esto repercute en que un alto porcentaje de los trabajadores que se tienen dentro de la Central de Mezclas presenten licencias médicas de manera sistemática, lo cual se debe a que el trabajo realizado solo puede ser realizado manualmente por los profesionales del área, teniendo procesos bastante tediosos y metódicos a la hora de conseguir el resultado esperado. Debido a la calidad de este trabajo y el poco personal que se dispone, no se posee la capacidad para suplir estas faltas que se tienen cuando se presentan licencias médicas de trabajadores indispensables en la Central de Mezclas.

La Química Farmacéutica encargada de la Central de Mezclas afirma que lo eficiente es producir antibióticos dos veces al día (durante la mañana y en la tarde)

contando con 2 personas que realicen el procedimiento necesario (un Químico Farmacéutico y un Técnico). En la siguiente tabla, se presenta la cantidad de entradas que se deben realizar durante cada jornada laboral y el número de trabajadores que se necesitan para que el procedimiento funcione eficientemente.

Tabla 12: Cantidad de entradas que deberían realizarse diariamente, con sus respectivos Químicos y Técnicos

Actividad	Cantidad de entradas	Químicos Farmacéuticos por entrada	Técnicos de nivel superior por entrada
Antibióticos	2	1	1
Nutrición parenteral	2	2	1
Oncología	4	3	3
Fraccionamiento	1	1	2
Total	9	7	7

Fuente: Central de Mezclas.

A continuación, se presentan una serie de tablas que dan a conocer tanto la cantidad de promedio de personal dispuesto en la Central de Mezclas durante el 2019, como también el porcentaje de trabajadores promedio con respecto al total y la cantidad de días promedio que le destinan a realizar antibióticos estandarizados.

Tabla 13: Cantidad promedio de Químicos Farmacéuticos por día, su porcentaje con respecto al total de trabajadores y cantidad de días promedio destinados a antibióticos estandarizados, considerando los datos entre lunes y viernes (2019)

Mes	Promedio de trabajadores al día	Porcentaje con respecto al total de trabajadores	Días destinados a antibióticos estandarizados
Enero	6,95	58%	0
Febrero	7,8	65%	10
Marzo	6,85	57%	3
Abril	7,75	65%	3
Mayo	7,75	65%	3
Junio	9,2	77%	3
Julio	7,8	65%	3
Agosto	8,65	72%	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14: Cantidad diaria promedio de Químicos Farmacéuticos, su porcentaje del total de trabajadores y cantidad de días promedio destinado a producir antibióticos, considerando sólo los fines de semana (2019)

Mes	Promedio de trabajadores al día	Porcentaje con respecto al total de trabajadores	Días destinados a antibióticos estandarizados
Enero	2,75	23%	0
Febrero	2,75	23%	0
Marzo	2,5	21%	0
Abril	2,5	21%	0
Mayo	2,5	21%	0
Junio	3,375	28%	0
Julio	3,5	29%	0
Agosto	2,875	24%	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15: Cantidad promedio diaria de Técnicos, su porcentaje con respecto al total de trabajadores y la cantidad de días promedio que se le destina a producir antibióticos, considerando sólo los datos de lunes a viernes (2019)

Mes	Promedio de trabajadores al día	Porcentaje con respecto al total de trabajadores	Días destinados a antibióticos estandarizados
Enero	8,15	68%	19
Febrero	8,2	68%	14
Marzo	8,45	70%	19
Abril	9,75	81%	20
Mayo	8,8	73%	17
Junio	8,6	72%	17
Julio	10,75	90%	18
Agosto	9,2	77%	15

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16: Cantidad diaria promedio de Técnicos, su porcentaje con respecto al total de trabajadores y días promedio destinados a producir antibióticos, considerando sólo los fines de semana (2019)

Mes	Promedio de trabajadores al día	Porcentaje con respecto al total de trabajadores	Días destinados a antibióticos estandarizados
Enero	3,75	31%	0
Febrero	3,25	27%	0
Marzo	1,875	16%	1
Abril	3,25	27%	1
Mayo	3,25	27%	1
Junio	3,25	27%	0
Julio	3,25	27%	1
Agosto	3	25%	2

Fuente: Elaboración propia.

Con estos datos se puede concluir que la mayor cantidad de personal, tanto de Químicos Farmacéuticos como también de Técnicos de nivel superior, trabaja entre días laborales. En la gran mayoría de los escenarios, solo trabaja un porcentaje mensual promedio menor al 65% de los Químicos Farmacéuticos (QF) de lunes a viernes, lo cual no debería ser inferior al 80% si es que la Central de Mezclas desea concentrar su producción durante este tiempo. Por otro lado, pocos días promedio mensuales son destinados a la elaboración de antibióticos estandarizados con respecto a este personal, lo cual demuestra la poca eficiencia para distribuir a los trabajadores, haciendo casi imposible que los QF logren hacer dos entradas diarias para producir estos insumos. Durante el fin de semana, menos del 25% mensual promedio de QF trabaja en la Central de Mezclas, en donde no se producen antibióticos.

Analizando los datos obtenidos con respecto a los Técnicos de nivel superior que son parte del área de Farmacia, se puede observar que al menos el promedio mensual de ellos es de un 70% durante los días hábiles laborales de la semana, lo cual es bastante razonable. Con respecto a la producción de antibióticos, se puede decir que por lo menos uno o dos días al mes se realizan entradas a producir estos insumos por parte de estos trabajadores. Durante los fines de semana se tiene un porcentaje promedio mensual de asistencia de al menos un 25%, lo cual es razonable al total de personal que se puede contar durante estos días. Por último, se observa que, entre los meses de marzo y agosto, si han ingresado Técnicos de nivel superior a confeccionar antibióticos estandarizados, pero sin la ayuda de un QF, lo cual es preocupante debido a que es necesario contar con un experto en la materia para obtener productos eficientes y en el mejor estado posible.

Considerando estos puntos obtenidos, es necesario plantear la posibilidad realizar una inversión importante en personal dentro de la Central de Mezclas, sobre todo con

respecto a la cantidad de Químicos Farmacéuticos que se encuentran disponibles, tanto de lunes a viernes como los fines de semana.

8.1.9. Entrevistas a personal de Farmacia

Para poder investigar cómo es el ambiente laboral actual dentro de la Central de Mezclas, se realizaron entrevistas tanto a Químicos Farmacéuticos que son parte de esta área, como también a los Técnicos de nivel superior. Esta actividad tiene por objetivo descubrir y comprobar las principales ventajas y problemáticas que existen dentro de Farmacia a la hora de preparar diferentes insumos para los pacientes.

En total se realizaron 4 entrevistas a Químicos Farmacéuticos y 3 a Técnicos de nivel superior. Dentro de esta actividad, se le consultó al personal sobre cuántos años lleva trabajando en la empresa, el número de veces por semana que ingresa a la cámara de la Central de Mezclas, horas de trabajo máximo dentro de cámara, cómo se siente cuando se encuentra produciendo y cuando sale de la cámara de producción, si es que le falta algo dentro y cómo calificaría el ambiente de trabajo en la Central de Mezclas.

Comparando las respuestas obtenidas, entre Químicos Farmacéuticos y Técnicos de nivel superior, se puede observar que todos trabajan de manera similar dentro de la cámara, pero que existen diferencias significativas en cómo estos dos tipos de grupos perciben el ambiente laboral. Por un lado, los Químicos Farmacéuticos encuentran que el ambiente es agradable y que las personas con las que trabajan son amables y respetuosas. Por otra parte, los Técnicos afirman que el ambiente laboral es horrible, debido a que reciben malos tratos psicológicos por parte de los jóvenes (la gran mayoría de los QF poseen poca experiencia laboral), criticando su manera de trabajar o sus costumbres. Esto repercute en que se formen dos grupos dentro de la Central de Mezclas y se discriminen entre sí, ya sea por la cantidad de horas que trabajan o bien, por la cantidad de experiencia laboral que poseen.

El hecho de que exista un mal ambiente laboral entre Técnicos y Químicos Farmacéuticos es una de las razones de porque, durante el 2019, la gran mayoría de las veces solo ingresan Técnicos de nivel superior a preparar antibióticos estandarizados, sin la ayuda de expertos en el tema. Los dos grupos desean evitar el contacto entre ellos, lo cual dificulta la producción eficiente de los insumos que son destinados al paciente.

8.1.10. Entrevistas a enfermeras clínicas del Hospital Clínico

Para descubrir las principales causas de porque los diferentes servicios clínicos solicitan medicamentos en modalidad ATB y no preparados, se realizaron diferentes entrevistas a enfermeras del servicio pensionado general, el cual es el que ha pedido mayor cantidad de frascos dentro de los años estudiados. En total se entrevistó a cinco enfermeras clínicas y a una digitalizadora de piso.

A cada una de las personas entrevistadas se les preguntó si es que habían realizado preparaciones de antibióticos dentro del mismo piso, porque solicitaban medicamentos en modalidad ATB, cuantos frascos preparan al día en promedio y si es que les gustaría tener el producto intravenoso, preparado previamente.

Las enfermeras clínicas entrevistadas afirmaron realizar este procedimiento todos los días dentro del servicio, dejando de lado la atención del paciente e incluso ocurren variadas situaciones en donde el personal debe dejar a medio camino la creación de este antibiótico, aumentando la posibilidad de que el insumo se infecte por bacterias externas. Por otra parte, existen variadas respuestas con respecto al porque se piden estos productos ATB a Farmacia. Una de ellas es porque se tiene un mal conocimiento sobre los costos y beneficios que trae este tipo de insumos a la empresa, ya que las enfermeras entrevistadas afirman que ellas no pedían los preparados debido a que, al solicitar este producto, la empresa incurría en un mayor costo y los beneficios eran nulos en comparación a preparar el frasco en el servicio clínico. Además de esto, algunas de ellas afirman desconocen cuáles son los códigos necesarios para pedir estos medicamentos preparados.

La digitadora entrevistada recalca que varios doctores han tenido problemas con las dosis de estos productos preparados o bien, con el tipo de suero que se le inyecta al medicamento intravenoso. Este hecho repercute en que se pidan menores cantidades de antibióticos estandarizados preparados, lo cual también es una falta de información por no conocer la posibilidad de solicitar productos personalizados para los pacientes. Por último, cada uno de los encuestados afirma que les gustaría tener estos productos preparados en comparación a crearlos dentro del piso y poner en riesgo la salud del paciente.

Al analizar estas respuestas, se puede concluir que la raíz de todo esto es la falta de información que tiene el personal de los servicios clínicos sobre los productos que se pueden solicitar a la Farmacia del Hospital Clínico. Es necesario que los encargados del funcionamiento del servicio den a conocer, de manera eficiente, todos los códigos de los productos preparados a sus trabajadores y que estos sepan información sobre cuales se pueden solicitar en modalidad intravenosa.

8.1.11. Bitácora de problemas

Con el fin de encontrar varias fallas que no son observables a través de los datos obtenidos por la Central de Mezclas, el alumno se dispuso a asistir al área de Farmacia para recopilar información sobre las diferentes problemáticas que ocurren hoy en día y crear una bitácora de problemas con su respectiva información, observación, hora en que se visualizó este problema y una posible alternativa de solución.

Dentro de los resultados obtenidos, se tiene que los problemas más recurrentes dentro de esta área son: La falta de personal que se encuentra fuera de la cámara de preparación de la Central de Mezclas, desorden de los insumos en mesa de trabajo (gran cantidad de papeleo), trabajo caótico por parte del personal y falta de administrativos que sean capaces de controlar el personal que se posee dentro de la Central de Mezclas. Por otro lado, el alumno logró visualizar una situación lamentable, en donde un Técnico de farmacia recibió malos tratos por parte de un Químico Farmacéutico que se encontraba en el área de Farmacia, humillándola frente al equipo de trabajo por no haber realizado bien su trabajo. El detalle de esta actividad puede observarse en el Anexo 15.

8.1.12. Evaluación económica

Para conocer si este proyecto es rentable o no, tomando en cuenta los diferentes problemas que existen en la Central de Mezclas, se realizará una evaluación económica considerando si es que se obtienen utilidades positivas al invertir en personal y la cantidad de frascos ATB que podrían ser preparados previamente por la Central de Mezclas. Para conseguir este resultado, se utilizará la cantidad de frascos enviados a los servicios clínicos durante los periodos de 2017, 2018 y 2019, observando cuanto porcentaje de estos podrían haber sido preparados por la Central de Mezclas para obtener un proyecto rentable para la organización. Es decir, una vez obtenidas las utilidades de enviar un porcentaje determinado de frascos a los pisos y de haber realizado el mismo procedimiento en la Central de Mezclas, se restan estos valores para obtener la utilidad total del proyecto y conocer las ganancias que tendría la organización si esta cantidad se hubiese procesado en Farmacia antes de ser despachada.

En la siguiente tabla se pueden observar los costos y precios de venta tanto para los medicamentos preparados dentro de la Central de Mezclas, como también los que son enviados en modalidad ATB. Cabe destacar que, dentro de los costos de preparación, son considerados los precios de venta del suero fisiológico (\$400 CLP por 1 litro de este insumo) y el de una aguja hipodérmica (\$150 CLP), además del costo laboral para preparar el antibiótico deseado (para el caso de preparar el insumo dentro de la Central de Mezclas).

Tabla 17: Precios y costos de antibióticos ATB y preparados en la Central de Mezclas

Antibiótico	Costo promedio preparado	Costo ATB	Precio promedio de venta preparado	Precio ATB	Utilidad preparado v/s ATB
Cefazolina	\$4.307	\$2.310	\$8.744	\$4.084	\$2.663
Cefotaxima	\$3.843	\$900	\$7.912	\$2.361	\$2.608
Ceftriaxona	\$4.270	\$1.140	\$15.344	\$3.305	\$8.909
Clindamicina	\$2.698	\$900	\$6.357	\$2.728	\$1.831
Tazobactam	\$8.356	\$3.250	\$31.591	\$26.000	\$485
Vancomicina	\$6.075	\$2.310	\$12.103	\$5.200	\$3.138
Total	\$29.549	\$10.810	\$82.051	\$43.678	\$19.634

Fuente: Elaboración propia.

Es importante considerar dentro de los costos la cantidad de tiempo que el personal de los servicios clínicos le destina a crear estos antibióticos y dejar de lado su labor de atender al paciente. Para conseguir este monto, se consideró que el personal encargado de esta tarea (Enfermera/o con varios años de experiencia) recibe una remuneración líquida de \$1.200.000 CLP, trabajando 42 horas semanales y que el tiempo que le tarda en procesar cada uno de los medicamentos ATB es de 5 minutos.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los periodos analizados, dividiendo los escenarios para su mejor entendimiento.

Tabla 18: Utilidades obtenidas al comparar porcentajes de frascos que pudieron haber sido preparados en la Central de Mezclas

Porcentaje de frascos que pudo haber sido abarcado por la CM	Utilidades 2017	Utilidades 2018	Utilidades 2019
10%	\$39.470.032	\$11.150.547	\$27.901.981
20%	\$79.753.930	\$22.891.251	\$56.807.573
30%	\$118.404.576	\$33.460.754	\$83.673.707
40%	\$157.869.089	\$44.606.257	\$111.566.903
50%	\$197.347.031	\$55.780.255	\$139.468.884

Fuente: Elaboración propia.

Con estos resultados, se puede concluir que es rentable, para todos los escenarios, realizar las preparaciones de los antibióticos estandarizados previamente en Farmacia, en comparación a despachar estos medicamentos a los servicios clínicos en su formato ATB. Además, gracias a estos resultados se puede obtener cuantos frascos son necesarios de producir (en promedio) al día para que el proyecto sea rentable. Considerando los escenarios de haber preparado el 10% y 20% de los medicamentos ATB que fueron enviados durante los años estudiados, se logra determinar este monto promedio de frascos a preparar de manera intravenosa. Este cálculo se obtiene considerando que existe un total de 250 laborales al año. Realizando el mismo procedimiento anterior para calcular las utilidades totales de producir estos medicamentos dentro de la Central de Mezclas, se obtienen resultados tanto para el caso en que se considera el costo temporal de preparar los medicamentos, como también para el escenario en donde este trabajo es despreciable, monetariamente. En las siguientes tablas se pueden ver los resultados obtenidos.

Tabla 19: Cantidad promedio de frascos a producir anual y diariamente por la Central de Mezclas según porcentaje

Antibiótico	Cantidad promedio de frascos a producir (10%)	Cantidad promedio diario de frascos a producir (10%)	Cantidad promedio de frascos a producir (20%)	Cantidad promedio diario de frascos a producir (20%)
Cefazolina	1.320	5	1.980	8
Ceftriaxona	1.063	4	1.595	6
Tazobactam	1.020	4	1.530	6
Vancomicina	1.628	7	2.441	10
Total	5.030	20	7.545	30

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20: Utilidad anual considerando el costo temporal de preparar medicamento ATB en servicio clínico

Antibiótico	Cantidad promedio de frascos a producir (10%)	Utilidades anuales	Cantidad promedio de frascos a producir (20%)	Utilidades anuales
Cefazolina	1.320	\$6.658.017	1.980	\$9.986.185
Ceftriaxona	1.063	\$12.001.219	1.595	\$18.003.711
Tazobactam	1.020	\$2.922.316	1.530	\$4.383.952
Vancomicina	1.628	\$8.983.015	2.441	\$13.472.683
Total	5.030	\$30.564.567	7.545	\$45.846.530

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21: Utilidad anual sin considerar el costo temporal de preparar medicamentos ATB en servicio clínico

Antibiótico	Cantidad promedio de frascos a producir (10%)	Utilidades anuales	Cantidad promedio de frascos a producir (20%)	Utilidades anuales
Cefazolina	1320	\$3.515.160	1.980	\$5.272.296
Ceftriaxona	1063	\$9.470.267	1.595	\$14.206.885
Tazobactam	1020	\$494.538	1.530	\$741.888
Vancomicina	1628	\$5.107.618	2.441	\$7.660.381
Total	5.030	\$18.587.583	7.545	\$27.881.451

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la producción diaria promedio, para cada uno de los antibióticos y porcentajes analizados, son montos accesibles de fabricar por el personal del área. Por lo tanto, estas utilidades se perdieron o no fueron obtenidas debido a la ineficiente producción dentro de la Central de Mezclas, el poco conocimiento que posee el personal del área con respecto a estos resultados o bien, por falta de información del servicio clínico sobre los medicamentos que se pueden pedir preparados a Farmacia. Además, los resultados sobre las utilidades anuales promedio que se obtendrían preparando estos insumos son positivas considerando o no el costo temporal de crear el producto final dentro del mismo servicio clínico, lo cual demuestra la rentabilidad de este trabajo.

Para conocer si es rentable la posibilidad de contratar personal para que la propuesta de solución sea eficiente y se tengan los recursos necesarios, se considera que el nuevo personal de la Central de Mezclas sean Químicos Farmacéuticos, los cuales tienen una remuneración monetaria líquida promedio de \$1.100.000 CLP en Chile. A continuación, se evaluará la rentabilidad de contratar nuevo personal dentro de la Central de Mezclas, utilizando las cantidades promedio y anuales de antibióticos ATB solicitados,

considerando los escenarios de abarcar el 10% y 20% de los medicamentos que fueron demandados por los servicios clínicos, durante el 2017, 2018 y 2019.

Tabla 22: Utilidades promedio para crear medicamentos ATB solicitados, considerando la contratación de nuevo personal

Cantidad de personal a contratar	Producción promedio para el 10% de los frascos	Producción promedio del 20% de frascos
1 Químico Farmacéutico	\$5.387.583	\$14.681.451
2 Químicos Farmacéutico	-\$7.812.417	\$1.481.451
3 Químicos Farmacéutico	-\$21.012.417	-\$11.718.549
4 Químicos Farmacéutico	-\$34.212.417	-\$24.918.549

Fuente: Elaboración propia.

Se concluye que la contratación de personal (una o dos personas más) es factible si se accede a procesar las cantidades promedio diarias de antibióticos, mencionadas anteriormente para el 10% y 20% de los antibióticos estandarizados enviados durante el 2017, 2018 y 2019.

8.2. Análisis y manejo de datos

8.2.1. Manejo de la información entregada

Para este problema, se poseen dos bases de datos que influyen en la demanda de antibióticos estandarizados. La Central de Mezclas hizo entrega de cuáles eran los pedidos que han recibido a lo largo del 2017, 2018 y el primer semestre del 2019. Por otro lado, el área de Dispensación entregó las solicitudes ATB sobre antibióticos estandarizados durante los mismos periodos. Se decidió por analizar y modificar estos registros de manera individual, con el fin de obtener un análisis completo en escenarios diferentes. A continuación, se presenta una tabla con las características generales de la información entregada con respecto a periodos de 2017 y 2018, tiempo en donde la Central de Mezclas realizaba sus procedimientos de manera eficiente en comparación con el 2019.

Tabla 23: Información general sobre la base de datos de los movimientos realizados durante el 2017 y 2018

Dato	Cantidad
Columnas totales	13
Columnas con información	9
Filas	10.959
Instancias de solicitudes	8.244
Instancias de fabricación	2.709
Instancias sin movimientos	6

Fuente: Central de Mezclas.

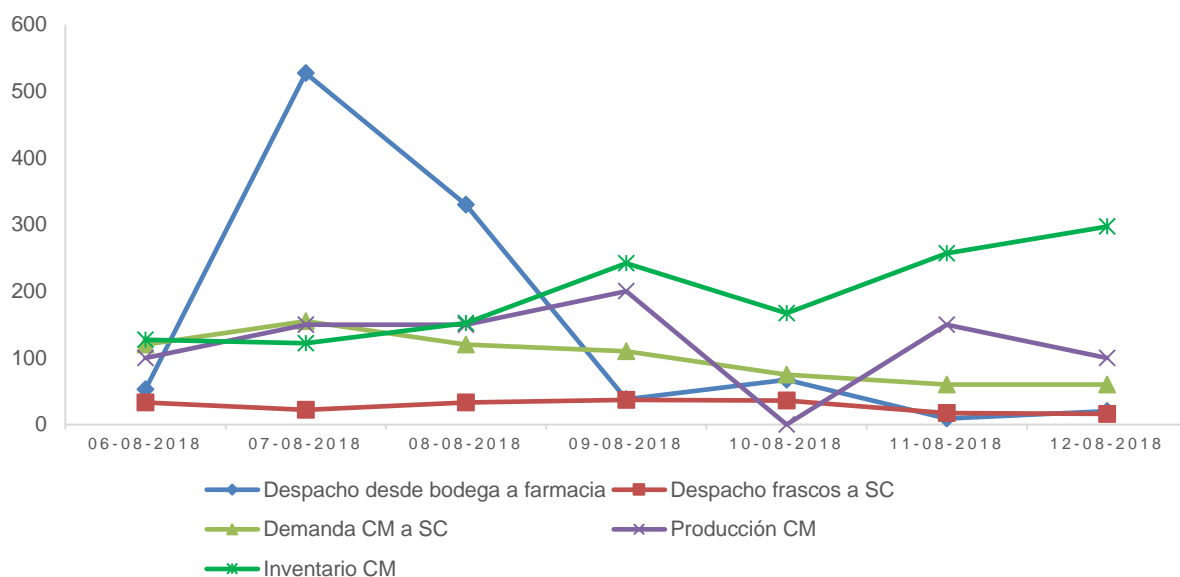
Las principales columnas de la base de datos, que contienen información relevante para estudiar el problema, corresponden a la fecha de creación, la hora de registro, el código del producto, la descripción del medicamento, el movimiento realizado, el costo unitario de producir cada medicamento y la bodega donde se realizó el procedimiento para obtener el antibiótico estandarizado. Se puede concluir que, a lo largo de los años 2017 y 2018, existen pocas instancias de producción en comparación a la cantidad de veces que la Farmacia recibe solicitudes de servicios clínicos. Esto se debe a que el proceso de preparación de antibióticos es largo y tedioso, por lo que el personal de Farmacia prefiere optar por producir estos insumos en altas cantidades para suplir la demanda y almacenar el resto dentro del inventario de la Central de Mezclas.

8.2.2. Comportamiento semanal Cefazolina

Para comprender mejor el comportamiento que tiene cada uno de estos medicamentos dentro de la organización, se realizó un estudio con respecto al flujo de Cefazolina dentro del Hospital Clínico, encontrando cuales eran las cantidades de frascos a despachar desde la bodega central hasta Farmacia, cuántos de estos fueron enviados directamente a los servicios clínicos, los que fueron producidos por la Central de Mezclas y cuantos han sido preparados y/o despachados en formato intravenoso al paciente. Con el objetivo de simplificar el estudio, solo se realizaron estos cálculos seleccionando uno de los medicamentos y observando su actividad dentro de una semana aleatoria dentro del 2018. En el Gráfico 6 se puede observar el comportamiento de la Cefazolina durante la segunda semana del mes de agosto del 2018.

Gráfico 6: Comportamiento Cefazolina durante agosto del 2018

COMPORTAMIENTO CEFAZOLINA (06-08-2018 AL 12-08-2018)



Fuente: Elaboración propia.

Al principio de la semana la bodega central despacha una cantidad considerable de medicamentos, la cual disminuye cuando alcanza su máximo durante el martes. Por otro lado, la demanda de este antibiótico se mantiene considerablemente estable durante el principio del periodo estudiado, pero va disminuyendo con el pasar de los días. Sin embargo, la producción de antibióticos estandarizados en la Central de Mezclas comienza con una actividad débil en los primeros días de la semana y va aumentando a medida que transcurre el tiempo, pero durante el viernes y domingo se tiene una baja considerable de producción. Por otra parte, el inventario de antibióticos estandarizados dentro de la Central de Mezclas posee una cantidad considerable al comienzo de la semana y esta va aumentando a medida que transcurren los días. Durante el viernes, el inventario se ve afectado por la baja de producción que posee el área, pero como la demanda va disminuyendo levemente durante el fin de semana, entonces el inventario comienza a aumentar gracias a la sobre producción de Cefazolina. Por último, como este es uno de los años en donde la Central de Mezclas tuvo su mayor rendimiento, es de esperar que la cantidad de frascos que son enviados a los pisos para su preparación comiencen a disminuir cuando va transcurriendo los días.

Con este análisis se puede concluir que todos los procedimientos estudiados poseen diferentes puntos de inflexión y variabilidad. Por lo tanto, una vez se realizó el análisis de la demanda, inventario y la producción de la Central de Mezclas, es necesario tener en consideración cuales son las diferencias entre lo que se está produciendo y lo que realmente es lo que solicitan los servicios clínicos, tomando en cuenta los días de la semana en donde se tiene una mayor actividad dentro de la Farmacia del Hospital Clínico.

8.2.3. Información general sobre demanda y producción de antibióticos estandarizados

Luego de conocer y limpiar esta base de datos (separando la fecha de la hora de registro y eliminando las columnas vacías), se divide la información según el tipo de medicamento, con el fin de analizar la demanda, la producción y el inventario por separado. En las siguientes tablas se presenta información relevante, para cada tipo de medicamento, con respecto a los movimientos anuales y los costos totales de producción.

Tabla 24: Demanda, producción y costos de antibióticos estandarizados durante el 2017

Medicamento	Demanda	Producción	Costo de producción	Porcentaje del costo total
Cefazolina	29.333	29.210	\$105.606.055	31,52%
Cefotaxima	5.665	5.633	\$18.234.639	5,44%
Ceftriaxona	10.402	10.452	\$37.943.334	11,32%
Vancomicina	7.869	7.903	\$41.765.612	12,47%
Clindamicina	3.378	3.378	\$8.255.947	2,46%
Tazobactam	15.178	15.220	\$123.254.155	36,79%
Total	71.825	71.796	\$335.059.742	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25: Demanda, producción y costos de antibióticos estandarizados durante el 2018

Medicamento	Demanda	Producción	Costo de producción	Porcentaje del costo total
Cefazolina	34.531	34.411	\$168.179.360	32,71%
Cefotaxima	7.698	7.708	\$33.956.008	6,60%
Ceftriaxona	13.535	13.495	\$66.539.760	12,94%
Vancomicina	8.681	8.696	\$51.026.101	9,92%
Clindamicina	3.923	3.953	\$11.212.905	2,18%
Tazobactam	21.552	21.620	\$183.265.969	35,64%
Total	89.920	89.883	\$514.180.103	100%

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que, para ambos años, la Cefazolina corresponde al medicamento con mayor cantidad de solicitudes, siendo el que más se produce anualmente. Este hecho se explica debido a su importancia en los procedimientos que se realizan dentro del pabellón del Hospital, siendo indispensable para el tratamiento del paciente. Por otro lado, la Cefazolina y el Tazobactam corresponden a los medicamentos más costosos de producir.

Durante el 2018, hubo un aumento del 25,19% con respecto tanto a la demanda y la producción de antibióticos estandarizados. Esto se debe a que el personal de la Central de Mezclas logró aumentar su productividad luego de tener un año de funcionamiento y, además, se tenían reemplazos de personal cuando los trabajadores presentaban licencias médicas, por lo que su producción nunca tuvo problemas con respecto a límites de eficiencia.

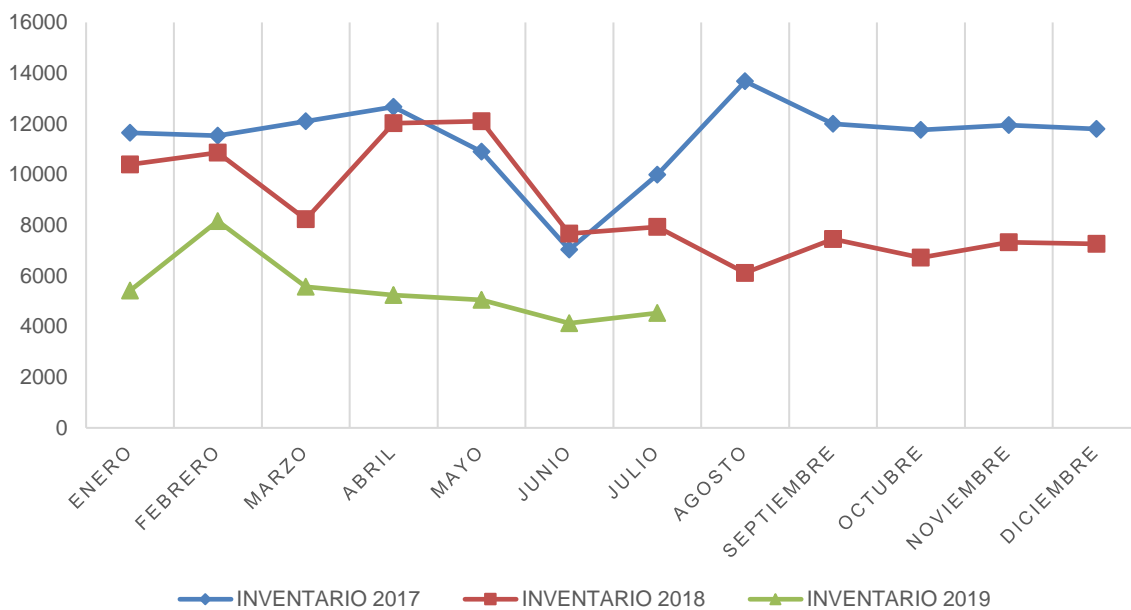
8.2.4. Análisis de Inventario

A continuación, se presentará un análisis con respecto al comportamiento de antibióticos estandarizados dentro del inventario que posee la Central de Mezclas, el cual abarcará sus tendencias y estacionalidades a lo largo del 2017, 2018 y 2019. Esto tiene por objetivo encontrar puntos temporales relevantes en donde el inventario ha sufrido movimientos que tengan un patrón similar a lo largo de los años o bien, hallar puntos anormales de comportamiento dentro del almacenamiento y descubrir que factores son los que afectan directamente al inventario de antibióticos estandarizados.

Debido a la gran cantidad de gráficos obtenidos (dos por cada antibiótico analizado), en esta sección sólo se presentará el comportamiento de inventario de la Cefazolina. El resto de los resultados se encuentran en la sección de Anexos, pero se analizarán de igual manera para encontrar las componentes que afectan su comportamiento dentro del inventario de la Central de Mezclas.

Gráfico 7: Inventario por mes de Cefazolina para el 2017, 2018 y 2019

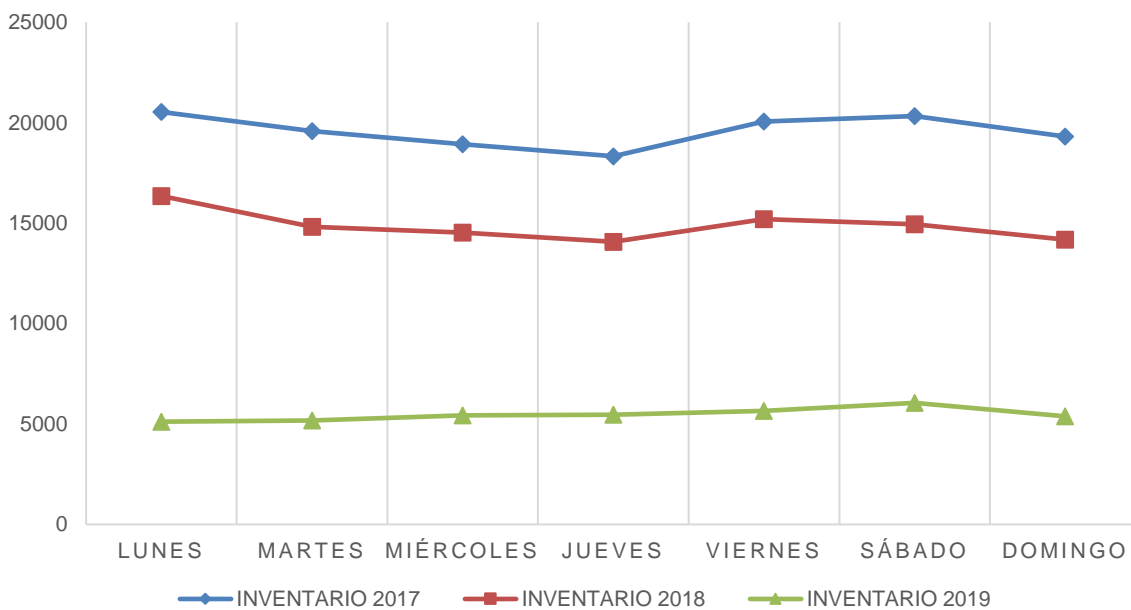
INVENTARIO POR MES DE CEFAZOLINA (2017-2018-2019)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 8: Inventario por día de Cefazolina durante el 2017, 2018 y 2019

INVENTARIO DIARIO DE CEFAZOLINA (2017-2018-2019)



Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 7, se puede observar que para el inventario de 2018 y 2019 existe un crecimiento en la cantidad de antibióticos almacenados durante el mes de febrero. Por otro lado, analizando el 2017 y 2018, se obtiene una tendencia negativa en la cantidad de insumos que se encuentran en inventario entre los meses de mayo y junio, lo cual puede explicar por qué la demanda de antibióticos durante el periodo de invierno aumenta y es necesario suplir estas solicitudes con los insumos que se encuentran almacenados.

Con respecto al Gráfico 8, se tiene una tendencia y estacionalidad similar entre los días de la semana para los años 2017 y 2018, evitando puntos aleatorios y continuando un patrón reconocible. Se concluye que el comportamiento del antibiótico comienza la semana con altas cantidades almacenadas, los cuales van disminuyendo progresivamente hasta el jueves, en donde nuevamente comienza a aumentar su producción durante el fin de semana. Esto ocurre debido a que el personal de la Central de Mezclas ha optado por almacenar mayores cantidades de antibióticos a principio de semana debido a la falta de personal que posee durante los fines de semana.

Por último, el almacenamiento de este insumo ha disminuido durante el 2019 debido a que la Central de Mezclas decidió sólo producir este antibiótico para las solicitudes que vienen directamente desde pabellón.

Con respecto al Tazobactam (Anexo 16 y 17), se observa un crecimiento de su almacenamiento a medida que van transcurriendo los meses, considerando todos los años analizados. Además, su actividad mensual varía bastante dependiendo del año que se está estudiando, pero existen puntos con tendencia positiva, como lo son el mes abril, mayo y octubre. Por otro lado, su comportamiento diario se mantiene similar a lo largo de los años, teniendo un aumento a lo largo de los primeros días de la semana, para luego decaer cuando transcurre el fin de semana.

La Vancomicina (Anexo 18 y 19) no posee un patrón definido en su comportamiento mensual con respecto a los años analizados, por lo que no se puede estimar tendencia o estacionalidad para este medicamento dentro de su inventario anual. A pesar de esto, si se analiza su almacenamiento diario, se obtiene la misma tendencia que se tenía con respecto al Tazobactam.

En los Anexos 20 y 21, se ve que la Ceftriaxona tiene una tendencia a aumentar su cantidad almacenada durante los meses de enero, febrero y marzo (2017-2018). Luego de esto, en mayo y agosto se estima una estacionalidad con respecto al 2017 y 2018, debido a un aumento similar de este antibiótico dentro del inventario. Cabe destacar que, durante el 2019, no se ha producido Ceftriaxona en Farmacia, lo cual explica su poca actividad a lo largo del año actual. Con respecto al inventario diario de este antibiótico, se concluye que el 2018 posee mayor almacenamiento que los demás periodos, pero ninguno de ellos cuenta con variaciones significativas semanalmente.

8.2.5. Análisis de la producción

8.2.5.1. Tiempos de producción

Con el fin de averiguar diferentes características de la producción dentro de la Central de Mezclas, se realiza un estudio con respecto a los tiempos de producir los diferentes antibióticos estandarizados. Los datos obtenidos fueron medidos por Franco Mejías, estudiante Químico Farmacéutico de la Universidad Andrés Bello, el cual asistió a la cámara de producción de antibióticos durante 12 días (desde abril del 2019 hasta julio del mismo año), midiendo los tiempos que tarda el personal en ingresar a la Central de Mezclas y producir los medicamentos, considerando todos los procesos que son necesarios para mantener la esterilización del sector. En las siguientes tablas se puede observar un análisis de los resultados obtenidos por el estudiante.

Tabla 26: Análisis del tiempo de los procedimientos previos al ingreso de cámara

Actividad	Promedio (min)	Des. Estándar	Coefficiente de variación	Máximo (min)	Mínimo (min)
Acondicionamiento de material	17	2,02	0,1192	21	14
Lavado manos clínico y elementos de protección	5,45	1,23	0,2265	8	4
Acondicionamiento del área	9,35	1,16	0,1216	12	8
Lavado manos Quirúrgico y elementos de protección	7,95	1,14	0,1441	10	6
Limpieza cámara	9,8	1,5	0,1608	14	8
Total	49,55	-	-	65	40

Fuente: Franco Mejias.

Tabla 27: Análisis del tiempo que tarda un trabajador en producir diferentes antibióticos estandarizados

1 operario					
Antibiótico	Promedio por insumo (min)	Cantidad mínima producida	Cantidad máxima producida	Promedio producción	Moda de producción
Tazobactam	1,5	40	40	40	40
Vancomicina	2,56	25	25	25	25
Cefazolina	2	5	5	5	5
Clindamicina	-	-	-	-	-
Cefotaxima	1,6	10	10	10	10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28: Análisis del tiempo que tardan dos trabajadores en producir diferentes antibióticos estandarizados

2 operarios				
Antibiótico	Promedio por insumo (min)	Cantidad mínima producida	Cantidad máxima producida	Promedio producción
Tazobactam	1,513	30	60	53,1
Vancomicina	1,742	25	50	31,8
Cefazolina	0,653	50	100	61,1
Clindamicina	0,713	10	30	20
Cefotaxima	1	10	10	10

Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, se puede observar que los procedimientos previos al ingreso de cámara son numerosos y toman bastante tiempo, haciendo que el personal de la Central de Mezclas tarde en promedio 50 minutos, aproximadamente, en ingresar a producir. Existen escenarios en donde les toma más de una hora el ingreso.

Por otra parte, se observa que la cantidad de personal que ingresa a producir estos insumos es relevante con respecto a la cantidad de tiempo que tardan en crear un antibiótico determinado, existiendo escenarios en donde tardan, aproximadamente, el doble de lo que se demoran dos trabajadores capacitados. Cabe destacar que estos insumos no se generan por separado, sino que se realizan por lotes de producción, creando grandes cantidades con el fin de no perder tiempo en volver a ingresar a la cámara de preparación.

Finalmente, se concluye que es ineficiente que ingrese solo una persona a la Central de Mezclas para crear estos medicamentos, debido a la alta carga laboral que implica producir estos insumos en un área esterilizada y la cantidad de tiempo que le toma a los trabajadores solitarios en conseguir el producto final.

8.2.5.2. Análisis de lotes de producción

En esta sección, se analizarán los distintos lotes de producción que se presentan para cada uno de los medicamentos estudiados. El estudio realizado tiene por objetivo encontrar las cantidades que son producidas frecuentemente dentro de la Central de Mezclas, integrando los periodos entregados a excepción del 2019, en donde se omitieron los datos entregados para la Cefazolina, Cefotaxima y Ceftriaxona, los cuales bajaron drásticamente su producción por decisión del área de Farmacia.

En la Tabla 28, se observa un resumen de los lotes de producción para cada uno de los medicamentos estudiados, dando a conocer cuál fue el lote con mayor frecuencia, la cantidad de días que esta cantidad fue producida, los tiempos en que no se realizaron

movimientos con respecto a la producción de este medicamento y el porcentaje de inactividad según el insumo.

Tabla 29: Lotes de producción con mayor frecuencia de antibióticos estandarizados y días sin producir

Medicamento	Lote frecuente de producción	Frecuencia	Días sin producir	Porcentaje sin producir
Cefazolina	100	250	211	29%
Cefotaxima	50	158	497	68%
Ceftriaxona	50	213	368	50%
Vancomicina	25	451	218	23%
Clindamicina	20	95	667	71%
Tazobactam	50	323	139	15%
Total	295	1.490	2.100	-

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la Cefazolina es se produce altas cantidades y mayor frecuencia en comparación con los demás medicamentos. Esto se debe a la alta demanda de este insumo en diferentes servicios del Hospital Clínico, por lo que el área de Farmacia intenta tener la mayor cantidad de Cefazolina almacenada para suplir lo solicitado y esto repercute en poseer, sistemáticamente, un sobre inventario ineficiente del antibiótico.

Con respecto a los días de no producción, se concluye que la Clindamicina, Ceftriaxona y Cefotaxima son los protagonistas de este escenario. Es necesario que se tomen medidas con respecto a qué días producir los diferentes tipos de antibióticos estandarizados, con el fin de disminuir este porcentaje de inactividad y que el almacenamiento de estos insumos sea eficiente, no decayendo en el escenario de generar medicamentos con una metodología “*just in time*”, lo cual generaría mayor caos de producción.

Por otra parte, es de importancia conocer cuáles han sido las capacidades máximas y mínimas de producción para cada antibiótico, lo cual tiene por objetivo observar el rendimiento de la Central de Mezclas al producir en altas o bajas cantidades (eliminando el escenario de no producción). En la Tabla 29 se pueden visualizar los resultados obtenidos.

Tabla 30: Lotes de producción máximos y mínimos para cada tipo de medicamento

Medicamento	Lote de producción máxima	Porcentaje de producción máxima	Lote de producción mínimo	Porcentaje de producción mínimo
Cefazolina	300	0,959%	5	0,411%
Cefotaxima	200	0,137%	5	0,822%
Ceftriaxona	150	0,137%	15	0,137%
Vancomicina	125	0,106%	10	0,106%
Clindamicina	100	0,106%	5	0,424%
Tazobactam	200	0,106%	5	0,530%
Total	1.075	-	45	-

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la cantidad máxima de un lote de producción es, en casi todos los escenarios, el doble o incluso el triple mayor de la cantidad producida frecuentemente. A pesar de esto, las instancias en donde se produzcan estos lotes no han ocurrido de manera progresiva durante los periodos estudiados, lo cual se debe a la falta de personal o bien por falta de una programación efectiva a la hora de producir.

Finalmente, los lotes de producción mínimos son bastante bajos, pero los casos en donde ocurre este tipo de escenario son escasos. Sin embargo, es de vital importancia que no se produzca una baja cantidad de antibióticos si es que se decidió optar por generar estos medicamentos, debido a que el personal de Central de Mezclas invertirá alta cantidad de tiempo en ingresar a la cámara esterilizada. En la sección de Anexos (desde el 22 al 27) se puede encontrar un resumen de la frecuencia de los lotes de producción para cada tipo de antibiótico estandarizado.

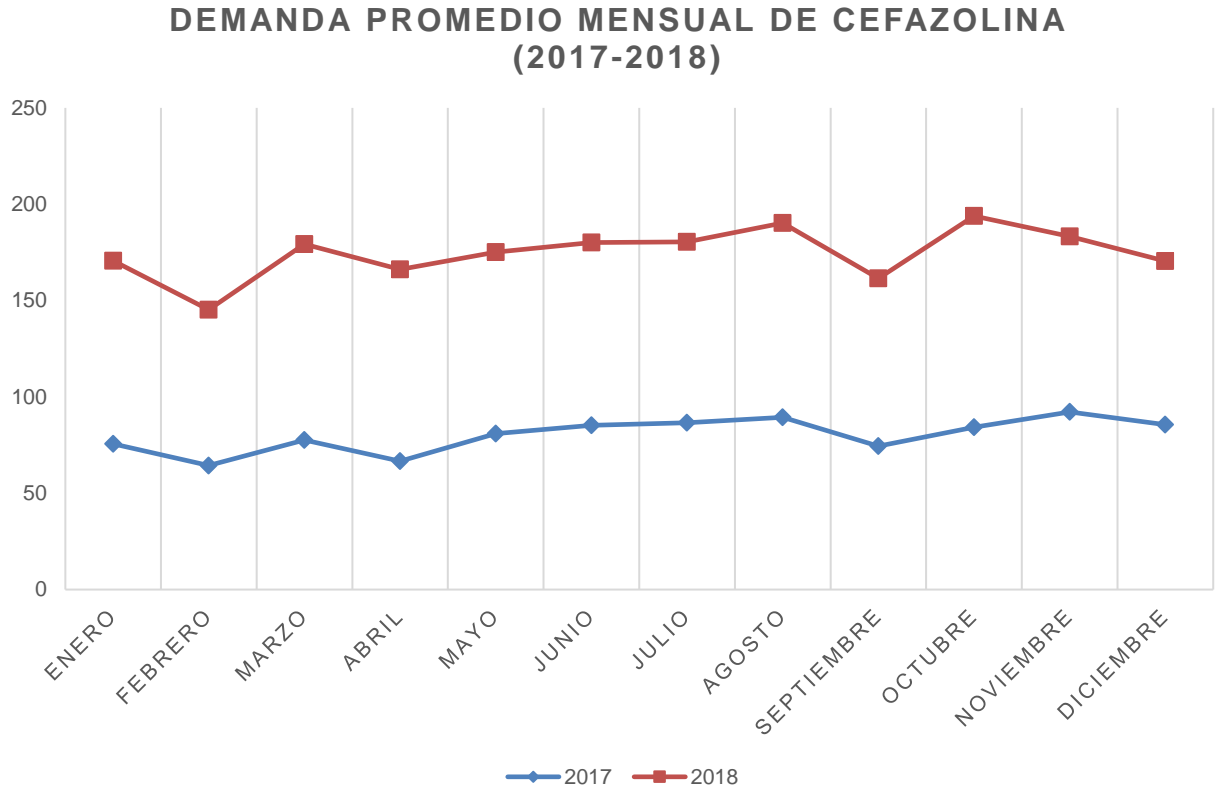
8.2.6. Análisis de la demanda

En la siguiente sección se estudiará el comportamiento de la demanda de antibióticos estandarizados producidos tanto dentro de la Central de Mezclas, como también los que son enviados a los Servicios Clínicos en modalidad ATB, con el fin de utilizar esta información para pronosticar, de manera eficiente, el movimiento de estos insumos y producir en modalidad intravenosa un porcentaje rentable de frascos que serán enviados a su destino. Se darán a conocer cifras generales para cada medicamento, su comportamiento anual, mensual y semanal, identificando los puntos relevantes. Entre los Anexos 28 y 31 se puede observar la información general de la demanda de antibióticos estandarizados creados en la Central de Mezclas. Teniendo un total de 3.030 de solicitudes de antibióticos preparados durante el 2017 y 3.369 durante el 2018, se concluye que cada medicamento posee comportamientos totalmente diferentes el uno de otro.

8.2.6.1. Antibióticos preparados en la Central de Mezclas (CM)

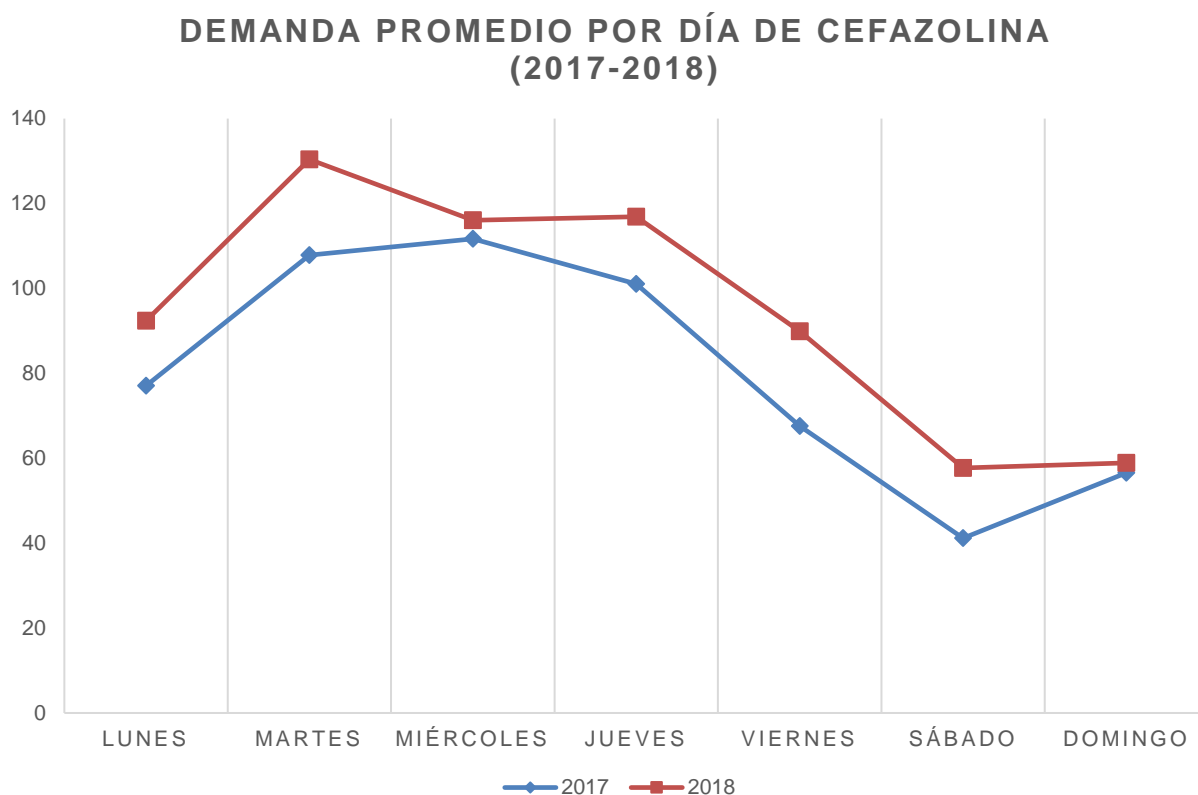
En las siguientes imágenes se presenta el comportamiento de la demanda promedio de Cefazolina dispuesta de manera mensual y diariamente, sólo considerando los años 2017 y 2018, debido a que el 2019 se ha generado este medicamento exclusivamente al servicio de pabellón (por lo que no es representativo). Por otro lado, en la sección de Anexos se encuentran los resultados obtenidos para cada uno de los antibióticos estandarizados, durante el mismo periodo de tiempo.

Gráfico 9: Demanda promedio por mes de Cefazolina durante el 2017 y 2018



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 10: Demanda promedio por día de Cefazolina durante el 2017 y 2018



Fuente: Elaboración propia.

La Cefazolina presenta, de manera mensual, un comportamiento promedio similar entre los años seleccionados, por lo que se pueden observar tendencias entre los periodos elegidos, como también estacionalidades en los meses de febrero, enero o septiembre. Por otra parte, su comportamiento promedio por los días de la semana también posee una tendencia similar entre los diferentes años, teniendo tendencia positiva al comienzo de la semana, para luego decaer después del jueves.

Con respecto al Tazobactam (Anexo 32 y 33), se observa poca tendencia y estacionalidad, entre los periodos estudiados, con respecto a la demanda promedio mensual. El comportamiento promedio de solicitudes durante el 2018 es totalmente diferente a lo que se obtiene con respecto a los otros años, por lo que es necesario contemplar la posibilidad de no incluir esta información para obtener el modelo de estimación. En cambio, si se compara el comportamiento promedio de la demanda entre los años 2017 y 2019 se puede observar que poseen movimientos similares desde el comienzo hasta a mediados del periodo. La demanda promedio diaria de Tazobactam no ha incurrido en variaciones significativas a lo largo de los años, manteniéndose estable durante toda la semana, decayendo levemente su actividad durante el fin de semana.

Al analizar los datos de la demanda promedio mensual de la Vancomicina (Anexo 34 y 35), se tiene que el 2017 se tuvo un comportamiento anormal de solicitudes en comparación al 2018 y 2019. No es posible encontrar tendencias o estacionalidades similares entre este año y los demás. Por otra parte, el 2018 y 2019 siguen un curso

bastante similar en términos de tendencia y estacionalidades de la demanda, concluyendo de que si puede influir la estación del periodo con respecto al comportamiento de la demanda. Además de esto, si se observa el comportamiento promedio diario de Vancomicina, se puede deducir que no existe algún tipo o movimiento demuestre tendencia o estacionalidad entre los días de la semana, por lo que estos podrían no influir, de manera directa, en la demanda de este antibiótico estandarizado.

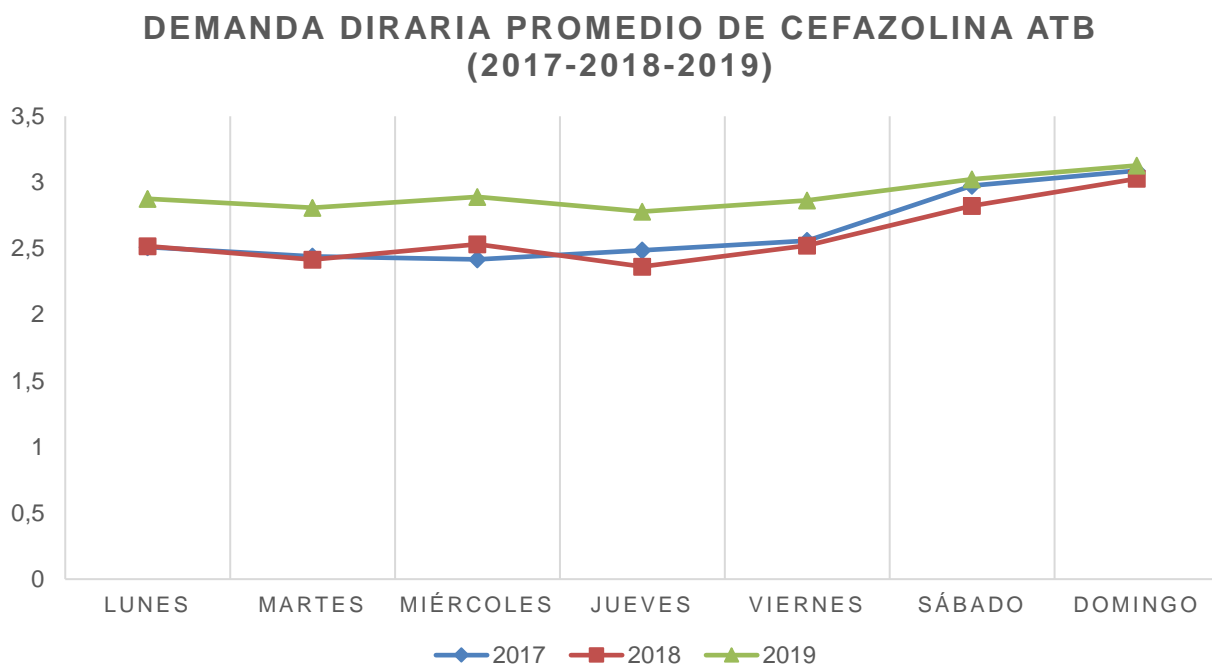
Por último, para el análisis de la Ceftriaxona (Anexos 36 y 37), no se utilizó la información del 2019 debido a que la Central de Mezclas no ha producido este medicamento durante este periodo de tiempo. Su demanda promedio mensual durante el 2017 y 2018 no presenta similitudes con respecto a estacionalidades o tendencias de los diferentes años, a excepción de los meses de noviembre y diciembre. Esto podría significar que la demanda de este medicamento se comporta de manera aleatoria, lo cual es grave y dañará la precisión del pronóstico que se desea obtener. Por otra parte, el comportamiento diario promedio de la demanda de Ceftriaxona, comparando el 2017 y 2018, tiene movimientos similares entre lunes y jueves. Pero, durante el fin de semana, estos movimientos por año se contradicen entre sí, teniendo tendencias positivas y negativas.

8.2.6.2. Antibióticos enviados en modalidad ATB a servicios clínicos

La demanda de los antibióticos estandarizados, que son enviados en modalidad ATB a los servicios clínicos, afecta sistemáticamente la demanda de los medicamentos preparados dentro de la Central de Mezclas. Es por este hecho que es necesario realizar un análisis general de cómo se han comportado estos insumos durante el 2017, 2018 y 2019, encontrando puntos que demuestren la existencia de estacionalidad y/o tendencia de los datos.

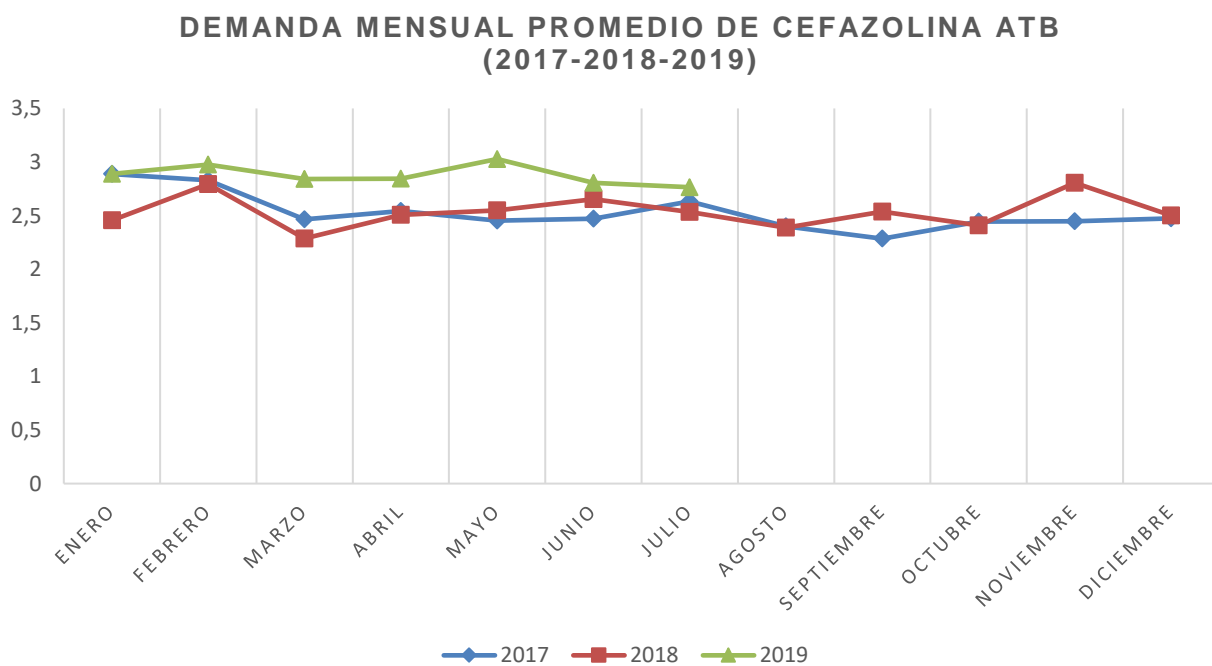
El procedimiento por realizar es similar al análisis anterior, creando gráficos que permitan observar el comportamiento de los medicamentos de manera mensual y diaria para cada año. En el Gráfico 11 se observa el comportamiento diario promedio de Cefazolina en modalidad ATB y en el Gráfico 12 su comportamiento mensual promedio. Los demás resultados se pueden ver entre los Anexos 38 y 43.

Gráfico 11: Demanda diaria promedio de Cefazolina en modalidad ATB durante el 2017, 2018 y 2019



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 12: Demanda mensual promedio de Cefazolina en modalidad ATB durante el 2017, 2018 y 2019



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la Cefazolina, se observan tendencias y estacionalidades similares entre los años estudiados, aumentando su demanda a medida que transcurre los días de la semana, manteniéndose dentro de un rango estable a lo largo de los meses estudiados.

Por otro lado, el Tazobactam tiene un comportamiento diario similar entre los años 2017 y 2018, aumentando su demanda cuando finalizan los días laborales. Esto se debe a la poca productividad de la Central de Mezclas en generar medicamentos preparados durante el fin de semana, por lo que la demanda de antibióticos ATB aumenta durante este periodo de tiempo para suplir las necesidades médicas de los pacientes. Con respecto a su comportamiento mensual, se visualizan similitudes entre las tendencias y estacionalidades de los años estudiados, en donde marzo y julio corresponden a meses de alta demanda.

La Vancomicina en modalidad ATB no posee puntos similares de tendencia y estacionalidad con respecto a su demanda diaria promedio, lo cual podría afectar al modelo de pronóstico a seleccionar. Sin embargo, mensualmente se observa lo contrario, teniendo un comportamiento similar entre los años estudiados, aumentando la demanda ATB de este medicamento luego del mes de agosto y descendiendo durante los últimos meses del periodo.

8.3. Pronóstico de la demanda

A continuación, se presentarán los procedimientos que se realizaron para obtener los diferentes modelos de predicción de la demanda, mencionados anteriormente en el marco teórico. El fin de este estudio es encontrar el pronóstico acertado, conocer el error entre el resultado obtenido con la realidad y utilizar este mismo para implementar un sistema de control de inventario.

8.3.1. Selección de datos y Cross Validation

Para lograr pronosticar la demanda futura con la mayor exactitud posible, fue necesario eliminar los datos entregados del 2019, tanto para los medicamentos preparados en la Central de Mezclas, como también para los pedidos de antibióticos en modalidad ATB. Se elimina este periodo debido a que estos datos representan un outlier de la realidad que se desea analizar, ya que durante los primeros meses de este año bajó, significativamente, la producción de estos insumos dentro de la Central de Mezclas y aumentó la cantidad de frascos que son enviados a los diferentes servicios clínicos.

Por otra parte, para comprobar cuál es el modelo que entrega los pronósticos más cercanos a los datos reales, es necesario utilizar la metodología de “*Cross Validation*” (Validación cruzada), la cual es una técnica que consiste en dividir la base de datos en variados grupos y crear datos de entrenamiento para comparar su rendimiento con los datos real. Estos grupos son denominados de entrenamiento y prueba, en donde el primero de ellos tiene por objetivo hacer que el modelo comprenda el comportamiento de la demanda real y se ajuste, en lo posible, a la realidad que se le ha entregado. Por otro

lado, el segundo grupo se utiliza evaluar el pronóstico del modelo, comparando su predicción con la demanda real que se tuvo durante este periodo de tiempo.

Lamentablemente, como se cuenta sólo con dos años históricos de la demanda de estos insumos, no fue posible crear variados grupos de prueba para comprobar el rendimiento del modelo, debido a que los datos de entrenamiento disminuirían bastante su eficiencia al aumentar los datos de prueba. Es por esta razón que se decide seleccionar los últimos 30 días del año 2018 para que sean el grupo de prueba, mientras que el resto de la información es asignada para el entrenamiento del modelo. El objetivo de esta decisión es obtener un pronóstico de la demanda diaria de antibióticos, contando con la mayor cantidad de datos de entrenamiento posible y obtener resultados aceptables.

8.3.2. Asignación de variables

Los modelos de relaciones causales necesitan tener variables independientes que expliquen el comportamiento de la demanda histórica de antibióticos estandarizados. Para poder crear estos pronósticos, se asignaron diferentes variables binarias (o dummies) y numéricas para poder explicar el por qué la demanda de este insumo se comporta de esta manera o cuales son los factores que influyen directamente en los pedidos diarios. Lamentablemente, no se cuenta con datos relacionados a la salud o patología del paciente, el cual necesita estos medicamentos, por lo que las variables independientes se generarán en base a datos temporales o demanda del pasado.

En primer lugar, se crean diferentes variables binarias para representar los días de la semana, los meses, las estaciones y los años en que se recibió el pedido del antibiótico. Por otro lado, se integran variables dummies que dan a conocer cuando ocurre un feriado irrenunciable, el día previo y posterior a este (FERIADOIR, PREV_FERIADO, POST_FERIADO), con el objetivo de identificar comportamientos de la demanda significativos durante estos periodos de tiempo, ya que implican una dificultad para poder producir. Además de estas variables, se crean 7 numéricas, las cuales se denominan “Rezagados” y toman el valor de la demanda de periodos anteriores. Son 7 variables independientes por que la primera de ellas entrega el valor de la demanda del periodo $t-1$, la segunda da a conocer la del periodo $t-2$ y así sucesivamente, hasta la última.

Por último, se integra a la base de datos otras 6 variables numéricas independientes, las cuales entregan la media aritmética de la demanda del pasado. Estos valores se denominan “Media” y la primera variable entrega la demanda promedio considerando dos periodos anteriores. El resto de las variables entrega el promedio de la demanda, pero considerando periodos más alejados de la demanda actual.

8.3.3. Regresión lineal

Antes de dar a conocer los resultados obtenidos, es importante destacar que se utilizó la metodología “Lasso” para obtener las variables independientes más relevantes para la demanda del insumo. Luego de esto, se eliminaron las menos significativas dentro del modelo y que poseían un coeficiente cercano a 0, con el objetivo de entregar un resultado concreto. Por otro lado, existen variables dummies que fueron eliminadas por

el problema de colinealidad, en donde las demás pueden explicar el comportamiento de la faltante por la relación que existe entre ellas, por lo que se decide eliminar el último día de la semana, último mes del año y la variable 2017.

8.3.3.1. Antibióticos producidos en la Central de Mezclas

En la siguiente tabla, se pueden observar los resultados obtenidos para los antibióticos que han sido creados dentro de la Central de Mezclas. Dentro de estos se pueden encontrar los coeficientes de cada una de las variables independientes, su significancia y el porcentaje de variabilidad de la demanda del medicamento que puede explicar cada uno de los modelos (R^2 ajustado).

Tabla 31: Resultados de regresión lineal para antibióticos preparados en la Central de Mezclas

Variable independiente	Ceftriaxona	Cefazolina	Vancomicina	Tazobactam
PREFERIADO		-20,685***		
FERIADOIR		-22,260***		
POST_FERIADO		-20,052***	5,827*	-7,713
Lunes	7,857***	26,314***		6,666***
Martes	7,695***	60,527***		5,876**
Miércoles	6,747***	53,145***	-1,211	4,685**
Jueves	5,779**	48,600***	-2,101	4,343*
Viernes	-4,887*	17,713***	-2,426	
Sábado	-6,158***	-9,738**	-1,710	-1,368
Verano	-7,329**		-3,362**	-0,691
Invierno	-4,729**			
Otoño	-5,758*		1,695	-0,506
Media1	2,523[†]			-2,111
Media2	-0,836		-0,251[†]	-0,584
Media3				0,510***
Media4	0,317		-0,269	
Media5	-1,213***		1,022	
Media6	0,921***			
Rezagados1	-0,652			1,086
Rezagados2	-0,968			1,227
Rezagados3	0,273			0,202
Rezagados6	0,135[†]		-0,185	
Año2018	-5,916***	14,737***	1,684*	12,237***
Enero	17,910***	-7,204*		-1,801
Febrero	13,559***	-20,665***		-5,227
Marzo	8,448**	-3,751		-1,581
Abril	9,795***	-6,872*	-4,735**	-5,216
Mayo	8,934**	-6,551		-0,874
Junio	8,613***			
Julio	7,703***			
Agosto	6,367**			
Constante	13,958***	57,842***	16,958***	26,811***
R^2	0,531	0,474	0,082	0,252
R^2 ajustado	0,512	0,462	0,062	0,230
Nota (p-valor)	* $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$			

Fuente: Elaboración propia.

Analizando estos datos, se puede afirmar que las variables significativas varían bastante dependiendo del insumo estudiado. La demanda de Cefazolina y Ceftriaxona se ve influida, significativamente, por el día de la semana en donde se produce el medicamento. Por otro lado, la demanda de Cefazolina es afectada, negativa y significativamente, cuando se tiene un feriado irrenunciable, considerando también los días previos y posteriores a este. En el caso del Ceftriaxona, el comportamiento de la demanda también es afectada por los meses en donde se recibe la solicitud.

El R^2 ajustado obtenido para el caso de la Vancomicina y el Tazobactam son bastante pequeños, por lo que se concluye que estas variables no son las que explican el comportamiento real de la demanda de estos insumos.

8.3.3.2. Antibióticos ATB

En la Tabla 31 se pueden ver los resultados obtenidos de las regresiones lineales con respecto a la demanda recibida de antibióticos estandarizados en modalidad ATB, entregando los coeficientes y la significancia para cada una de las variables independientes seleccionadas.

Tabla 32: Resultados de regresión lineal para antibióticos ATB

Variable independiente	Ceftriaxona ATB	Cefazolina ATB	Vancomicina ATB	Tazobactam ATB
PREFERIADO				6,680***
FERIADOIR	-2,758			-2,387
POST_FERIADO				3,487
Lunes	4,781***	7,857***	4,648**	
Martes	4,418***	7,695***	6,799***	2,285**
Miércoles	1,181	6,747***	2,518	
Jueves	2,324*	5,779**		
Viernes	1,438	-4,887**	4,801***	
Sábado	0,409	-6,158***	1,377	
Verano		-7,329**	-2,462	-7,893***
Invierno		-4,729**		-7,790***
Otoño		-5,758*	-6,504*	-8,603***
Media1	0,619	2,523*	-1,213*	1,346**
Media2	-0,384	-0,836		-0,999**
Media3	0,527		0,755**	-0,009
Media4	0,417	0,317	-0,785**	
Media5	-0,978**	-1,213***	0,020	
Media6	0,381	0,921***	-0,137	
Rezagados1	-0,035	-0,652	0,944***	-0,029
Rezagados2	-0,191	-0,968	0,698**	-0,297
Rezagados3	0,137	0,273	0,063	0,457***
Rezagados4	-0,039			
Rezagados5	-0,031		0,172**	
Rezagados6	0,119	0,135*		
Rezagados7	0,029		0,119**	
Año2018	-9,837***	-5,916***	-5,490***	-11,652***
Enero	9,702***	17,910***	0,984	18,969***
Febrero	5,658**	13,559***	4,644	15,356***
Marzo	8,012***	8,448**	4,973	17,361***

Abril	7,716 ^{***}	9,795 ^{***}	3,573	12,374 ^{***}
Mayo	7,802 ^{***}	8,934 ^{**}	6,484 [*]	15,849 ^{***}
Junio	9,532 ^{***}	8,613 ^{***}	7,227 ^{**}	18,415 ^{***}
Julio	6,782 ^{***}	7,703 ^{***}		16,545 ^{***}
Agosto	5,583 ^{**}	6,367 ^{**}		16,158 ^{***}
Septiembre	2,903			15,044 ^{***}
Octubre	3,992 [*]			5,459 ^{**}
Noviembre	1,712			5,234 ^{**}
Constante	8,969 ^{***}	13,958 ^{***}	19,481 ^{***}	14,592 ^{***}
R^2	0,687	0,531	0,411	0,637
R^2 ajustado	0,672	0,512	0,390	0,624
Nota	* $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$			

Fuente: Elaboración propia.

La demanda de Tazobactam es la única que tiene una relación significativa con respecto a los días anteriores a un feriado irrenunciable. Por otra parte, todas las demandas de los medicamentos analizados se ven influenciados, de manera significativa, por algún mes del año en donde se recibe el pedido.

Los valores de los R^2 ajustados demuestran que los resultados son favorables en comparación a los que se obtuvieron con respecto a los antibióticos preparados en la Central de Mezclas. Sin embargo, la Vancomicina sigue teniendo un porcentaje bajo con respecto a la variabilidad de la demanda, por lo cual se necesitará una mayor cantidad de variables (relacionadas a la patología que posee el paciente u otros factores relacionados a la compra de la materia prima para obtener estos insumos) para conseguir un resultado eficiente y real con respecto a la demanda de este insumo. Se espera que este método de pronóstico, junto con Random Forest y árboles binomiales, sean buenos estimadores de la demanda futura si es que poseen un R^2 ajustado mayor o igual al 50%.

8.3.4. Aclaraciones antes de obtener los pronósticos

Cabe destacar que varios de estos modelos de pronóstico no poseen las capacidades necesarias para obtener un resultado eficiente cuando la demanda del producto es cercana a 0, por lo que antes de comenzar con la programación y obtener los resultados esperados, fue necesario reemplazar estos valores por la demanda mínima (al menos 2 medicamentos por día) en donde los cálculos no se indefinan. Existen modelos que utilizan una transformación logarítmica para encontrar el pronóstico esperado, lo cual genera esta dificultad.

8.3.5 Resultados y elección del modelo para antibióticos preparados en la Central de Mezclas

A continuación, se darán a conocer los indicadores que muestran los diferentes errores de todos los modelos pronosticados, enfocados a predecir la demanda de los antibióticos estandarizados producidos en la Central de mezclas y mencionados anteriormente en la sección del marco teórico.

En la siguiente tabla se pueden observar los errores de pronóstico con respecto a la demanda de Ceftriaxona, entregando estas cifras en términos porcentuales.

Tabla 33: Errores de pronósticos para Ceftriaxona preparada en la Central de Mezclas

Modelo	RMSE (%)	MAE (%)
Árbol binomial	19,333	13,933
Random Forest	20,046	13,781
Regresión lineal	18,924	13,948
Promedio móvil simple	20,789	15,181
Promedio móvil ponderado	19,52	13,933
Suavización exponencial con tendencia	19,71	13,927
Suavización exponencial con tendencia amortiguada	19,729	13,933
Suavización con estacionalidad	23,59	16,966
Holt-Winters	23,506	19,641
Holt-Winters con tendencia amortiguada	20,244	14,453
Prophet	20,248	14,597
ARIMA	25,934	19,948

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el pronóstico que posee el menor RMSE es la regresión lineal, siendo este seleccionado como el modelo de mayor eficiencia para obtener los datos futuros. Sin embargo, Random Forest posee el menor MAE, por lo que será considerado como el segundo mejor pronóstico. En los Anexos 44 y 45 se pueden ver los resultados obtenidos para cada uno de estos modelos.

Tabla 34: Errores de pronósticos para Cefazolina preparada en la Central de Mezclas

Modelo	RMSE (%)	MAE (%)
Árbol binomial	29,521	24,678
Random Forest	25,679	22,637
Regresión lineal	26,214	23,564
Promedio móvil simple	39,624	33,689
Promedio móvil ponderado	40,243	34,746
Suavización exponencial con tendencia	41,662	36,038
Suavización exponencial con tendencia amortiguada	41	35,462
Suavización exponencial con estacionalidad	30,52	25,625
Holt-Winters	34,945	29,083
Holt-Winters con tendencia amortiguada	30,989	26,733
Prophet	30,09	26,427
ARIMA	39,316	32,048

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la Cefazolina indican que el modelo Random Forest corresponde al pronóstico con el menor RMSE y MAE. En el Anexo 46 se puede observar los resultados obtenidos para el periodo de prueba y la demanda real del medicamento.

Tabla 35: Errores de pronósticos para Tazobactam preparado en la Central de Mezclas

Modelo	RMSE (%)	MAE (%)
Árbol binomial	22,581	19,094
Random Forest	22,117	18,817
Regresión lineal	23,371	19,885
Promedio móvil simple	24,427	19,894
Promedio móvil ponderado	27,729	22,785
Suavización exponencial con tendencia	22,93	19,341
Suavización exponencial con tendencia amortiguada	22,473	19,041
Suavización exponencial con estacionalidad	33,926	28,766
Holt-Winters	23,691	20,122
Holt-Winters con tendencia amortiguada	23,539	19,878
Prophet	23,617	19,873
ARIMA	30,555	24,88

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del Tazobactam, se observa que Random Forest vuelve a obtener el menor RMSE y MAE dentro de los modelos propuestos. Los resultados del pronóstico pueden observarse en el Anexo 47.

Tabla 36: Errores de pronósticos para Vancomicina preparada en la Central de Mezclas

Modelo	RMSE (%)	MAE (%)
Árbol binomial	13,516	11,412
Random Forest	13,975	11,627
Regresión lineal	13,623	11,383
Promedio móvil simple	13,332	10,844
Promedio móvil ponderado	14,021	11,983
Suavización exponencial con tendencia	14,165	12,151
Suavización exponencial con tendencia amortiguada	14,014	11,974
Suavización exponencial con estacionalidad	30,196	21,23
Holt-Winters	14,847	12,539
Holt-Winters con tendencia amortiguada	14,614	12,416
Prophet	14,091	11,977
ARIMA	15,417	12,274

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la Vancomicina, se observa que el promedio móvil simple corresponde al modelo con mejores indicadores, lo cual ocurre debido a que la regresión lineal no representa el comportamiento de la variable dependiente y los datos no demuestran tendencia ni estacionalidad, por lo que este resultado era de esperarse. Por otro lado, la suavización exponencial con tendencia amortiguada se propone como segunda opción a elegir entre los modelos propuestos, ya que corresponde al mejor pronóstico entre los que son la categoría de series de tiempo y se espera que este entregue mejores resultados al aumentar la cantidad de datos de entrenamiento.

En el Anexo 48 y 49 se pueden ver los resultados obtenidos para el periodo de prueba, tanto para el promedio móvil simple, como también para la suavización exponencial con tendencia amortiguada.

8.3.6. Resultados y elección del modelo para antibióticos enviados en modalidad ATB

Esta sección es similar a la anterior, pero con la diferencia de que se mostrarán los indicadores de los errores de pronóstico con respecto a la demanda de antibióticos en modalidad ATB.

Tabla 37: Errores de pronóstico para Ceftriaxona ATB

Modelo	RMSE (%)	MAE (%)
Árbol binomial	13,983	10,463
Random Forest	14,032	9,948
Regresión lineal	16,377	13,029
Promedio móvil simple	29,063	28,315
Promedio móvil ponderado	13,018	7,29
Suavización exponencial con tendencia	13,027	7,09
Suavización exponencial con tendencia amortiguada	13,035	7,229
Suavización exponencial con estacionalidad	13,993	8,097
Holt-Winters	42,529	40,921
Holt-Winters con tendencia amortiguada	12,91	6,964
Prophet	13,063	7,54
ARIMA	34,622	33,03

Fuente: Elaboración propia.

Considerando estos resultados, se concluye que el modelo Holt-Winters con tendencia amortiguada es el que posee menor RMSE y MAE, por lo que es seleccionado para pronosticar el comportamiento futuro de este medicamento. En el Anexo 50 se puede observar la demanda real y la pronosticada para este modelo, durante el tiempo de prueba.

Tabla 38: Errores de pronósticos para Cefazolina ATB

Modelo	RMSE (%)	MAE (%)
Árbol binomial	11,911	9,312
Random Forest	8,458	7,151
Regresión lineal	9,154	7,507
Promedio móvil simple	21,082	18,894
Promedio móvil ponderado	9,672	8,154
Suavización exponencial con tendencia	9,7	7,951
Suavización exponencial con tendencia amortiguada	10,165	8,02
Suavización exponencial con estacionalidad	10,295	8,147
Holt-Winters	66,34	62,235
Holt-Winters con tendencia amortiguada	8,946	6,961
Prophet	8,907	7,062
ARIMA	44,56	38,479

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la Cefazolina ATB demuestran que Random Forest posee el menor RMSE. Sin embargo, el modelo Prophet es el que tiene menor MAE entre los diferentes pronósticos. Por lo tanto, se elige Random Forest como el mejor modelo y Prophet como segunda opción, la cual podría llegar a ser el más eficiente al largo plazo. Los resultados obtenidos, durante el periodo de prueba, pueden visualizarse en los Anexos 51 y 52.

Tabla 39: Errores de pronósticos para Tazobactam ATB

Modelo	RMSE (%)	MAE (%)
Árbol binomial	18,273	13,455
Random Forest	17,557	11,822
Regresión lineal	22,378	14,666
Promedio móvil simple	23,23	21,132
Promedio móvil ponderado	18,761	13,159
Suavización exponencial con tendencia	19,403	13,518
Suavización exponencial con tendencia amortiguada	19,189	13,404
Suavización exponencial con estacionalidad	19,8	14,23
Holt-Winters	31,087	29,435
Holt-Winters con tendencia amortiguada	19,27	13,579
Prophet	19,991	13,508
ARIMA	28,369	26,632

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso del Tazobactam ATB, se tiene que Random Forest es el modelo que posee menor RMSE y MAE, por lo que es seleccionado como el mejor pronóstico. En el Anexo 53 se puede observar los resultados obtenidos.

Tabla 40: Errores de pronósticos para Vancomicina ATB

Modelo	RMSE	MAE
Árbol binomial	15,386	12,383
Random Forest	15,196	11,801
Regresión lineal	16,844	13,334
Promedio móvil simple	13,691	10,966
Promedio móvil ponderado	19,219	15,328
Suavización exponencial con tendencia	16,675	12,912
Suavización exponencial con tendencia amortiguada	16,591	12,815
Suavización exponencial con estacionalidad	20,904	16,755
Holt-Winters	23,45	18,831
Holt-Winters con tendencia amortiguada	18,642	14,805
Prophet	15,995	12,05
ARIMA	16,204	13,347

Fuente: Elaboración propia.

Por último, para la Vancomicina ATB, se obtiene que el promedio móvil simple es el modelo con menor RMSE y MAE. Este escenario también ha ocurrido cuando se analizaron los resultados de este medicamento, pero preparado en la central de mezclas. Con estos datos se afirma que la demanda de este medicamento, tanto en modalidad ATB como intravenoso, es bastante aleatoria durante el 2017 y 2018. En los Anexos 54 y 55 se pueden ver los gráficos obtenidos para los modelos de promedio móvil simple y Random Forest (segundo pronóstico con los mejores resultados).

A modo de resumir e ilustrar de mejor manera los resultados obtenidos, se crea una tabla en donde se dan a conocer los modelos seleccionados para cada uno de los medicamentos. Además, se incluye la columna del segundo mejor pronóstico para los casos en donde se obtuvo un menor MAE, en comparación con el modelo seleccionado con menor RMSE.

Tabla 41: Modelos de pronóstico seleccionados para cada uno de los medicamentos

Medicamento	Primer modelo seleccionado	Segundo modelo seleccionado
Ceftriaxona	Regresión lineal	Random Forest
Ceftriaxona ATB	Holt-Winters con tendencia amortiguada	-
Cefazolina	Random Forest	-
Cefazolina ATB	Random Forest	Prophet
Tazobactam	Random Forest	-
Tazobactam ATB	Random Forest	-
Vancomicina	Promedio móvil simple	Suavización exponencial con tendencia amortiguada
Vancomicina ATB	Promedio móvil simple	Random Forest

Fuente: Elaboración propia.

8.4. Gestión del inventario

8.4.1. Variables por utilizar

El modelo de gestión del inventario, para el caso de antibióticos estandarizados, se basará en el sistema de revisión continua, el cual tiene como propósito reponer las existencias almacenadas cuando el nivel de los productos es menor que el punto de reorden. Para conseguir este valor y la cantidad óptima a producir, es necesario aclarar cuáles serán las variables que permitirán resolver el modelo.

En primer lugar, se define el “*lead time*” (LT) como el tiempo en que estos medicamentos tardan en ser preparados en cámara y entregados en el almacenamiento de Dispensación. Por lo tanto, es necesario considerar el tiempo que tarda el procesamiento, etiquetado y almacenamiento de estos productos, lo cual corresponde a 6 horas, aproximadamente.

En segundo lugar, se decide que el nivel de satisfacción del servicio tendrá un porcentaje igual a 97.7%, con el fin de suplir la demanda de estos medicamentos dentro de un escenario realista y dando el espacio para que el modelo tenga la posibilidad de fallar, en la menor cantidad posible, su gestión de los productos estudiados.

En tercer lugar, se estima que el costo de orden por pedido es igual a \$156 CLP, monto que es calculado considerando el salario líquido que reciben los encargados de despachar los antibióticos estandarizados a los servicios clínicos (\$450.000 CLP) y que el proceso de entrega tarda, en promedio, 10 minutos por cada orden. Por último, el costo

de mantener un medicamento por año se define como el valor esperado de perder este insumo debido a vencimiento.

8.4.2. Punto de reorden y cantidad a producir

Luego de tener claro las variables necesarias para el modelo de gestión, se utilizarán los datos históricos recopilados para obtener los diferentes puntos de reposición y cantidades eficientes a producir, los cuales se encuentran ilustrados en la siguiente tabla.

Tabla 42: Resultados gestión del inventario

Medicamento	R	Q
Ceftriaxona	38 unidades	87 unidades
Cefazolina	87 unidades	220 unidades
Vancomicina	26 unidades	95 unidades
Tazobactam	41 unidades	76 unidades

Fuente: Elaboración propia.

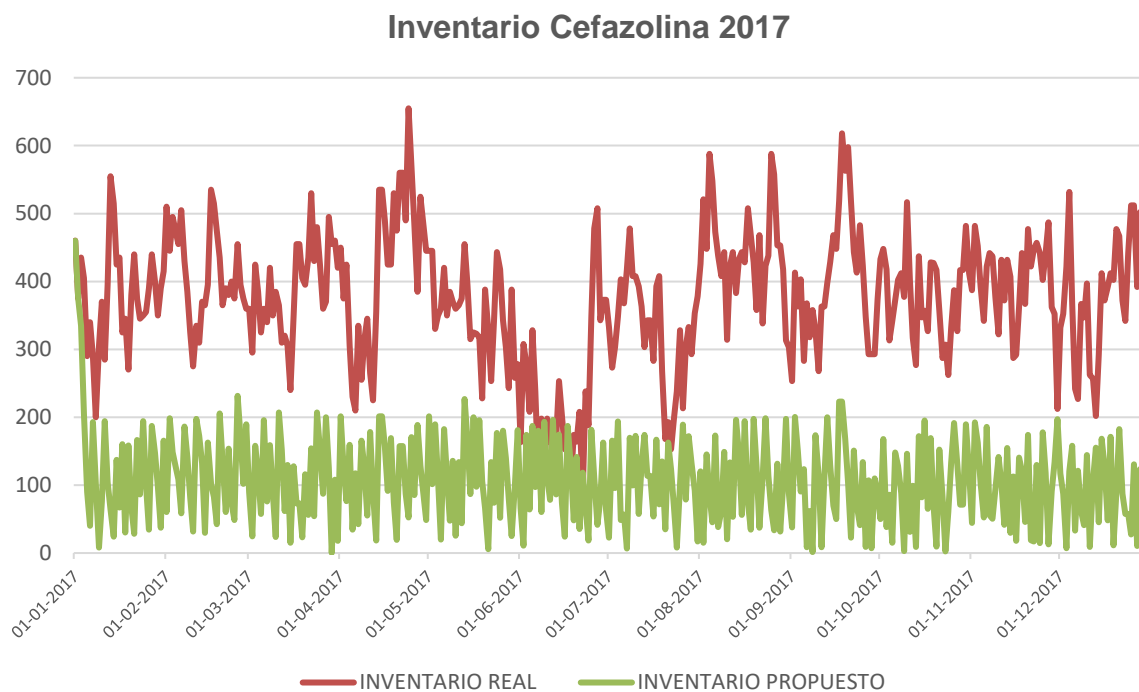
Se observa que los puntos de reposición son bastante pequeños al comparar esta cantidad con la demanda real de cada uno de los medicamentos. Esto ocurre debido a que el modelo escogido tiene por finalidad disminuir, en lo posible, los costos relacionados al almacenamiento, por lo que la reposición de estos productos debe ser cercano al quiebre de stock, optimizando la producción.

8.4.2. Gestión del inventario propuesto

Para comprobar y analizar el rendimiento del sistema de revisión continua, se realiza la gestión del inventario para los años 2017 y 2018, considerando como conocida la demanda recibida durante estos periodos. El fin de esta sección es comparar el inventario real que Central de Mezclas poseía en el pasado, con el que se propone a través de este modelo. Luego de comprobar el rendimiento de este nuevo sistema, se procederá a realizar una simulación con respecto a los datos entregados y las predicciones de las solicitudes que se han registrado para el mes de diciembre del 2018.

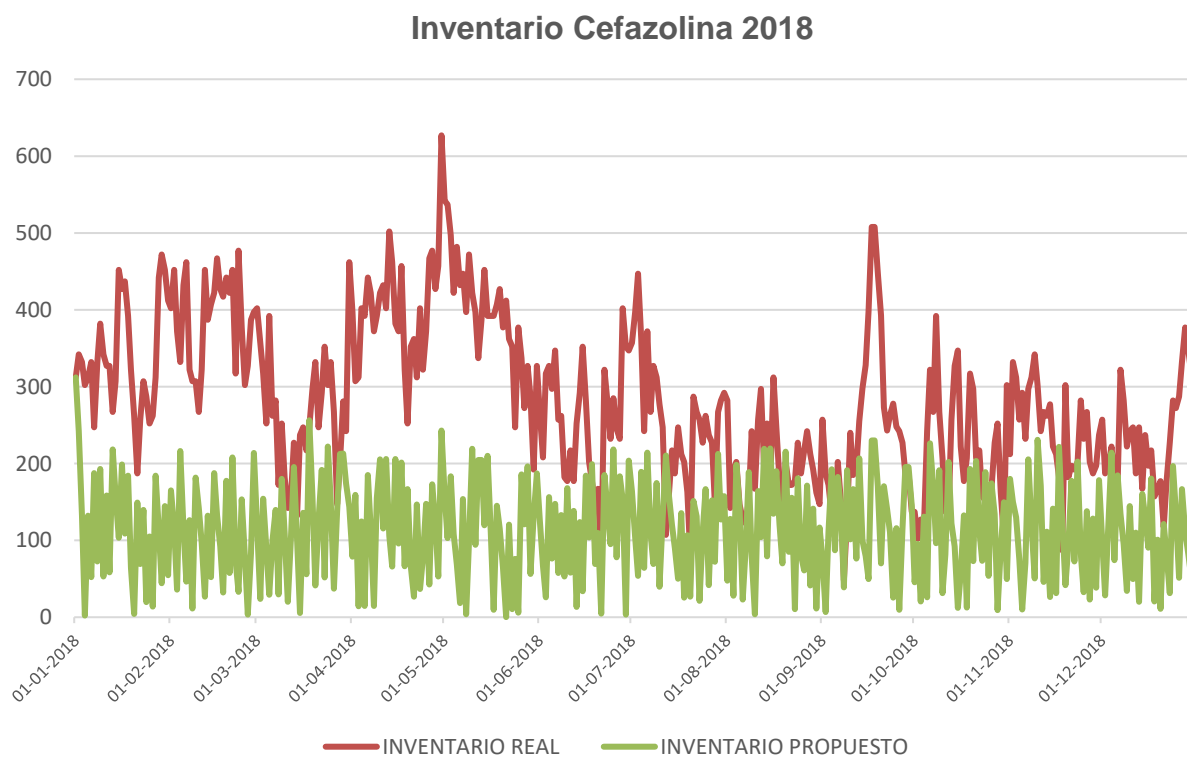
En los siguientes gráficos, se pueden observar los diferentes inventarios obtenidos en relación con el comportamiento de la Cefazolina, durante el 2017 y 2018. Los resultados obtenidos para el resto de los antibióticos pueden encontrarse entre los Anexos 56 y 61.

Gráfico 13: Inventario real y propuesto para la Cefazolina durante el 2017



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 14: Inventario real y propuesto para la Cefazolina durante el 2018



Fuente: Elaboración propia.

Se concluye que el sistema de revisión continua es eficiente, manteniendo la menor cantidad de entidades circulando dentro del almacenamiento de antibióticos. Este resultado era de esperar, ya que este modelo asume la demanda diaria conocida, facilitando los cálculos para evitar quiebres o sobre stock de inventario.

Para comprobar y analizar los resultados del sistema, se crean las siguientes tablas que dan a conocer la diferencia entre la sobre producción de los productos, el ahorro en costo de oportunidad, los días de rotación y la cantidad de medicamentos almacenados, para cada uno de los periodos e insumos estudiados.

Tabla 43: Comparación entre sobre producción del inventario real y propuesto (2017)

Tipo de inventario	Sobre producción real 2017	Sobre producción ideal 2017	Porcentaje de disminución	Ahorro en costo de oportunidad
Ceftriaxona	9.522	2.958	69%	\$3.363.394
Cefazolina	29.010	7.260	75%	\$11.241.270
Vancomicina	6.051	2.090	65%	\$2.887.569
Tazobactam	9.875	1.520	85%	\$8.377.726
Total inventario	54.458	13.828	75%	\$25.869.958

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44: Comparación entre sobre producción del inventario real y propuesto (2018)

Tipo de inventario	Sobre producción real 2018	Sobre producción ideal 2018	Porcentaje de disminución	Ahorro en costo de oportunidad
Ceftriaxona	11.045	2.620	76%	\$4.317.004
Cefazolina	32.767	4.846	85%	\$14.430.432
Vancomicina	6.347	2.370	63%	\$2.899.304
Tazobactam	9.351	913	90%	\$8.461.004
Total inventario	59.510	10.749	82%	\$30.107.743

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45: Rotación de inventario para escenario real y propuesto (2017)

Tipo de inventario	Rotación inventario real 2017 (días)	Rotación inventario propuesto 2017 (días)	Diferencia de días
Ceftriaxona	3,04	1,94	1,10
Cefazolina	4,67	1,65	3,03
Vancomicina	2,80	2,55	0,25
Tazobactam	1,66	1,03	0,64

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46: Rotación de inventario para escenario real y propuesto (2018)

Tipo de inventario	Rotación inventario real 2018 (días)	Rotación inventario propuesto 2018 (días)	Diferencia de días
Ceftriaxona	2,62	1,39	1,23
Cefazolina	3,01	1,29	1,72
Vancomicina	2,31	2,35	-0,05
Tazobactam	1,13	0,70	0,43

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47: Ahorros en costos de oportunidad de almacenamiento 2017

Antibiótico	Nivel de inventario real 2017	Nivel de inventario propuesto 2017	Porcentaje de disminución	Ahorro en costo de oportunidad de almacenamiento
Ceftriaxona	31.674	20.218	36%	\$5.870.054
Cefazolina	13.7044	48.305	65%	\$45.863.865
Vancomicina	21.999	20.069	9%	\$1.406.970
Tazobactam	25.231	15.591	38%	\$9.666.221
Total inventario	215.948	104.183	52%	\$62.807.110

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48: Ahorro en costos de oportunidad de almacenamiento (2018)

Antibiótico	Nivel de inventario real 2018	Nivel de inventario propuesto 2018	Porcentaje de disminución	Ahorro en costo de oportunidad de almacenamiento
Ceftriaxona	35.400	18.792	47%	\$8.509.731
Cefazolina	104.062	44.713	57%	\$30.673.878
Vancomicina	20.017	20.441	-2%	-\$309.237
Tazobactam	24.454	15.170	38%	\$9.309.250
Total inventario	183.933	99.117	46%	\$48.183.621

Fuente: Elaboración propia.

Los beneficios más relevantes de este modelo están relacionados con la disminución de la sobre producción, repercutiendo directamente en el ahorro del costo de oportunidad, la cantidad de días de almacenamiento y la cantidad de productos guardados en inventario. Durante el 2017 y 2018, todos los medicamentos disminuyen, al menos, un 60% su producción innecesaria.

Se observa que tanto la Vancomicina y el Tazobactam tienen una disminución leve con respecto a los días de rotación de inventario, por lo que una baja significativa en el nivel de productos almacenados no implica que los días de rotación de estos medicamentos disminuya. Por otro lado, la Cefazolina posee una disminución significativa con respecto a los días en que este producto se encuentra almacenado y también su cantidad anual, al igual que la Ceftriaxona.

8.4.3. Beneficios de inventario ideal

Con el fin de investigar la rentabilidad del modelo de gestión de inventario propuesto, se realiza el cálculo de los respectivos beneficios que conllevaría haber implementado esta metodología de almacenamiento durante los periodos de 2017 y 2018, considerando el ahorro en costos de oportunidad de almacenamiento (tener en inventario menor cantidad de insumos), sobre producción de antibióticos, los potenciales quiebres de stock (2,5% de las solicitudes) y las mermas que se obtendrían (se espera que con este sistema las mermas correspondan al 2%, dentro de la Central de Mezclas).

Tabla 49: Ahorro y costos del sistema de revisión continua (2017)

Tipo de inventario	Ahorro en costos de oportunidad de sobre producción 2017	Ahorro en costos de oportunidad de almacenamiento 2017	Costo quiebres de stock 2017	Costo mermas 2017
Ceftriaxona	\$3.363.394	\$5.870.054	-\$ 2.649.410	-\$ 888.331
Cefazolina	\$11.241.270	\$45.863.865	-\$2.993.462	-\$ 2.526.745
Vancomicina	\$2.887.569	\$1.406.970	-\$1.090.990	-\$956.084
Tazobactam	\$8.377.726	\$9.666.221	-\$8.111.199	-\$ 2.536.547
Total	\$25.869.958	\$62.807.110	-\$14.845.061	-\$6.907.706

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50: Ahorro y costos del sistema de revisión continua (2018)

Tipo de inventario	Ahorro en costos de oportunidad de sobre producción 2018	Ahorro en costos de oportunidad de almacenamiento 2018	Costo quiebres de stock 2018	Costo mermas 2018
Ceftriaxona	\$4.317.004	\$8.509.731	-\$ 3.447.392	-\$ 1.155.889
Cefazolina	\$14.430.432	\$30.673.878	-\$3.523.923	-\$ 2.974.500
Vancomicina	\$2.899.304	-\$309.237	-\$1.203.569	-\$1.054.742
Tazobactam	\$8.461.004	\$9.309.250	-\$11.517.497	-\$ 3.601.770
Total	\$30.107.743	\$48.183.621	-\$19.692.380	-\$8.786.901

Fuente: Elaboración propia.

Los beneficios totales de este proyecto simulado, dando por conocida la demanda real, tienen un monto promedio total de **\$58.368.192 CLP** anuales.

8.4.4. Resultados recomendados

Los resultados obtenidos pueden mejorarse para aumentar la calidad del sistema, con el fin de no incurrir en el caso de subestimar la demanda de antibióticos estandarizados, llevando a que varios productos tengan quiebres de stock o bien, producciones aceleradas y sin la metodología adecuada. Para solucionar esto, se realiza una proyección de la demanda de estos insumos para dos años en el futuro, con el fin de ir ajustando los puntos de reorden y obtener un sistema que tenga la capacidad de soportar demandas aleatorias en periodos críticos.

A continuación, se dan a conocer los resultados obtenidos del pronóstico de 2019 y 2020, en donde se impone la función objetivo de que el costo de oportunidad del inventario sea, al menos, el 50% del real (2017 y 2018), el cual es el uno de los objetivos principales de este trabajo. Además, las cantidades óptimas a producir (Q) se mantienen estables según lo obtenido en la teoría, con el fin de no superar el límite de producción de la Central de Mezclas.

Tabla 51: Resultados de puntos de reposición y cantidades a producir según pronóstico

Tipo de antibiótico	R	Q
Ceftriaxona	44 unidades	85 unidades
Cefazolina	100 unidades	220 unidades
Vancomicina	35 unidades	95 unidades
Tazobactam	52 unidades	76 unidades

Fuente: Elaboración propia.

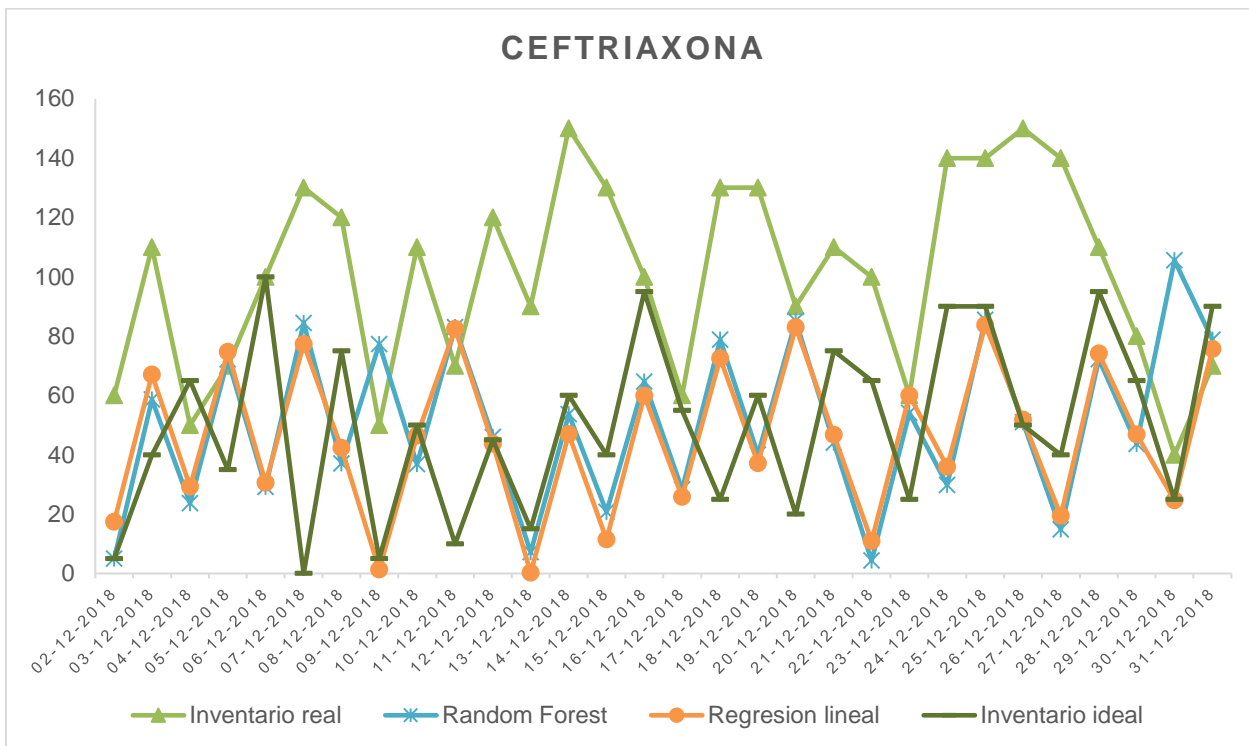
Estos resultados son recomendables a implementar en la propuesta de solución, con el fin de evitar quiebres de stock y enfrenar comportamientos anormales de la demanda de antibióticos. Debido a que los puntos de reorden son mayores a los que se tenían anteriormente, se estima que estos puntos lograrán que el sistema solo posea un 1,5% de quiebres de stock y un 1,8% en mermas, con respecto a la demanda total.

Para asegurar un análisis eficiente del control del inventario y sus potenciales beneficios, se realizará una simulación durante los últimos 30 días el mes de diciembre del 2018 con los datos reales, con el fin de comprobar como estos montos influyen en un escenario real.

8.4.4. Simulación

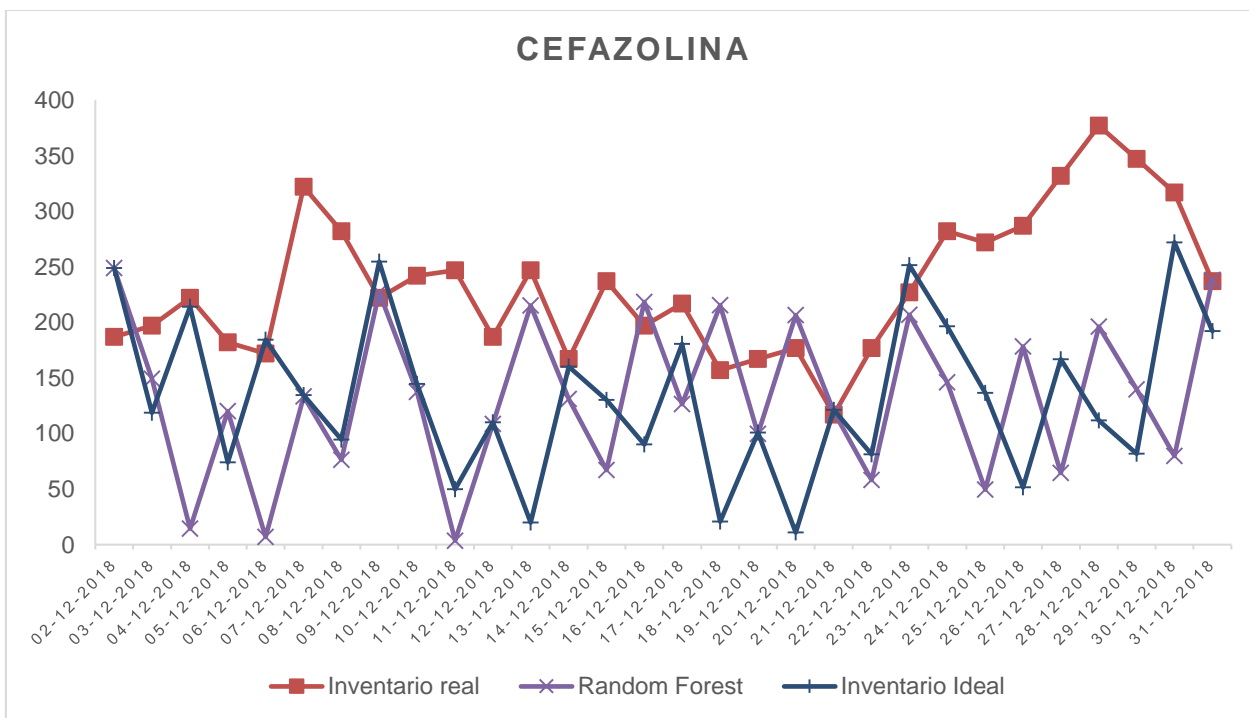
En esta sección se comprobará la eficiencia del sistema de inventario propuesto, utilizando las diferentes predicciones de la demanda durante los últimos 30 días del mes de diciembre del año 2018. Se compararán los inventarios propuestos con respecto al que se tenía realmente y el ideal según el modelo del sistema de revisión continua (demanda real conocida) y la proyección mencionada anteriormente. Para conseguir resultados acordes al estudio, se impone que el inventario propuesto comience su funcionamiento con las mismas existencias almacenadas que el inventario ideal, asumiendo la demanda del día 2 de diciembre conocida. Los gráficos obtenidos, para cada inventario mencionado anteriormente, se pueden ver a continuación para cada tipo de antibiótico.

Gráfico 15: Inventario real, ideal y propuestos para Ceftriaxona (diciembre del 2018)



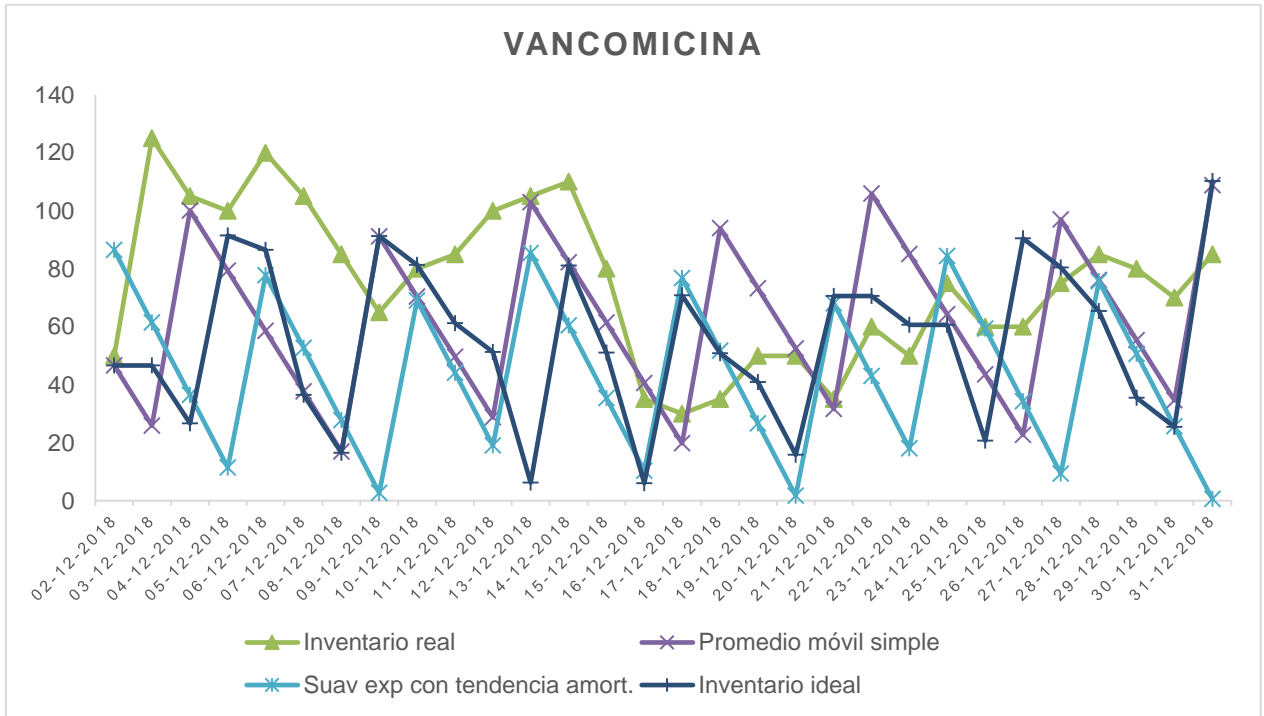
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 16: Inventario real, ideal y propuesto para Cefazolina (diciembre del 2018)



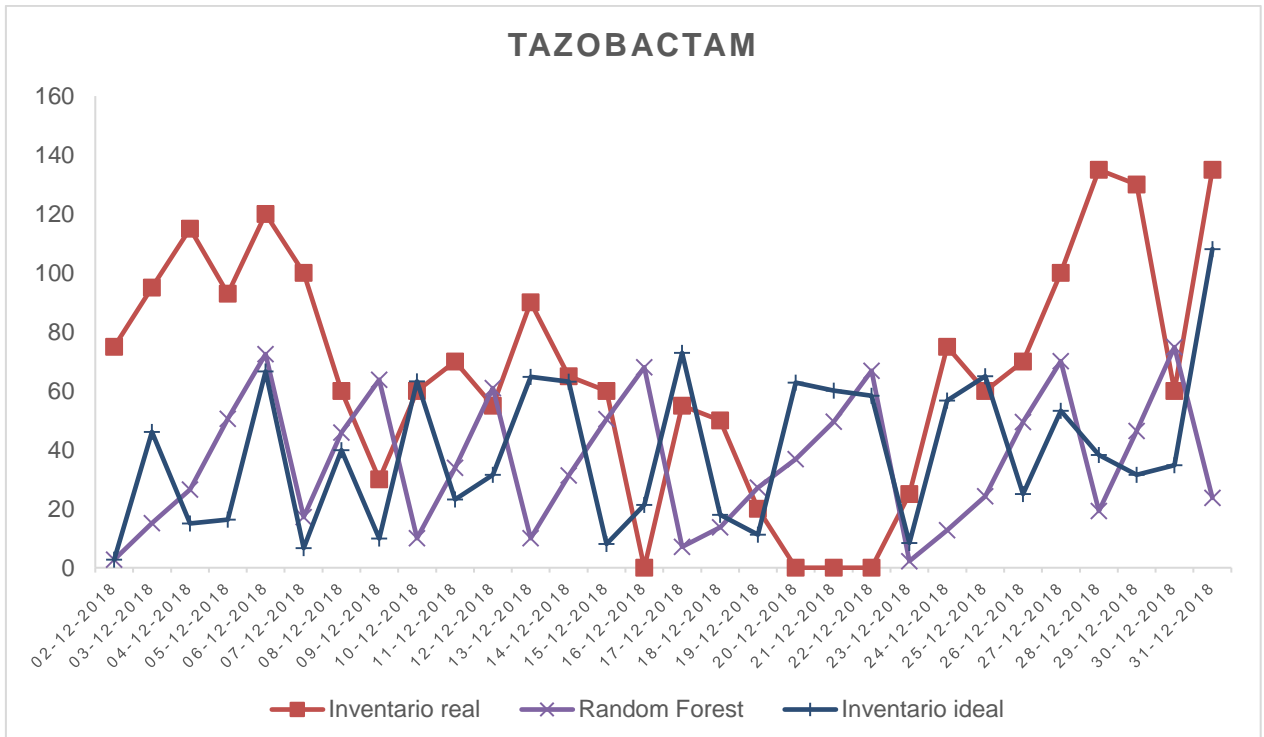
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 17: Inventario real, ideal y propuestos para Vancomicina (diciembre del 2018)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 18: Inventario real, ideal y propuesto para Tazobactam (diciembre del 2018)



Fuente: Elaboración propia.

Con estos resultados, se puede concluir que varios de los modelos propuestos mantienen un nivel de inventario estable y con menores cantidades de antibióticos almacenados (considerando el total), en comparación con la realidad que se tenía en la Central de Mezclas. Por otro lado, la gran mayoría de las propuestas obtenidas por el pronóstico, siguen tendencias similares a los que se obtienen a través del inventario ideal, teniendo una solución que se asemeja al almacenamiento óptimo de existencias.

Para facilitar la comprensión de estos resultados, se crea la siguiente tabla, la cual da a conocer porcentajes de disminución del nivel de inventario (con respecto al que se tuvo en el pasado), días de rotación de los productos almacenados, la diferencia porcentual promedio que existe entre el inventario ideal y el propuesto, su punto de reposición y la cantidad óptima a producir.

Tabla 52: Disminución del inventario, rotación de productos, punto de reposición y cantidad óptima a producir para cada tipo de antibiótico

Antibiótico	Disminución del nivel de inventario (%)	Disminución de la rotación de inventario (días)	R	Q*
Ceftriaxona	49,65%	1,40	44	85
Cefazolina	43,09%	1,11	100	220
Vancomicina	17,48%	0,63	35	95
Tazobactam	45,93%	0,54	52	76

Fuente: Elaboración propia.

El sistema de revisión continua permite que el nivel de inventario y el tiempo en que estos insumos son almacenados disminuyan considerablemente. Por otro lado, observando los puntos de reposición y las cantidades a producir, se puede concluir que la Cefazolina es el único medicamento que debe ser producido en un lote de alta magnitud, pero por consecuencia su punto de reposición también es elevado.

8.4.5. Beneficios considerando simulación

Luego de verificar la factibilidad del modelo de revisión continua, es importante analizar cuáles son los beneficios que conlleva implementar este sistema dentro de la Central de Mezclas. Para que este estudio tenga sentido, se realizará una comparación entre los costos del inventario real y el propuesto por el modelo simulado, utilizando la demanda pronosticada. Posteriormente, se realiza una proyección de los beneficios de esta propuesta para obtener las utilidades anuales de implementación. Estos cálculos serán realizados, de manera general, para el escenario en donde se tiene que el punto de reposición es el entregado por el modelo. Además, se observarán las potenciales ganancias de aumentar la producción de estos insumos y disminuir la cantidad de antibióticos estandarizados enviados en modalidad ATB a los servicios clínicos.

Por otra parte, se añadirán al análisis dos escenarios más con métricas diferentes, donde se tendrá una ponderación sobre el punto de reposición óptimo. Esto se genera con el fin de observar los beneficios de mantener un mayor nivel de inventario y proteger a la Central de Mezclas de potenciales quiebres de stock.

8.4.5.1. Costos de oportunidad de almacenamiento y sobre producción

Para poder comprobar como el inventario propuesto tiene mayores beneficios en comparación al que se tuvo realmente, es necesario analizar los costos de oportunidad que implica almacenar estas cantidades de antibióticos y, además, producir insumos que no será vendidos durante la jornada laboral estudiada. Se compararán los costos entre los inventarios dispuestos durante el mes de diciembre del 2018.

Tabla 53: Costos de oportunidad de sobre producción para inventario real y propuesto (simulación)

Antibiótico	Cantidad de sobre producción real	Costo de oportunidad de sobre producción real	Cantidad de sobre producción modelo	Costo de oportunidad de sobre producción modelo
Ceftriaxona	830	\$425.292	510	\$261.324
Cefazolina	2.530	\$1.307.605	1.320	\$682.229
Vancomicina	674	\$491.346	380	\$277.020
Tazobactam	941	\$943.560	228	\$228.858
Total	4.975	\$3.167.803	2.438	\$1.449.431

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 54: Costos de oportunidad de almacenamiento para inventario real y propuesto (simulación)

Antibiótico	Medicamentos almacenados realidad	Costo de oportunidad real	Medicamentos almacenados modelo	Costo de oportunidad modelo
Ceftriaxona	3.010	\$1.542.324	1.515	\$776.530
Cefazolina	7.000	\$3.617.880	3.983	\$1.904.170
Vancomicina	2.250	\$1.640.250	1.857	\$1.353.609
Tazobactam	2.003	\$2.008.448	1.083	\$1.085.920
Total	14.263	\$8.808.902	8.439	\$5.120.230

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados demuestran que el inventario propuesto posee menor cantidad de insumos almacenados al final de cada día (productos que no se vendieron durante la jornada laboral), ahorrando costos de producir varios antibióticos que estaban en el inventario e invertir esta suma de dinero según la tasa de interés del proyecto. Por otro

lado, el sistema de inventario propuesto también permite que la cantidad de antibióticos sobre producidos disminuya, repercutiendo en el ahorro del costo de oportunidad de crear estos insumos. En conclusión, se obtiene una reducción del 40% con respecto a los insumos almacenados y un 51% en los medicamentos sobre producidos, lo cual se traduce en un ahorro del costo de oportunidad de \$5.407.045 CLP mensuales (\$64.884.537 CLP anuales aproximadamente),

8.4.5.2. Costos por quiebres de stock

Es necesario comparar los costos, entre el inventario real y el propuesto, sobre el escenario que implica no tener los insumos necesarios para suplir la demanda de medicamentos. Durante el 2017 y 2018, la Central de Mezclas contaba con pocos escenarios de quiebres de stock, teniendo sólo 160 solicitudes no satisfechas para la Ceftriaxona y 25 para la Vancomicina, lo cual se traduce en el envío de medicamentos ATB e implica un costo igual de \$1.437.565 CLP, el cual se puede traducir en una pérdida mensual aproximada de \$60.000 CLP.

Por otro lado, difícilmente se pueden cuantificar los costos relacionados a los quiebres de stock del inventario simulado, por lo que para realizar esta comparación se tomará en cuenta que los puntos de reorden son mayores a los obtenidos por la teoría, por lo que se espera que los quiebres pasen de un 2,3% (97,7% de satisfacción de la demanda) a un 1,5% de las solicitudes reales. En la siguiente tabla se puede visualizar los potenciales costos del modelo durante los últimos 30 días de diciembre del 2018.

Tabla 55: Potenciales quiebres de stock con respecto al modelo propuesto (diciembre del 2018)

Antibiótico	Quiebres de stock	Costos por pérdida de venta
Ceftriaxona	16	\$ 176.077
Cefazolina	38	\$ 169.715
Vancomicina	9	\$ 55.608
Tazobactam	23	\$ 540.911
Total	87	\$ 942.311

Fuente: Elaboración propia.

8.4.5.3. Costos mermas

Se estima que el modelo para gestionar el inventario de antibióticos reduciría a la mitad (2,5%) el porcentaje de los antibióticos que son desechados dentro del servicio clínico. Sin embargo, como los puntos de reorden fueron modificados y aumentados en varios de estos medicamentos, con el fin de no subestimar a la demanda y tener una solución eficiente, este porcentaje se reduciría a un 1,8% del total, aproximadamente.

En la siguiente tabla se pueden visualizar los costos de las potenciales mermas que se habrían obtenido durante el mes de diciembre del 2018, tanto para el porcentaje real como también para el modelo propuesto.

Tabla 56: Potenciales mermas reales y propuestas por el modelo de gestión del inventario (diciembre del 2018)

Antibiótico	Cantidad de pérdidas reales	Costo por mermas reales	Cantidad de mermas modelo	Costo por mermas modelo
Ceftriaxona	52	\$ 570.311	20	\$ 220.262
Cefazolina	127	\$ 561.281	48	\$ 210.846
Vancomicina	34	\$ 203.144	12	\$ 72.155
Tazobactam	81	\$ 1.878.550	30	\$ 700.007
Total	293	\$3.213.285	110	\$ 1.203.271

Fuente: Elaboración propia.

8.4.5.4. Beneficios al disminuir envío de medicamentos ATB

Uno de los objetivos de esta propuesta es optimizar el tiempo de producción dentro de la Central de Mezclas e incentivar la disminución de solicitudes de frascos ATB. Si la jefatura del área sabe cuánto es la producción diaria que se posee para cada medicamento intravenoso y del personal dispuesto, entonces es posible asignar los recursos necesarios para producir antibióticos que se iban a enviar en modalidad de frascos y con esto, disminuir la posibilidad de que al paciente se le entregue un producto contaminado.

Como se mencionó anteriormente en el capítulo 10.1.7, se observan diferentes escenarios y beneficios con respecto al haber producido los medicamentos ATB clínicos dentro de la Central de Mezclas y despachar estos insumos a los servicios clínicos. Para analizar de mejor manera y recordar las ganancias que implica aumentar la producción de medicamentos intravenosos y disminuir los que son despachados en modalidad ATB, se generan dos tablas de beneficios, las cuales se encuentran en los Anexos 62 y 63, en donde la primera de ellas considera el costo temporal que implica preparar estos medicamentos ATB en los servicios clínicos, mientras que la segunda da a conocer ganancias sólo tomando en cuenta los precios y costos de cada medicamento.

Si se considera o no el costo temporal de preparar los insumos dentro de los servicios clínicos, las utilidades siempre serán positivas cuando se desee disminuir la cantidad de medicamentos ATB. Suponiendo el escenario en donde se realicen 50 preparaciones intravenosas mensuales para cada medicamento de modalidad ATB, se obtiene un beneficio total mensual de \$759.750 CLP, sin considerar el costo temporal. Si se considera el tiempo perdido, se obtiene una ganancia de \$1.235.950 CLP.

8.4.5.5. Diferentes escenarios

Debido a que los pronósticos de la demanda no son 100% exactos en su resultado, se realizarán tres escenarios con diferentes puntos de reposición, con el fin de brindar mayor seguridad al nivel del inventario y analizar la rentabilidad de estas situaciones, considerando el punto de reorden óptimo (R^*) obtenido por la proyección de dos años en el futuro. Los escenarios seleccionados tienen los siguientes niveles de reposición: R^* , $1,5R^*$ y $2R^*$. Cabe destacar, que mientras que el punto de reorden aumenta su magnitud, entonces las pérdidas y quiebres de stock disminuirán su porcentaje. Por lo tanto, se estima que estos valores disminuirán en un 0,8% el segundo escenario, para luego tener una magnitud igual a 0,5% cuando el punto de reorden es el doble del original. Los costos de oportunidad de almacenamiento y sobre producción se pueden observar a continuación.

Tabla 57: Costos de oportunidad del inventario real y propuesto (diciembre del 2018), considerando punto de reposición igual a $1,5R^*$

Antibiótico	Costo de oportunidad de sobre producción	Costo de oportunidad de sobre producción modelo	Costo de oportunidad almacenamiento real	Costo de oportunidad almacenamiento modelo
Ceftriaxona	\$425.292	\$391.986	\$1.542.324	\$1.081.408
Cefazolina	\$1.307.605	\$1.250.753	\$3.617.880	\$3.958.502
Vancomicina	\$491.346	\$484.785	\$1.640.250	\$1.769.139
Tazobactam	\$943.560	\$686.573	\$2.008.448	\$1.619.922
Total	\$3.167.803	\$2.814.097	\$8.808.902	\$8.428.971

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58: Costos de oportunidad del inventario real y propuesto (diciembre del 2018), considerando punto de reposición igual a $2R^*$

Antibiótico	Costo de oportunidad de sobre producción	Costo de oportunidad de sobre producción modelo	Costo de oportunidad almacenamiento real	Costo de oportunidad almacenamiento modelo
Ceftriaxona	\$425.292	\$479.094	\$1.542.324	\$1.429.840
Cefazolina	\$1.307.605	\$1.250.753	\$3.617.880	\$4.588.245
Vancomicina	\$491.346	\$484.785	\$1.640.250	\$2.046.159
Tazobactam	\$943.560	\$1.220.575	\$2.008.448	\$2.230.209
Total	\$3.167.803	\$3.435.207	\$8.808.902	\$10.294.454

Fuente: Elaboración propia.

Con estos resultados, se obtiene un ahorro total mensual de **\$733.675 CLP** cuando $R = 1,5R^*$ y de **-\$1.752.955 CLP** para el caso en donde el punto de reorden es el doble. Por lo tanto, se puede concluir que sólo en el segundo escenario es rentable en términos

de ahorros en costos de oportunidades, descartando la opción de tener un mayor punto de reorden. A pesar de esto, se darán a conocer los beneficios totales para los 3 casos mencionados, analizando las utilidades positivas relacionadas a cada uno de ellos.

8.4.5.6. Beneficios totales

En la siguiente tabla, se tomarán en cuenta todos los montos mencionados dentro de esta sección, con el fin de comparar los costos entre el inventario dispuesto dentro de la Central de Mezclas y el propuesto, considerando todos los escenarios y utilizando los datos obtenidos con respecto al mes de diciembre del 2018.

Tabla 59: Costos mensuales relacionados al inventario real y los propuestos, para cada tipo de escenario y el mes de diciembre del 2018

Tipo de costo	Inventario real	Inventario propuesto (R*)	Inventario propuesto (1,5R*)	Inventario propuesto (2R*)
Costos de oportunidad sobre producción	\$3.167.803	\$1.449.431	\$2.814.097	\$3.435.207
Costos de oportunidad almacenamiento	\$8.808.902	\$5.120.230	\$8.428.971	\$10.294.454
Quiebres de stock	\$60.000	\$942.311	\$439.745	\$314.104
Costos mermas	\$3.213.285	\$1.203.271	\$686.161	\$343.080
Preparar 50 medicamentos ATB	\$0	\$-759.750	\$-759.750	\$-759.750
Total	\$15.249.990	\$7.955.492	\$11.609.224	\$13.627.094

Fuente: Elaboración propia.

Para el escenario base, en donde el punto de reposición es igual al óptimo (R*), se observa que el inventario propuesto, a pesar de contar con costos más elevados con respecto a los quiebres de stock, sigue siendo la opción con mayor rentabilidad, teniendo una diferencia de \$7.294.498 CLP mensuales con el inventario real de diciembre del 2018, lo cual se traduce en un ahorro o beneficio total anual de \$87.533.976 CLP.

Por otra parte, en el escenario en donde se tiene un punto de reposición igual a 1,5R*, se obtiene un ahorro mensual igual a \$3.604.766 CLP y un potencial beneficio anual de \$43.689.187 CLP, lo cual demuestra que, a pesar de ser un escenario con mayor nivel de inventario, sigue siendo lo suficientemente rentable a implementar dentro de la Central de Mezclas.

Para el caso en donde el punto de reposición corresponde al doble del óptimo, se obtiene un ahorro mensual de \$1.622.895 CLP, lo cual corresponde a utilidades anuales

iguales a \$19.474.745 CLP. Las utilidades de este escenario, además de ser las menos rentables entre los casos analizados, dependen significativamente de la cantidad de antibióticos ATB preparados durante el mes de diciembre, por lo que sus resultados poseen un grado de incertidumbre con respecto a las potenciales ganancias de este escenario.

Se recomienda optar por el escenario en donde los puntos de reorden o reposición son los mismos que se obtuvieron a través de la proyección de dos años en el futuro, los cuales logran minimizar los costos de oportunidad en un 50%.

8.5. Orden de producción

Para tener una producción eficiente de antibióticos estandarizados, es necesario contar con una metodología para reconocer cuál debe ser el orden de producción de estos insumos, con el fin de que los productos se generen en el plazo estipulado. Para crear este orden de producción, se recurre a la regla de la razón crítica¹⁵, la cual corresponde al cociente entre el tiempo restante de entrega y de producción. Mientras menor sea el valor de este indicador (conocido como “*critical ratio*”), mayor será su prioridad dentro de la cadena de productos a producir.

Antes de entregar los resultados para cada uno de los insumos estudiados, cabe destacar que, lamentablemente, no se poseen datos con respecto a los tiempos de producción del Ceftriaxona, por lo que se estima que este será el tiempo promedio de toda la producción de medicamentos.

Tomando en cuenta que todos los productos se despachan cada 12 horas (720 minutos) a los servicios clínicos, los tiempos de producción por medicamento y de etiquetado, se obtiene la siguiente tabla de resultados.

Tabla 60: Razón crítica y orden de producción de antibióticos estandarizados preparados en la Central de Mezclas

Antibiótico	Promedio de producción por insumo (min)	Promedio de etiquetado por insumo (min)	Indicador de razón crítica	Orden de producción
Tazobactam	1,513	0,231	3.117	6
Vancomicina	1,742	0,368	1.957	4
Ceftriaxona	1,13	0,389	1.851	3
Cefazolina	0,653	0,312	2.308	5
Clindamicina	0,713	0,481	1.497	1
Cefotaxima	1	0,475	1.516	2

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos afirman el orden de producción que debe seguir la Central de Mezclas al producir antibióticos estandarizados, tendiendo en primer lugar la Clindamicina, luego la Cefotaxima, Ceftriaxona, Vancomicina, Cefazolina y, por último, el Tazobactam.

¹⁵ Administración de operaciones. Quinta edición. Roger G. Schroeder, Susan Meyer Goldstein, M. Johnny Rungtusanatham. (2011)

9. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN PARA LOS PROBLEMAS DE GESTIÓN

Considerando todos los problemas identificados y analizados en la Central de Mezclas, es necesario entregar propuestas de solución para atacar dificultades con respecto a la gestión que se tiene dentro del área, con el objetivo de que los modelos propuestos sean utilizados a su máxima capacidad productiva.

9.1. Personal encargado de la producción de antibióticos estandarizados y jornadas de producción

Uno de los problemas más críticos que existe dentro de la Central de Mezclas tiene relación con la cantidad de personal disponible para producir antibióticos. Para solucionar esto, se propone contratar mayor cantidad de personal y aumentar a dos jornadas laborales de producción diarias, con la condición de que disminuya la cantidad de insumos ATB enviados a los servicios clínicos y aumente, significativamente, la producción de antibióticos intravenosos.

Es necesario que cuatro personas se encarguen de producir estos antibióticos por jornada laboral, teniendo una entrada de 2 empleados durante el comienzo de del día y otra posterior a la hora de colación, con el resto de los trabajadores. Esta propuesta tiene por objetivo respetar el ICC (el cual indica que un trabajador solo puede ingresar a producir 4 horas diarias por jornada laboral) y aumentar el tiempo de uso de la cabina de seguridad biológica. El personal designado a producir estos antibióticos puede ir rotando y ser reemplazados por otros miembros de la Central de Mezclas, pero cada vez que se realice un ingreso a la cámara, es indispensable que uno de los integrantes del grupo sea un Químico Farmacéutico.

Si se considera que actualmente 14 personas se encuentran trabajando en la Central de Mezclas, se realiza una entrada diaria para preparar antibióticos estandarizados (días hábiles) y, en la gran mayoría de los escenarios, ingresan dos Técnicos a producir estos insumos, entonces resulta la siguiente tabla de costos de contratación de personal, los cuales son necesarios para obtener una producción eficiente de antibióticos estandarizados. Estos resultados están basados en el objetivo de duplicar las entradas diarias y aumentar la cantidad de Químicos Farmacéuticos (salario líquido de \$1.100.000 CLP mensuales) para realizar la labor correspondiente.

Tabla 61: Costos mensuales y anuales de contratar nuevo personal

Personal contratado	Costo mensual (CLP)	Costo anual (CLP)
1 QF	\$1.100.000	\$12.100.000
2 QF	\$2.200.000	\$24.200.000
3 QF	\$3.300.000	\$36.300.000

Fuente: Elaboración propia.

Se marca en azul el escenario esperado de contratación de personal, permitiendo que las entradas a la Central de Mezclas se realicen de manera adecuada, contando con trabajadores que posean las habilidades necesarias para obtener el producto final.

9.2. Personal encargado de monitoreo y administración dentro de la Central de Mezclas

Para que las actividades productivas dentro de la Central de Mezclas funcionen de manera eficiente y coordinada con los modelos propuestos, es de vital importancia tener un empleado que cuente con habilidades necesarias para monitorear y administrar al personal dispuesto a producir tanto antibióticos, como también los insumos destinados a nutrición parenteral, oncología y fraccionamiento. Esta labor debería ser realizada por el/la jefe/a de Farmacia, pero debido a que esta persona debe asistir a una gran cantidad de reuniones con la gerencia del Hospital Clínico, entonces no se tendría un control y monitoreo real al no encontrarse presencialmente dentro del área de producción.

Por estas razones, queda propuesto contratar nuevo personal para realizar estas actividades o bien, reasignar y capacitar al personal dispuesto en el área, con el fin de monitorear constantemente y dar indicaciones claras de cómo debe ser la producción diaria dentro de la Central de Mezclas.

Por otro lado, se propone que este nuevo cargo sea el principal encargado de utilizar los modelos de gestión de inventario propuestos y monitorear el almacenamiento de antibióticos estandarizados, con el fin de que se cumplan los parámetros entregados y se entregue la información al personal de producción de manera periódica e inmediata. Para poder cumplir esto, el personal seleccionado debe manejar conocimientos básicos del software Excel.

Este rol de monitorear, el cual es fundamental para mantener un inventario eficiente de insumos, idealmente debería ser realizado por el Químico Farmacéutico encargado de la Central de Mezclas o bien, alguien que sea parte del equipo y que se considere que posee las habilidades necesarias para llevar a cabo esta labor. Es recomendable que el personal seleccionado sepa herramientas avanzadas del software Excel, con el fin de solucionar problemas inesperados dentro de la base de datos. El costo de esta propuesta es realizar una capacitación al personal encargado, la cual tiene un monto promedio de \$120.000 CLP¹⁶ por persona.

9.3. Ambiente laboral

Como se mencionó anteriormente, uno de los principales problemas dentro de la Central de Mezclas es el ambiente laboral que existe actualmente, en donde trabajadores incurren en maltratos psicológicos hacia sus compañeros. Estos hechos ocurren, generalmente, cuando un empleado joven interactúa con otro que posee mayor experiencia laboral pero menores conocimientos farmacéuticos.

¹⁶ Costo promedio de cursos en herramientas avanzadas de Excel, los cuales se imparten en diferentes universidades de la capital.

Una propuesta de solución para atacar este conflicto es que se realicen actividades mensuales o semanales entre los miembros de la Central de Mezclas, con el fin de que estas personas se conozcan entre sí, compartiendo un momento agradable con sus pares, ya sea durante la hora de colación o bien, luego de la jornada laboral. Una idea es celebrar, una vez al mes, los cumpleaños que tuvieron lugar durante este periodo de tiempo. Esta solución logrará que los Químicos Farmacéuticos y Técnicos de nivel superior logren conocerse fuera del ambiente laboral y crear amistades que no se habrían formado mientras producían insumos dentro de Farmacia.

Para implementar esta propuesta, se investiga la opción de poder contratar una compañía externa que posea experiencia en solucionar problemas con respecto al ambiente laboral dentro de la Red de Salud UC CHRISTUS. Estos montos rondan los \$50.000 CLP por persona¹⁷, por lo que, contando el personal dispuesto en la Central de Mezclas y realizar una capacitación cada 2 meses, significaría un costo mensual de \$700.000 CLP y anual de \$4.200.000 CLP.

9.4. Comunicación con los servicios clínicos

Uno de los problemas que dificulta la disminución de medicamentos ATB enviados a los servicios clínicos es el poco manejo de información que poseen los empleados de los pisos del Hospital Clínico con respecto a las actividades o productos generados dentro de la Central de Mezclas, repercutiendo en solicitudes de medicamentos en modalidad de frascos y preparaciones peligrosas en el piso donde el paciente se encuentra en recuperación.

Una propuesta de solución, que ataca directamente este problema, es la de crear boletines semanales informativos, los cuales tendrán la misión de notificar a la/el digitadora/o de piso, TENS, enfermeros/as y médicos sobre los códigos de los productos disponibles en la Central de Mezclas, cuanta es su capacidad de producción diaria e incentivar la disminución de solicitudes de antibióticos ATB.

Con el fin de que esta propuesta se puesta en marcha de manera eficiente, es necesario que alguien del personal de la Central de Mezclas sepa como utilizar el software Adobe Photoshop. Las clases presenciales, para aprender a usar este programa, tienen un valor monetario de \$320.000 CLP¹⁸, contando con 6 sesiones académicas.

9.5. Tabla de resumen económica de propuestas

Con el fin de sintetizar la información entregada anteriormente, se crean la siguiente tabla con los costos mensuales y anuales de cada una de las propuestas mencionadas, incluyendo una inversión necesaria para realizar estas actividades, la cual será igual a los beneficios obtenidos por el sistema recomendado de control de inventario, mencionado en el capítulo 8.

¹⁷ Información recolectada de “Empresas GP”, los cuales realizan cursos para aumentar la calidad de vida laboral en empresas externas. [<https://www.empresasgp.cl/capacitacion-laboral-empresas.html>]

¹⁸ Curso de Adobe Photoshop en empresa “E-BROWN”. [<https://escuelabrown.com/producto/curso-photoshop1/>]

Por otra parte, se sugiere que la empresa invierta en contratar a 2 Químicos Farmacéuticos, con el fin de tener una producción eficiente y el personal necesario para producir medicamentos que iban a ser enviados en modalidad ATB.

Tabla 62: Tabla resumen de costos mensuales y anuales de propuestas, considerando ahorros en costos de inventario

Propuesta	Costo mensual (CLP)	Costo anual (CLP)
Contratar 2 QF	-\$2.200.000	-\$26.400.000
Curso Excel avanzado	-\$120.000	-\$120.000 (curso se paga solo una vez)
Ambiente laboral	-\$700.000	-\$4.200.000
Boletines informativos	-\$320.000	\$320.000 (curso se paga solo una vez)
Inversión (ahorro costos de inventario)	\$7.294.498	\$87.533.976
Total	\$3.954.498	\$56.493.976

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados demuestran que las propuestas mencionadas son rentables cuando se realiza una inversión de **\$31.040.000 CLP**, por lo que el ahorro de costos de inventario supliría esta necesidad.

10. CONCLUSIONES

A continuación, se presentarán las principales conclusiones del trabajo realizado en la Farmacia del Hospital Clínico de la Red de Salud UC CHRISTUS, considerando los objetivos planteados antes de obtener las propuestas de solución, analizando su cumplimiento y la rentabilidad que traerán estas herramientas a la Central de Mezclas.

Con los resultados y propuestas que se han obtenido a lo largo de toda la investigación, se espera que los procedimientos para producir, despachar y almacenar antibióticos estandarizados mejoren significativamente, asegurando que el paciente reciba un producto de alta calidad. Por otro lado, es indispensable que Farmacia solucione sus problemas de comunicación entre sus áreas y trabajadores con la misma urgencia que se atacará la gestión de productos almacenados, ya que el modelo no podrá funcionar a su máxima capacidad si es que no se cuenta con una gestión y un ambiente laboral aceptable.

Los objetivos de este trabajo se han cumplido en su totalidad, permitiendo que la sobre producción de antibióticos disminuya en, al menos, un 49%, considerando todos los medicamentos y escenarios propuestos. Por otro lado, se espera que el modelo de gestión de inventario permita satisfacer todas las solicitudes de antibióticos preparados, tomando en cuenta los inventarios de seguridad para cada uno de estos medicamentos, con el fin de enfrentar anomalías de la demanda dentro de las jornadas laborales. Además, la gestión del inventario logrará disminuir, significativamente, los días de rotación de inventario para cada uno de los antibióticos estudiados, eliminando el escenario de pérdida de insumos por vencimiento.

A pesar de que los modelos para pronosticar la demanda de antibióticos preparados y ATB no son 100% exactos con la realidad, se obtienen resultados con un porcentaje aceptable y escenarios con inventarios rentables que poseen mayores puntos de reposición que el óptimo, permitiendo disminuir los errores que entregan estos modelos.

Los sistemas de inventario propuestos son lo suficientemente rentables para que la empresa logre tomar en cuenta la posibilidad de contratar nuevo personal dentro de la Central de Mezclas y así, preparar medicamentos intravenosos que iban a ser enviados en modalidad de frasco a los servicios clínicos. Además, al tener una mejor noción de cuanto es lo que se necesita producir para cada jornada laboral, el personal del área contará con mayor cantidad tiempo y las herramientas necesarias para realizar la labor de disminuir los insumos ATB enviados.

Es necesario destacar estos puntos de reorden y las cantidades óptimas a producir, luego de haber realizado una proyección de dos años en el futuro y modificar estos valores para no subestimar la demanda real de antibióticos. A modo de recordatorio, se presenta en la siguiente tabla los puntos de reorden obtenidos en la teoría y los recomendados, para cada uno de los medicamentos. Cabe recalcar que los Q no fueron modificados debido a que estos se encuentran cerca de la capacidad límite de producción en la Central de Mezclas.

Tabla 63: Tabla con puntos de reposición teóricos y propuestos para cada antibiótico

Antibiótico	R teórico	R propuestos
Ceftriaxona	38 unidades	44 unidades
Cefazolina	87 unidades	100 unidades
Vancomicina	26 unidades	35 unidades
Tazobactam	50 unidades	52 unidades

Fuente: Elaboración propia.

Este trabajo da constancia de que a la Farmacia del Hospital Clínico aún le queda un largo camino por recorrer para producir y almacenar antibióticos estandarizados sin tener problemas de stock o de personal, pero las herramientas y soluciones propuestas harán que sea posible llegar al escenario en donde se propicie un ambiente laboral cómodo, una producción eficiente de antibióticos y un almacenamiento de productos que permita satisfacer la demanda de medicamentos sin hacer que la empresa incurra en costos innecesarios.

El alumno desea destacar los aprendizajes que tuvo durante este trabajo realizado en la Red de Salud UC CHRISTUS, tales como lograr conocer el funcionamiento del sistema de salud privada dentro del país, sus dificultades diarias y entendiendo que los conocimientos que ha conseguido durante su vida universitaria pueden ser de utilidad dentro de rubros desconocidos para él. Por otro lado, se desea enfatizar la importancia de las habilidades comunicativas, integradas por el alumno, para interactuar con empleados que se dedican al área de salud, ya que la gran mayoría de las veces existen conceptos médicos difíciles de comprender para el público en general.

Es importante destacar la importancia de cuestionar todos los procedimientos que existen dentro del área en donde se está realizando el estudio, analizando en detalle las actividades que se llevan a cabo, conociendo a las personas que son parte del sector productivo y encontrando fallas del sistema que no son posibles de observar a simple vista.

11. BIBLIOGRAFÍA

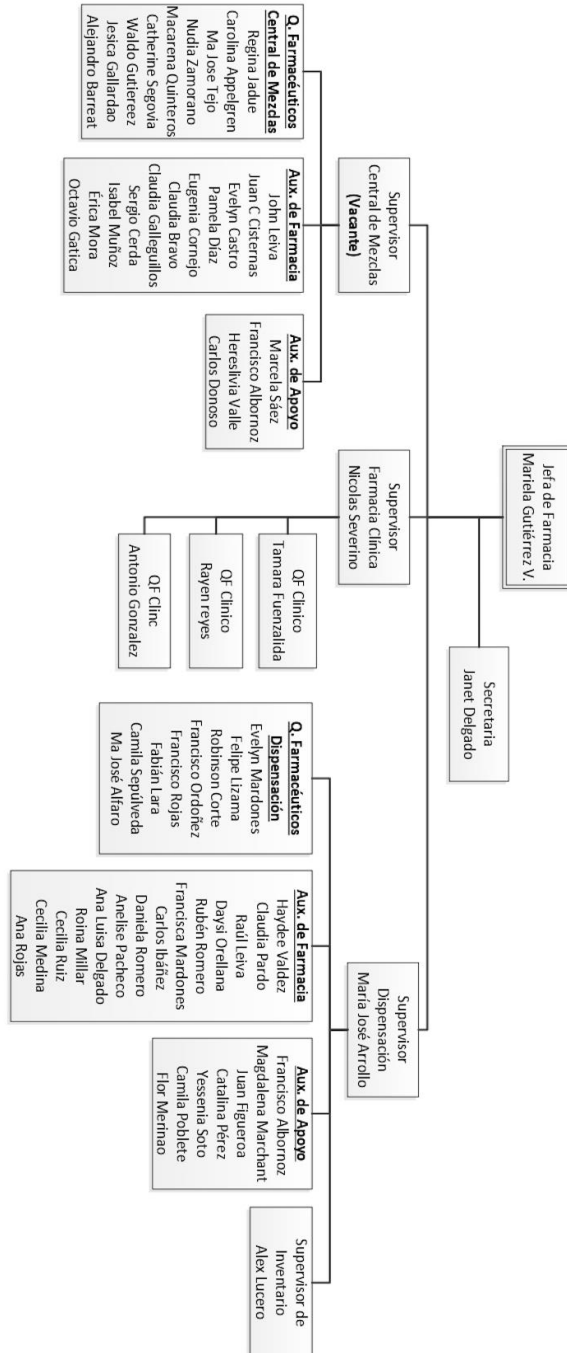
- [1] *Administración de operaciones, Producción y Cadena de Suministros. Duodécima edición.* Richard B. Chase, F. Robert Jacobs y Nicholas J. Aquilano. (2009)
- [2] *Gestión de Operaciones. Capítulo: Pronóstico de Demanda. Curso IN4703 dictado en Ingeniería Civil Industrial. Universidad de Chile* (2013)
- [3] *Modelo de predicción de demanda de camas para el Hospital Clínico de la red de salud UC CHRISTUS. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial.* José Tomás Budet Barros. (2019)
- [4] *Metodología de estimación de demanda para productos tecnológicos. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial.* Cristian Enrique Morales Olavarría. (2009)
- [5] *Forecasting for Global Health: New Money, New Products & New Markets.* Neelam Sekhri. (2006)
- [6] *Forecasting. Indiana University Kelley School of Business.* James D. Blocher, Vincent A. Mabert. Ashok K. Soni. (2004)
- [7] *Evaluación del consumo de antimicrobianos en 15 hospitales chilenos. Comité de Antimicrobianos de la Sociedad Chilena de Infectología y Centros colaboradores.* (2013)
- [8] *Historia de los antibióticos.* Waldo H. Belloso. (2009)
- [9] *Potential risk and prevention, part 4: Reports of significant adverse drug events.* William N. Kelly. (2001)
- [10] *Rediseño de la gestión del stock de medicamentos de la farmacia de un hospital público. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial.* Catalina del Pilar Faune Pinto. (2016)
- [11] *Informe de precios de prestaciones, medicamentos e insumos. Super intendencia de salud.* (2016)
- [12] *Ethnographic study of incidence and severity of intravenous drug errors.* Katja Taxis, Nick Barber. (2006)
- [13] *Forecasting at Scale.* Sean J. Taylor, Benjamin Letham. (2017)
- [14] *An Introductory Study on Time Series Modeling and Forecasting.* R. K. Agrawal (2008).
- [15] *Problem of data analysis and forecasting using binomial threes method.* T.I. Lytvynenko (2016).

[16] *Narrowing the Gap: Random Forests in Theory and in Practice.* Misha Denil, David Matheson, Nando de Freitas (2014).

[17] *Administración de operaciones. Quinta edición.* Roger G. Schroeder, Susan Meyer Goldstein, M. Johnny Rungtusanatham. (2011)

12. ANEXOS

Anexo 1: Estructura organizacional del área de farmacia. Información obtenida por jefa de Farmacia.



Anexo 2: Servicios clínicos que envían solicitudes a la farmacia de dispensación.
Elaboración propia.

Centro de referencia	Servicio Clínico
740	SERVICIO PENSIONADO GENERAL
741	SERVICIO DE MATERNIDAD
750	SERVICIO DE MEDICINA
751	SERVICIO CIRUGÍA GENERAL 4º PISO
754	SERVICIO TORAX
756	SERVICIO PEDIATRÍA
757	SERVICIO MULTIPENSIONADO (2º PISO)
760	SERVICIO RECUPERACIÓN 3º PISO
761	SERVICIO RECUPERACIÓN 6º PISO
764	UNIDAD CORONARIA
765	UNIDAD NEONATOLOGÍA
767	UNIDAD CUIDADOS PEDIATRÍA
769	UNIDAD PACIENTES CRÍTICOS
774	SERVICIO INTERMEDIO MÉDICO
925	CONTROL NUEVO PENSIONADO UC
650	UNIDAD DE PROC NEFRALÓGICOS
770	PABELLÓN 1º PISO
771	PABELLÓN 3º PISO CIRUGÍA
772	PABELLÓN 6º PISO
781	SERVICIO KINESIOLOGÍA HOSPITAL
795	SERVICIO PENSIONADO TRANSITORRIO TORRE
972	MÉDICO QUIRÚRGICO 2º ED
973	MÉDICO QUIRÚRGICO 4º B
974	MÉDICO QUIRÚRGICO 5º B
975	MÉDICO QUIRÚRGICO 4º C
976	PREOPERATORIO

Anexo 3: Formulario físico de inventario utilizado por central de mezclas.
Información recopilada por Químico Farmacéutico.

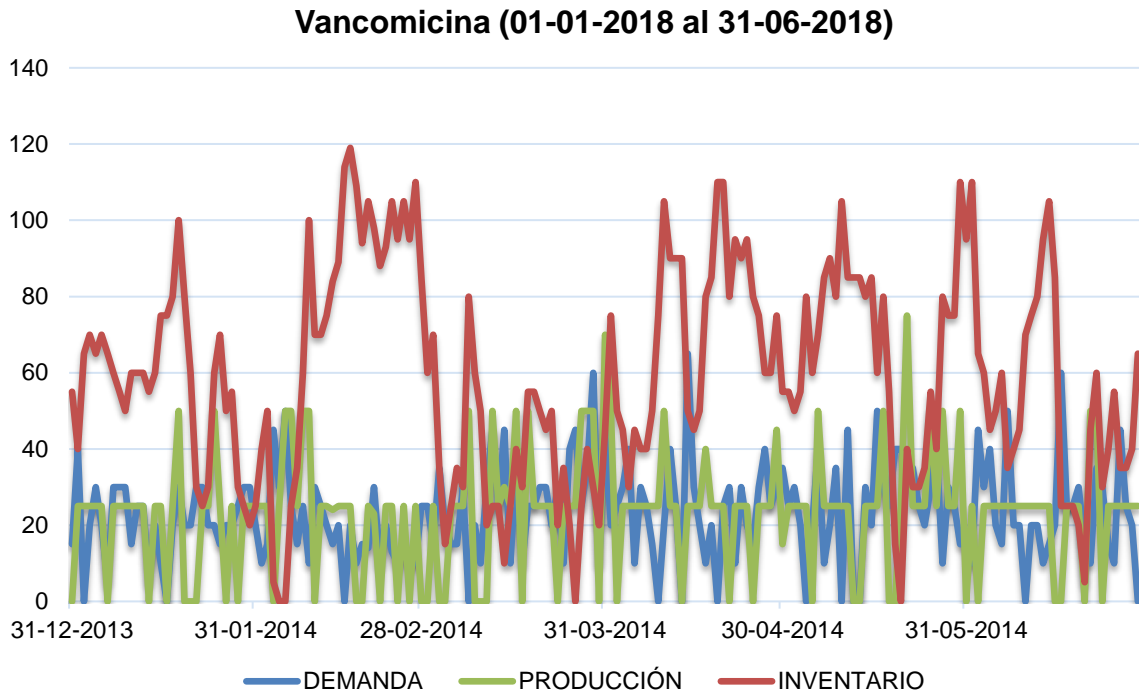
INVENTARIO PREPARACIONES GRIFILL BODEGA 4

FECHA: 28-04-2018

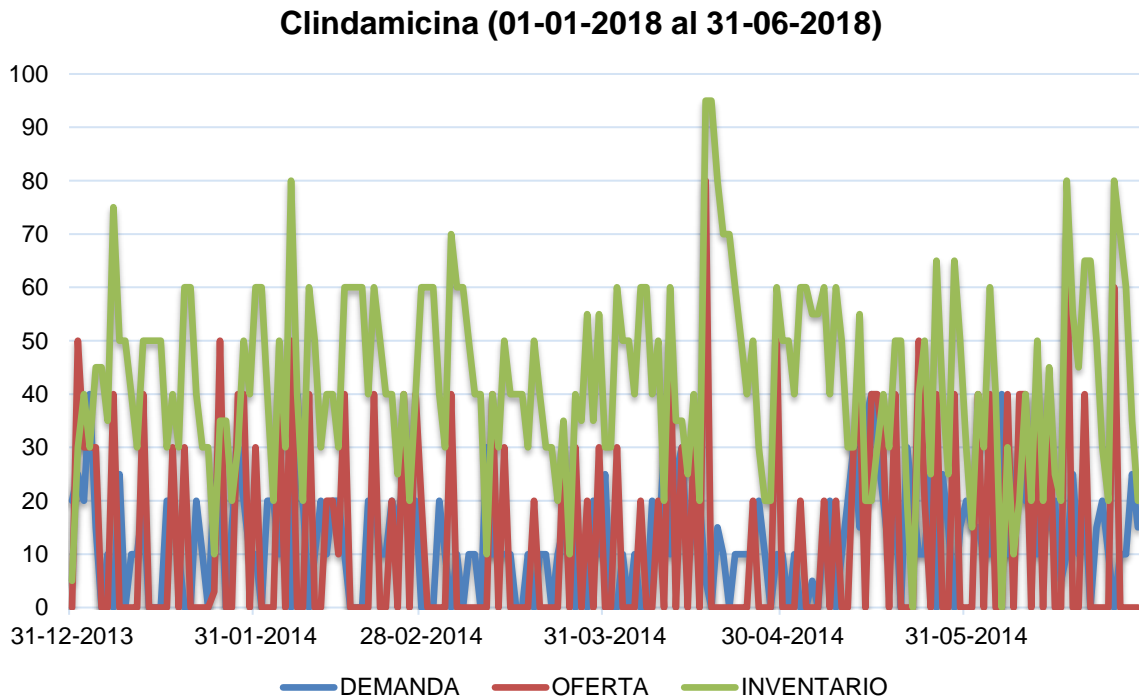
CÓDIGO	MEDICAMENTO	STOCK FÍSICO	BAJAS	STOCK ABA	DIFERENCIA
FZ0001	CEFAZOLINA 1G/25ML SF	2801 (105 PR)		385	+10
FZ0002	CEFOTAXIMA 1G/20ML SF	130		120	+10
FZ0007	CEFTRIAJONA 1G/25ML SF	70		70	✓
FZ0008	VANCOMICINA 1 G/100 ML SG5%	60		60	✓
FZ0010	CLINDAMICINA 600MG/ 100ML SF	50		45	+5
FZ0012	PIPERAC./TAZOBACTAM 4,5 G/50 ML SG 5%	200		200	✓
FZ0044	HEPARINA 2500UI/ 250ML SF	40		40	✓
FZ0045	KETOROLACO 90 mg/250ml SF	0		0	✓
FZ0046	KETOROLACO 90mg +TRAMAL 300 MG 250ML SF	0		0	✓
FZ0047	KETOROLACO 30 MG/20ML SF	270			
FZ0073	BUPIVACAINA 0,0625 % EN 100 ML DE SF	0		0	✓
FZ0076	SUERO FISIOLÓGICO 10ML JER.	275		275	✓
FZ0077	OXITOCINA 30UI/ 500 ML SG5%	21		21	✓
FZ0078	SULFATO MAGNESIO 5 Gr/ 250ML SG5%	2		2	✓
FZ0079	SULFATO MAGNESIO 32,5 Gr/500ml SG5%	2		2	✓
FZ0080	BUPIVACAINA 100MG/100ML SF	0		0	✓
FZ0093	SUERO FISIOLÓGICO 15ML	921		921	✓
FZ0094	HEPARINA 125UI/5ML SF	86		86	✓
FZ0095	HEPARINA 500UI/5ML SF	20		20	✓
FZ0096	HEPARINA 100 UI/100 ML SF	35		35	✓
FZ0099	KETOROLACO 60MG/ 10ML SF	0		0	✓
FZ0100	ATROPINA 100 UG/ML x 10 ML SF.	0		45-45	✓
FZ0101	FENILEFRINA 100 UG/ML x 20 ML SF.	83		108-25	✓
FZ0102	LIDOCAINA 100 mg/ 5ml	110		140-30	✓
FZ0103	DEXAMETASONA 4 mg/ml	115		115	✓
FZ0104	SUERO FISIOLÓGICO 9ML	940 + 50 + 40		1030	✓
FZ0105	EFEDRINA 5 MG/ML X 10 ML SF	100		125-25	✓
FZ0107	KCL 4G + MGSO4 2,5G/250ML SG5%	10		10	✓
FZ0109	KCL 3G+MGSO4 1,25G / 500 ML SG5%	1		1	✓
FZ0120	NOREPINEFRINA 4 MG EN 125 ML DE SF	5		5	✓
FZ0121	NOREPINEFRINA 8 MG EN 250 ML DE SG 5%	10		10	✓
FZ0122	NOREPINEFRINA 16 MG EN 250 ML DE SG 5%	0		0	✓
FZ0123	NOREPINEFRINA 16 MG EN 250 ML DE SF	0		0	✓
FZ0124	NOREPINEFRINA 32 MG EN 250 ML DE SG 5%	0		0	✓
SM	VANCOMICINA 1 G/100 ML SG5%	-			
SM	HEPARINA 125UI/5ML X 500 ML SF	-			
SM	HEPARINA 500UI/5ML X 500 ML SF	121			
SM	FENILEFRINA 100 UG/ML x 500 ML SF.	150 (28-04)			
SM	EFEDRINA 5 MG/ML X 500 ML SF	150 (28-04)			
SM	KETOROLACO	-			
SM	SF 2850 ML				

QF RESPONSABLE: *Ma José Rojas*

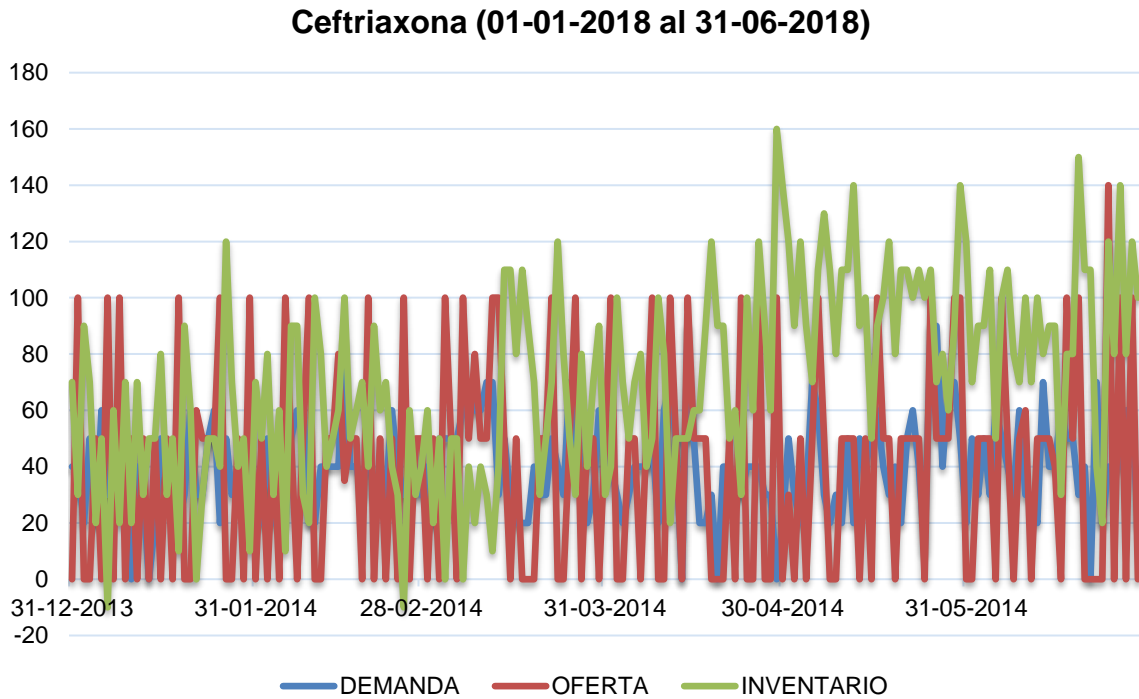
Anexo 4: Demanda, producción e inventario de Vancomicina durante el primer semestre del 2018. Elaboración propia.



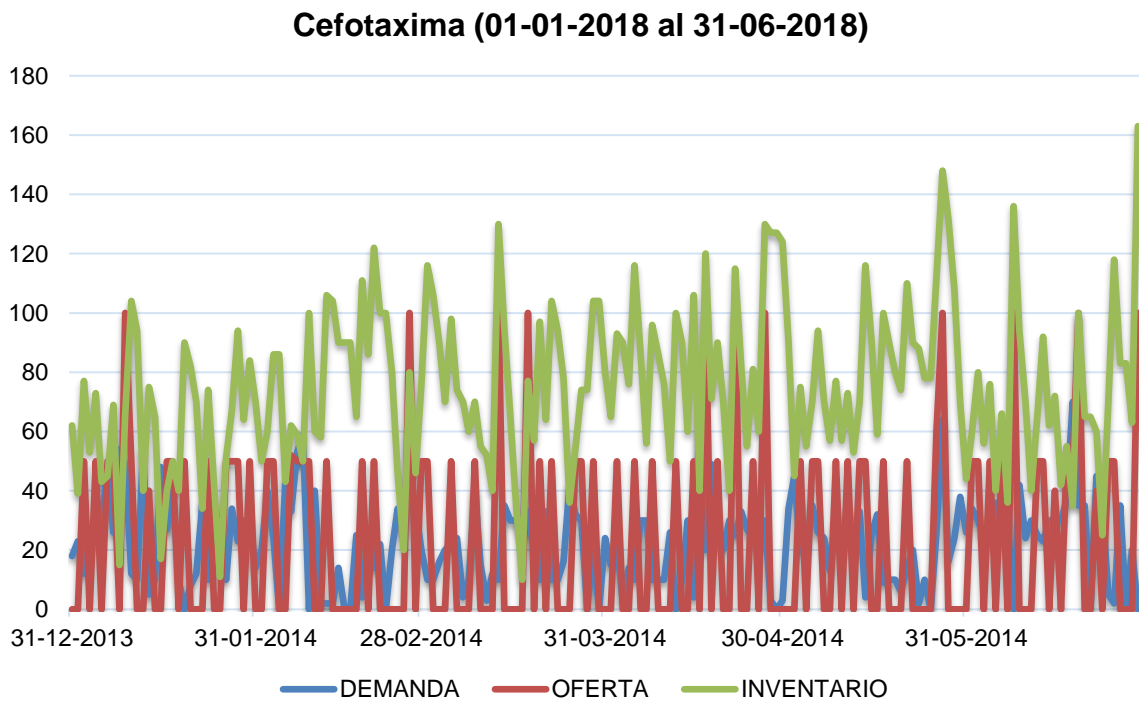
Anexo 5: Demanda, producción e inventario de Clindamicina durante el primer semestre del 2018. Elaboración propia.



Anexo 6: Demanda, producción e inventario de Ceftriaxona durante el primer semestre del 2018. Elaboración propia.



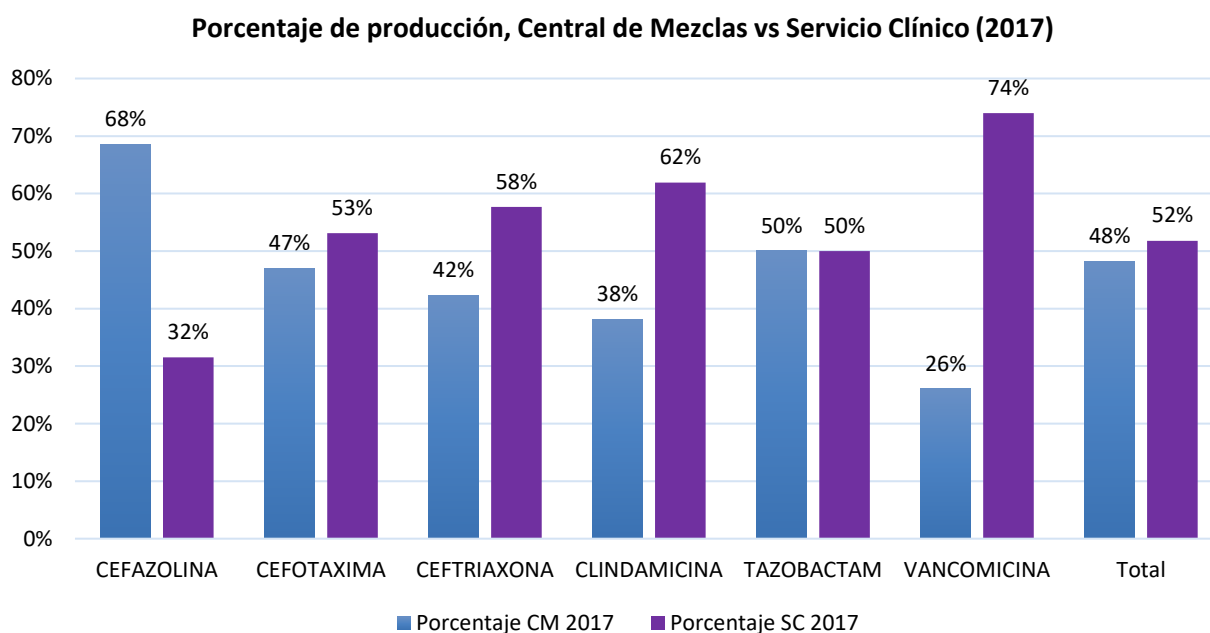
Anexo 7: Demanda, producción e inventario de Cefotaxima durante el primer semestre del 2018. Elaboración propia.



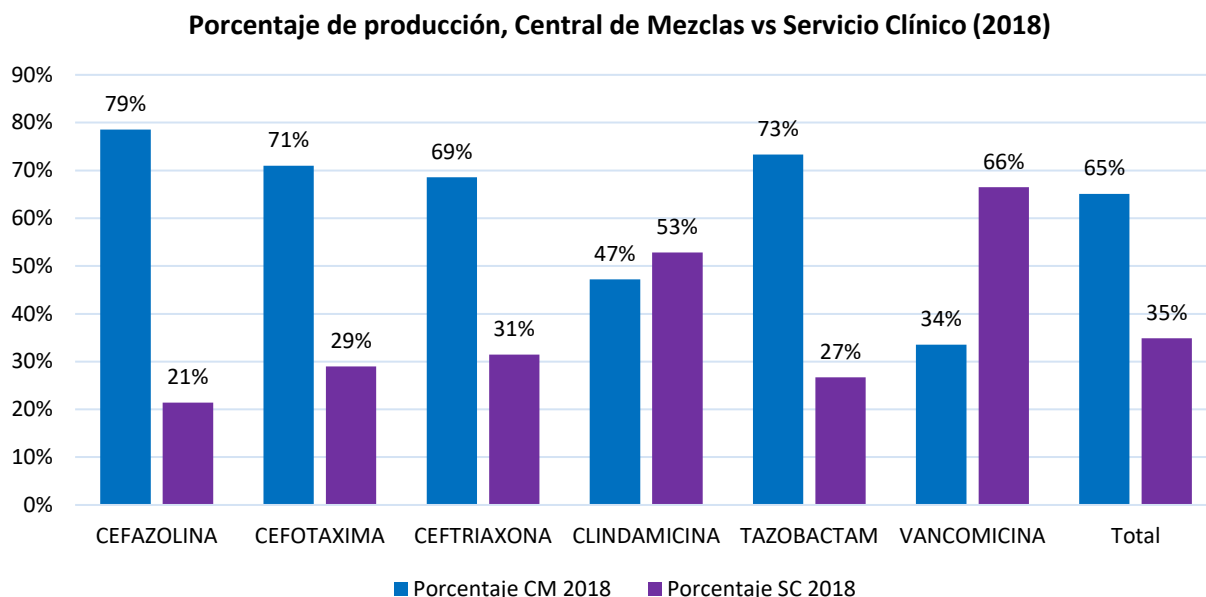
Anexo 8: Diferencia entre la demanda de antibióticos estandarizados ATB (2017 y 2018). Elaboración propia.

Antibiótico	Demanda 2017	Demanda 2018	Diferencia porcentual
Cefazolina	13.505	9415	-30%
Cefotaxima	6.413	3143	-51%
Ceftriaxona	14.166	6213	-56%
Vancomicina	22.363	17219	-23%
Clindamicina	5.492	4393	-20%
Tazobactam	15.161	7842	-48%
Total	77.100	48225	-37%

Anexo 9: Porcentaje de frascos solicitados por los servicios clínicos y la producción de la central de mezclas durante el 2017. Elaboración propia.



Anexo 10: Porcentaje de frascos solicitados por los servicios clínicos y producidos por la Central de Mezclas durante el 2018. Elaboración propia.



Anexo 11: Diferencia entre antibióticos enviados en formato ATB y preparados de la Central de Mezclas durante el 2019. Elaboración propia.

DESCRIPCIÓN DEL ARTÍCULO	Demanda 2019 CM	Demanda 2019 SC	Total de insumos	Porcentaje demanda 2019 CM	Porcentaje demanda 2019 SC
CEFAZOLINA	7.154	16.680	23.834	30%	70%
CEFOTAXIMA	439	4.678	5.117	9%	91%
CEFTRIAXONA	50	11.518	11.568	0%	100%
VANCOMICINA	3.759	9.265	13.024	29%	71%
CLINDAMICINA	1.440	3.247	4.687	31%	69%
TAZOBACTAM	9.095	7.594	16.689	54%	46%
Total	21.937	52.982	74.919	29%	71%

Anexo 12: Modelos de pronóstico a utilizar, mostrando sus características y sus fórmulas respectivas. Elaboración propia.

Pronóstico	Fórmula o procedimiento	Características
Promedio móvil simple	$A_t = \frac{D_{t-1} + D_{t-2} + \dots + D_{t-N}}{N}$ $A_t = F_t$	Este método de pronóstico es útil cuando la demanda de un producto no crece ni baja con una rapidez significativa y no posee características estacionales.
Promedio móvil ponderado	$F_{t+1} = W_t * D_t + \dots + W_{t-N+1} * D_{t-N+1}$ $\sum_{i=t-N+1}^t W_i = 1$	Método es similar al anterior, pero permite asignar importancias o pesos a cada uno de los elementos que se encuentran en la base de datos, siempre y cuando la suma de todas las ponderaciones sea igual a 1.
Suavización exponencial simple	$F_t = F_{t-1} + \alpha(D_{t-1} - F_{t-1})$	Formulación sencilla. No se requiere un gran volumen de datos históricos para pronosticar. Mayor precisión por ser un modelo exponencial.
Suavización exponencial con tendencia	$PT_{t+1} = F_t + T_t$ $F_t = \alpha D_t + (1 - \alpha)(F_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \delta(F_t - F_{t-1}) + (1 - \delta)T_{t-1}$	Similar al anterior, pero se integra una constante de tendencia para mejorar el pronóstico. Funciona de mejor manera cuando la estacionalidad de los datos es constante.
Suavización exponencial con tendencia amortiguada¹⁹	$PT_{t+1} = F_t + (\varphi T_t + \varphi^2 T_{t-1} + \dots + \varphi^n T_{t-n})$ $F_t = \alpha D_t + (1 - \alpha)(F_{t-1} + \varphi T_{t-1})$ $T_t = \delta(F_t - F_{t-1}) + (1 - \delta)\varphi T_{t-1}$	Útil cuando se estima que la tasa de crecimiento histórica desaparecerá o será modificada luego de cierto periodo de tiempo.
Suavización exponencial con estacionalidad	$PE_{t+1} = \frac{F_t}{R_{t-L+1}}$ $F_t = \alpha \frac{D_t}{R_{t-L}} + (1 - \alpha)F_{t-1}$ $R_t = \gamma \frac{D_t}{F_t} + (1 - \gamma)R_{t-L}$	Se integra la estacionalidad a los datos, pero sin considerar la tendencia de estos. Tendencia debe ser constante. Se necesitan datos para que estacionalidad.
Holt-Winters	$PTE_{t+1} = (F_t + T_t)R_{t-L+1}$ $F_t = \alpha \frac{D_t}{R_{t-L}} + (1 - \alpha)(F_{t-1} + T_{t-1})$ $R_t = \gamma \frac{D_t}{F_t} + (1 - \gamma)R_{t-L}$ $T_t = \delta(F_t - F_{t-1}) + (1 - \delta)T_{t-1}$	Este modelo considera el nivel, estacionalidad y tendencia de los datos históricos, por lo que aumenta la precisión del pronóstico.

¹⁹ Características de los modelos de espacio de estado de innovaciones, con aplicaciones. Blaconá M.T., L. Andreozzi (2012).

<p>Holt-Winters con tendencia amortiguada</p>	$PTE_{t+1} = (F_t + (\varphi T_t + \varphi^2 T_t + \dots + \varphi^n T_t))R_{t-L+1}$ $F_t = \alpha \frac{D_t}{R_{t-L}} + (1 - \alpha)(F_{t-1} + \varphi T_{t-1})$ $R_t = \gamma \frac{D_t}{F_t} + (1 - \gamma)R_{t-L}$ $T_t = \delta(F_t - F_{t-1}) + (1 - \delta)\varphi T_{t-1}$	<p>Útil cuando se estima que la tasa de crecimiento histórica desaparecerá o será modificada luego de cierto periodo de tiempo. Mayor precisión al ser un modelo exponencial.</p>
<p>Prophet²⁰</p>	$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon_t$ $g(t) = \frac{C(t)}{1 + \exp(-(k + a(t)^\tau \delta)(t - (m + a(t)^\tau \gamma))$ $s(t) = \sum_{n=1}^N (a_n \cos\left(\frac{2\pi nt}{P}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi nt}{P}\right))$ $h(t) = Z(t)k$	<p>Útil para realizar un pronóstico diario, semanal o anual. Prophet considera tanto la tendencia (diaria, semanal y anual), como la estacionalidad y fechas importantes (feriados) dentro de su pronóstico. También considera cambios históricos bruscos en la tendencia de los datos.</p>
<p>ARIMA(p,d,q)²¹</p>	$\varphi(L)(1-L)^d y_t = \theta(L)\epsilon_t, i. e.$ $(1 - \sum_{i=1}^p \varphi_i L^i)(1-L)^d y_t = (1 - \sum_{j=1}^q \varphi_j L^j)\epsilon_t$	<p>Tiene por objetivo describir la autocorrelación de los datos. Útil para predecir en el corto plazo. Rápidos de construir. Deficientes para predecir momentos de cambios temporales. Horizonte de pronóstico pequeño.</p>
<p>Regresión lineal</p>	$\text{Mín} \sum_i (\hat{y}_i - y_i)^2 = \sum_i (a + b_i x_i - y_i)^2$ $a = \frac{\sum_i y_i}{n} - b_i \frac{\sum_i x_i}{n}$ $b_i = \frac{n \sum_i y_i x_i - [(\sum_i x_i)(\sum_i y_i)]}{n \sum_i x_i^2 - (\sum_i x_i)^2}$	<p>Revela información acerca de los roles de las variables dependientes que afectan a la independiente. Agiliza la toma de decisiones. Las variables dependientes elegidas deben afectar el comportamiento de la independiente.</p>
<p>Arboles binomiales²²</p>	$\text{Mín} \sum_i (\hat{y}_i - y_i)^2 = \sum_i (a + b_i x_i - y_i)^2$	<p>Utiliza regresión lineal, un nodo inicial y probabilidades para encontrar el escenario más favorable para la función objetivo. Fácil de entender y rápido encontrando variables dependientes que influyen en la independiente. Resultados pueden estar sobre ajustados y no es recomendable para variables continuas.</p>

²⁰ Forecasting At Scale. Sean J. Taylor and Benjamin Letham (2017).

²¹ An Introductory Study on Time Series Modeling and Forecasting. R. K. Agrawal (2008).

²² Problem of data analysis and forecasting using binomial trees method. T.I. Lytvynenko (2016).

Random forest ²³	$\text{Mín} \sum_i (\hat{y}_i - y_i)^2 = \sum_i (a + b_i x_i - y_i)^2$	Combinación de árboles de decisión, independientes y dependen de un valor aleatorio. Útil cuando se posee una base de datos grande. No excluye variables. Sobre ajusta ciertos grupos de datos. Difícil de implementar.
-----------------------------	--	---

Anexo 13: Indicadores de errores de pronóstico, con su respectiva fórmula y características. Elaboración propia.

Indicador	Fórmula	Características
Error absoluto de la media (MAD)	$\frac{\sum_{i=1}^N \varepsilon_t }{N}$	Mide la dispersión del error de pronóstico. Medición del tamaño de error en unidades. Simple y útil al obtener señales de muestreo.
Error absoluto porcentual de la media (MAPE)	$\frac{\sum_{i=1}^N \frac{ \varepsilon_t }{A_t}}{N}$	Fácil interpretación. Permite comparar errores de pronósticos a escalas distintas. Mide la desviación en términos porcentuales.
Raíz del error cuadrático de la media (RMSE)	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\varepsilon_t)^2}{N}}$	No se indefine con ciertos valores de la demanda. Fácil interpretación. Mide el error de la raíz cuadrática de la media.
Error cuadrático de la media (MSE)	$\frac{\sum_{i=1}^N (\varepsilon_t)^2}{N}$	Útil para periodos con desviaciones pequeñas. Medida de dispersión del error de pronóstico.
Error absoluto medio (MAE)	$\frac{\sum_{i=1}^N \varepsilon_t }{N}$	Mide el tamaño del error (en valor absoluto) en términos porcentuales. Fácil interpretación. Entrega información relevante cuando los datos poseen alta dispersión.

²³ Narrowing the Gap: Random Forests In Theory and In Practice. Misha Denil, David Matheson, Nando de Freitas (2014).

Anexo 14: Sistemas de inventario con sus respectivas ecuaciones y características principales. Elaboración propia.

Sistema de inventario	Ecuación	Características
Modelo de cantidad de pedido fija (EOQ)	$\min(TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H)$ $Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2DS}{iC}}$ $R = \frac{\sum_{i=1}^n D_t}{n} L$	Demanda del producto es constante y uniforme. Tiempo de entrega, costos de pedido y precio son constantes.
Modelo de revisión continua (Q)	$\min(TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H)$ $Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2DS}{iC}}$ $R = \frac{\sum_{i=1}^n D_t}{n} L + z\sigma_L$	Demanda no es constante. Inventario irá decayendo hasta llegar al punto de reposición (R). Se debe considerar que la probabilidad de la demanda posee una distribución normal.
Modelo de revisión periódica (P)	$\min(TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H)$ $Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2DS}{iC}}$ $R = \frac{\sum_{i=1}^n D_t}{n} (P + L) + z\sigma_{P+L} - I$	Demanda aleatoria y registros periódicos. Inventario de seguridad más alto que el modelo Q. No existe un punto de reorden, utiliza un inventario objetivo.

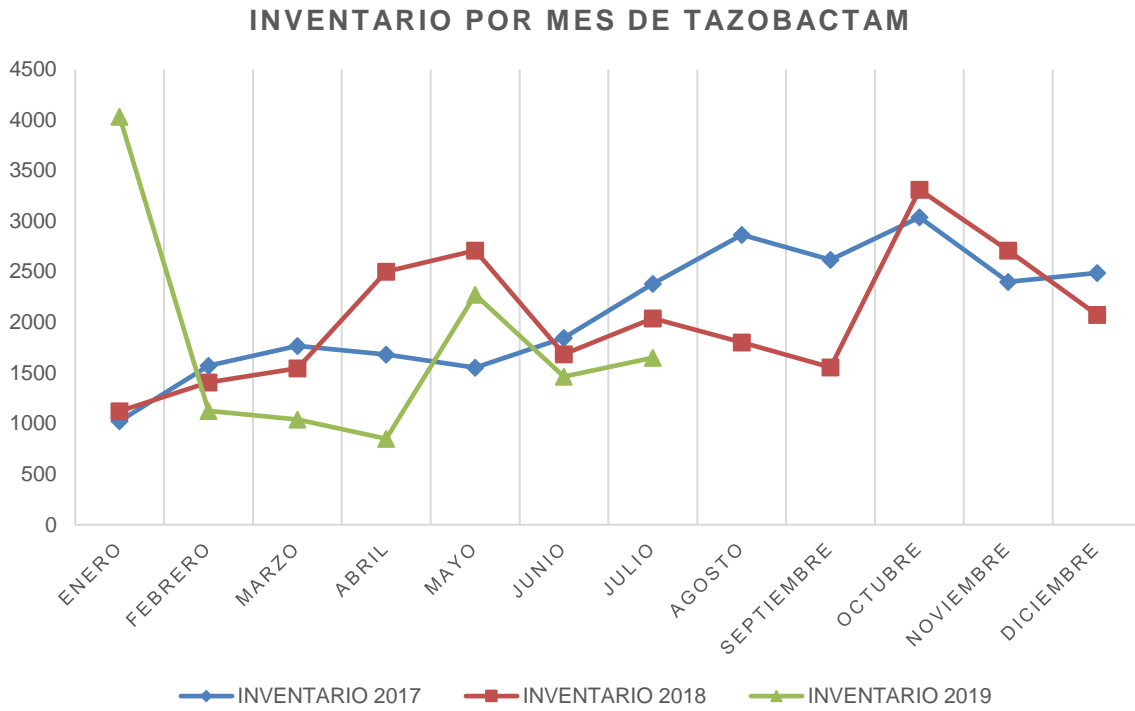
Anexo 15: Bitácora de problemas. Elaboración propia.

Bitácora de problemas en la Central de Mezclas				
Número	Observación	Causa	Posibles soluciones	Hora
1	Buenas relaciones entre trabajadores	Música y comunicación efectiva	-	11:00 am
2	Químicos farmacéuticos jefes se encuentran en la central de mezclas	Poco personal dispuesto a realizar preparación	Aumentar personal y logística, para que al menos uno de ellos este fuera de la central	11:35 am
3	Medicamentos se dejan encima del mesón y se van acumulando los pedidos	Poca logística con respecto a la recepción de medicamentos o insumos para	Implementar encargado para recibir insumos que llegan desde dispensación	11:39

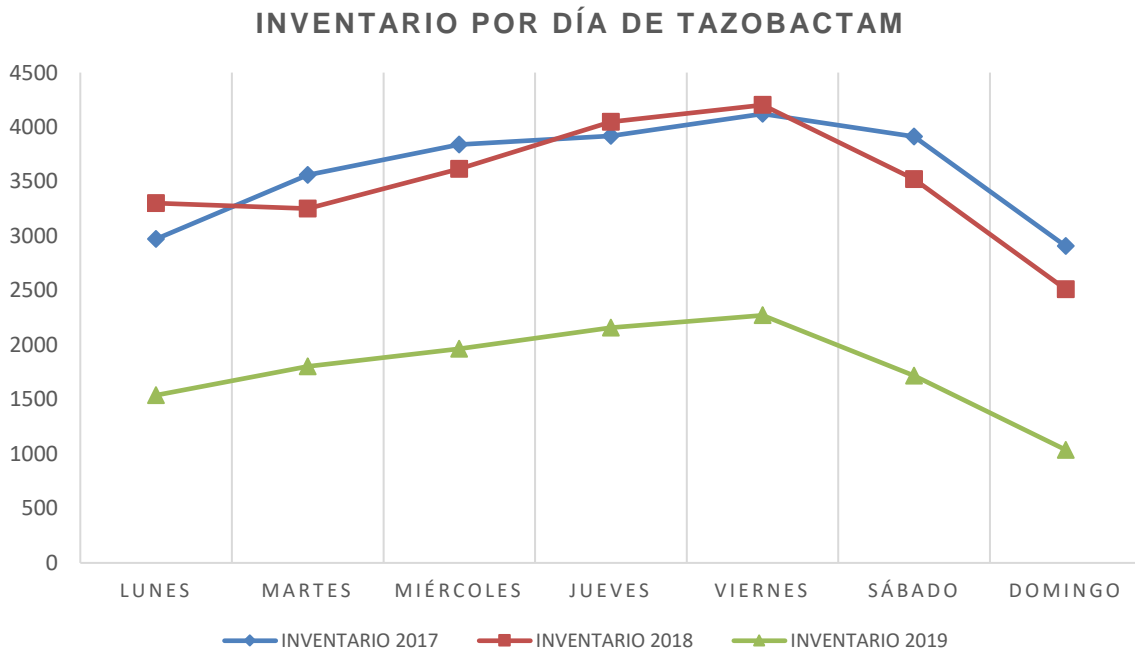
		realizar preparaciones		
4	Papeleo excesivo en el lugar de trabajo de la Central de Mezclas	Falta digitalización de documentos y recetas médicas	Implementar sistema en pisos que digitalice estos documentos	11:50
5	5 personas fuera de la central de mezclas, con mucho trabajo administrativo	Falta de personal	Contratar mayor cantidad de QF y Técnicos	11:50
6	Solicitudes de pisos llegan a través de llamadas telefónicas	Falta de sistema para comunicarse directamente con la central de mezclas	Implementación de software interconectado entre SC y CM	11:53
7	Un Técnico no se encuentra trabajando fuera de la CM	Falta de tareas u obligaciones para personas que no deben estar en cámara	Asignar trabajos para solucionar problemas fuera de cámara o bien, entrar a preparar medicamentos	12:01
8	Nadie se encuentra en el área de CM (fuera de cámara)	Falta de jefes en este sector	Distribuir bien los tiempos para tener a un encargado fuera de cámara	12:02
9	Sigue habiendo solo 5 trabajadores fuera de la cámara	-	-	12:10
10	Pedidos de nutrición parenteral y oncología se hacen a través de llamados directos a la CM, los cuales necesitan aprobación de jefatura	Falta de sistema para comunicarse directamente con la central de mezclas	Sistema que le permita a la jefatura recibir pedidos y aprobar de manera inmediata	12:16
11	Trabajadores salen agotados de la cámara de preparación	Falta de personal	Contratar mayor cantidad de QF y Técnicos	12:18
12	Personal no sabe si es que se encuentran disponibles insumos para suplir algunas solicitudes	Falta de reportes o información sobre inventario que se posee en CM	Tener a alguien que comunique y que este pendiente de la cantidad de los insumos o preparaciones listas que posee la CM. También puede ser un sistema que se vaya actualizando sistemáticamente y que entregue información sobre el inventario de la CM	12:24
13	No hay agua caliente para el lavado de manos durante la mañana	Falta de presión	-	12:35
14	La gran mayoría de los QF se encuentran corriendo de un lado para otro para gestionar diferentes tareas	Falta de personal y nuevos sistemas para realizar todo online	Implementar sistema online entre SC y CM	12:58
15	Dos químicos farmacéuticos trabajando fuera de CM	Personal en almuerzo no coordinado o gestionado logísticamente para que no se tenga falta de personal	Coordinar almuerzos para que no falte personal en CM	13:10

16	Se realiza entrega de insumos y no existe personal para recibirlo en la CM	Falta de personal por almuerzo	Coordinar almuerzos para que no falte personal en CM	13:25
17	Malos tratos por parte de un QF a un Técnico de nivel superior que no hizo aviso de una tarea a realizar	Mal temperamento del QF y pocas habilidades comunicativas	Tener a un superior que se encargue de moderar la conversación entre las diferentes entidades de la central	13:35
ALMUERZO				
18	4 QF trabajando en el sector de la CM (fuera de cámara) y realizando papeleo	Falta de personal	Contratar mayor cantidad de QF y técnicos	14:36
19	Solo se encuentran en la oficina de CM las QF jefas, pero todo el personal se encuentra almorzado	Mala logística con respecto a los horarios de descanso	Coordinar almuerzos para que no falte personal en CM	15:24
20	Solo hay una jefa QF y nadie más del personal	Falta personal para gestionar	Contratar mayor cantidad de QF y técnicos	15:34
21	Mesa de trabajo con remedios sin despachar y documentación física desordenada	Falta de productividad y orden	Organizar de manera eficiente los datos que poseen, ya que las hojas físicas se pueden perder fácilmente. Por otro lado, es necesario controlar personal para despachar estos medicamentos a pisos y que no queden botados	15:37
22	Poca información sobre el inventario que se posee en la CM	Sistema no entrega cantidad real que existe en inventario	Tener a un encargado de actualizar constantemente el inventario o bien, que el inventario cuente con sistema integrado para medir inventario	15:46
23	Retirada	-	-	16:00

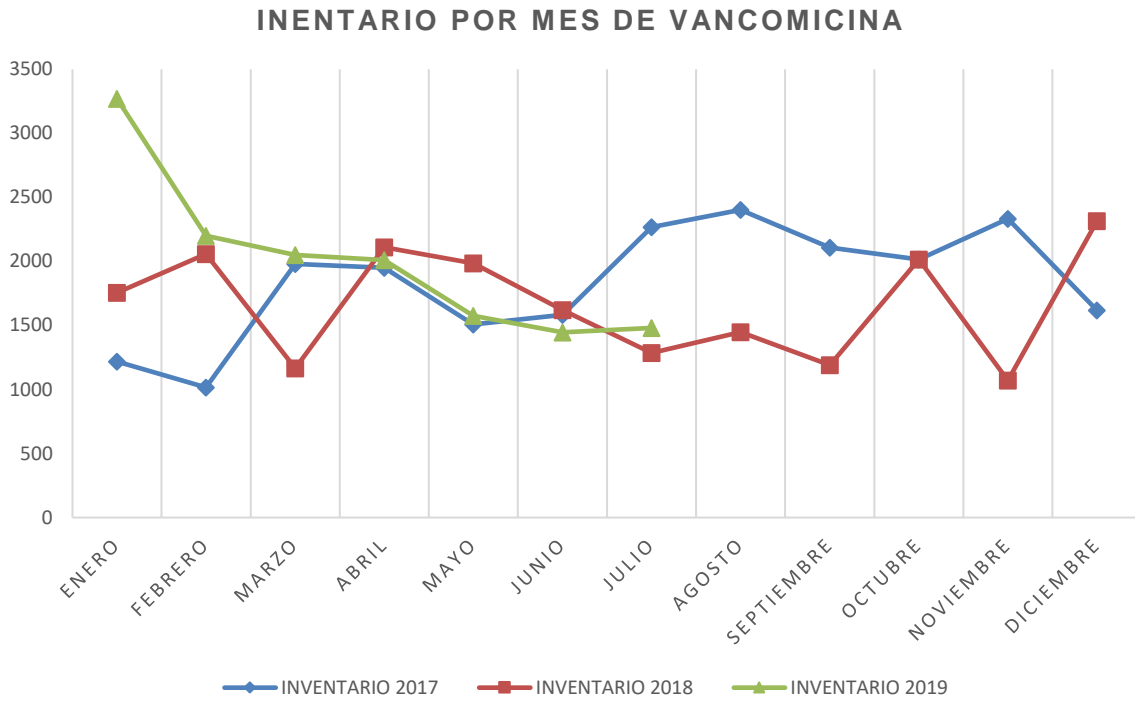
Anexo 16: Inventario por mes de Tazobactam durante el 2017, 2018 y 2019. Elaboración propia.



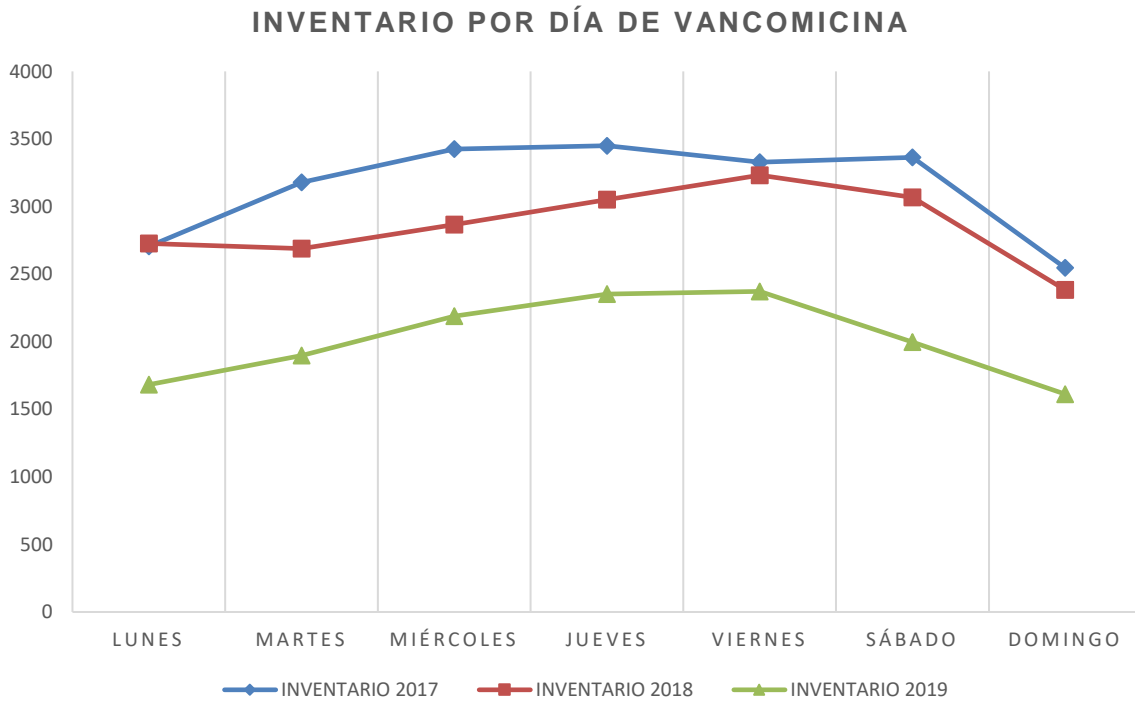
Anexo 17: Inventario por día de Tazobactam durante el 2017, 2018 y 2019. Elaboración propia.



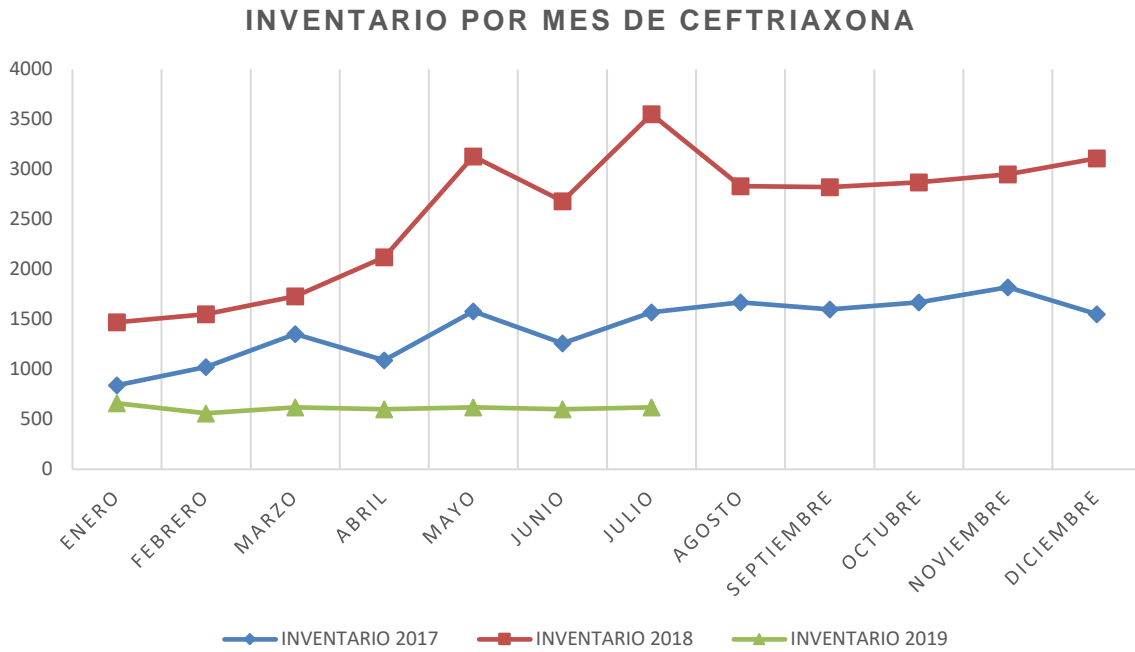
Anexo 18: Inventario por mes de Vancomicina durante el 2017, 2018 y 2019. Elaboración propia.



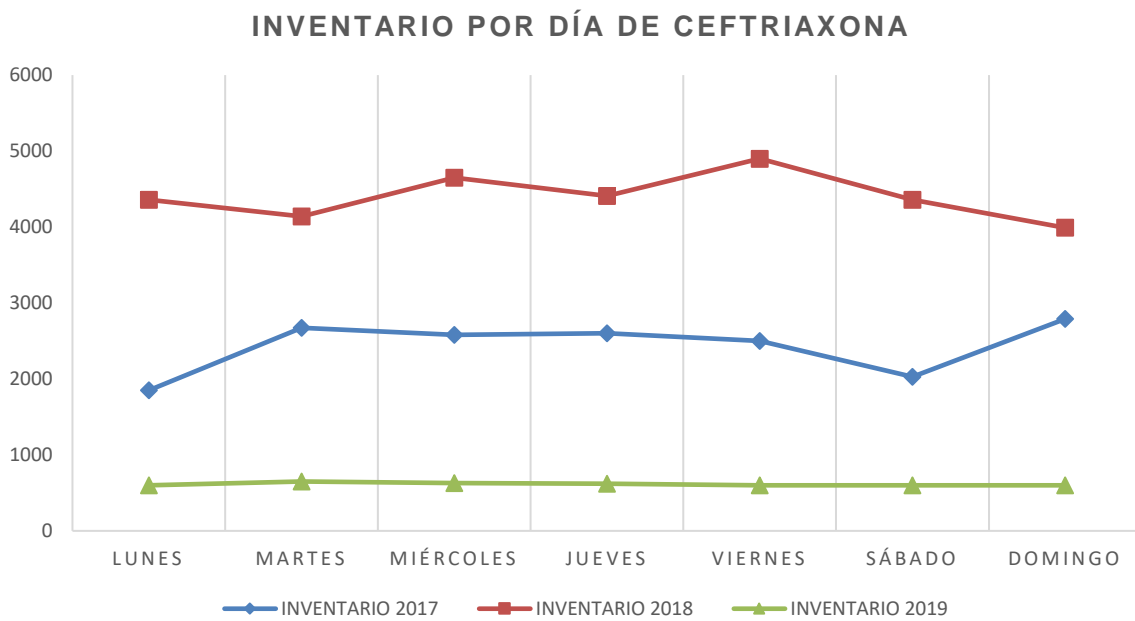
Anexo 19: Inventario por día de Vancomicina durante el 2017, 2018 y 2019. Elaboración propia.



Anexo 20: Inventario por mes de Ceftriaxona durante el 2017, 2018 y 2019. Elaboración propia.



Anexo 21: Inventario por día de Ceftriaxona durante el 2017, 2018 y 2019. Elaboración propia.



Anexo 22: Lotes de producción de Clindamicina, incluyendo su frecuencia y porcentaje acumulado. Elaboración propia.

Lote producido	Frecuencia	% acumulado
0	667	70,73%
20	95	80,81%
40	63	87,49%
30	55	93,32%
50	27	96,18%
10	10	97,24%
60	10	98,30%
5	4	98,73%
25	3	99,05%
70	3	99,36%
15	1	99,47%
35	1	99,58%
45	1	99,68%
65	1	99,79%
80	1	99,89%
100	1	100,00%

Anexo 23: Lotes de producción de Ceftriaxona, incluyendo su frecuencia y porcentaje acumulado. Elaboración propia.

Clase	Frecuencia	% acumulado
0	368	50,41%
50	213	79,59%
100	108	94,38%
40	12	96,03%
80	12	97,67%
60	8	98,77%
20	2	99,04%
15	1	99,18%
30	1	99,32%
35	1	99,45%
45	1	99,59%
130	1	99,73%
140	1	99,86%
150	1	100,00%

Anexo 24: Lotes de producción de Cefotaxima, incluyendo su frecuencia y porcentaje acumulado. Elaboración propia.

Clase	Frecuencia	% acumulado
0	497	68,08%
50	158	89,73%
100	32	94,11%
40	20	96,85%
5	6	97,67%
80	4	98,22%
60	3	98,63%
55	2	98,90%
10	1	99,04%
30	1	99,18%
70	1	99,32%
85	1	99,45%
115	1	99,59%
150	1	99,73%
160	1	99,86%
200	1	100,00%

Anexo 25: Lotes de producción de Vancomicina, incluyendo su frecuencia y porcentaje acumulado. Elaboración propia.

Clase	Frecuencia	% acumulado
25	451	47,83%
0	306	80,28%
50	143	95,44%
30	9	96,39%
40	6	97,03%
75	6	97,67%
35	5	98,20%
15	3	98,52%
20	3	98,83%
70	3	99,15%
55	2	99,36%
10	1	99,47%
45	1	99,58%
65	1	99,68%
80	1	99,79%
100	1	99,89%
125	1	100,00%

Anexo 26: Lotes de producción de Tazobactam, incluyendo su frecuencia y porcentaje acumulado. Elaboración propia.

Clase	Frecuencia	% acumulado
50	323	34,25%
75	221	57,69%
0	139	72,43%
25	102	83,24%
60	51	88,65%
30	15	90,24%
80	14	91,73%
100	14	93,21%
40	13	94,59%
125	7	95,33%
5	5	95,86%
55	5	96,39%
65	4	96,82%
110	4	97,24%
15	3	97,56%
20	3	97,88%
85	3	98,20%
150	3	98,52%
35	2	98,73%
70	2	98,94%
90	2	99,15%
135	2	99,36%
45	1	99,47%
95	1	99,58%
130	1	99,68%
140	1	99,79%
145	1	99,89%
200	1	100,00%

Anexo 27: Lotes de producción de Cefazolina, incluyendo su frecuencia y porcentaje acumulado. Elaboración propia.

Clase	Frecuencia	% acumulado
100	250	34,25%
0	211	63,15%
200	98	76,58%
150	66	85,62%
50	63	94,25%
300	7	95,21%
5	3	95,62%
140	3	96,03%
60	2	96,30%
105	2	96,58%
110	2	96,85%
120	2	97,12%
130	2	97,40%
135	2	97,67%
160	2	97,95%
230	2	98,22%
10	1	98,36%
15	1	98,49%
20	1	98,63%
40	1	98,77%
45	1	98,90%
70	1	99,04%
80	1	99,18%
85	1	99,32%
125	1	99,45%
185	1	99,59%
210	1	99,73%
225	1	99,86%
250	1	100,00%

Anexo 28: Cifras sobre la demanda de Cefazolina preparada en CM durante el 2017 y 2018. Elaboración propia.

Dato	Año	
	2017	2018
Demanda Cefazolina	2017	2018
Promedio	80,36	94,61
Desviación estándar	38,01	41,29
Varianza	1.440,78	1.705,05
Coef. De variación	0,47	0,44
Máximo	240	264
Mínimo	0	0
Mediana	75	95
Moda	40	110
Cantidad de entradas	1.157	1.330
Cantidad de datos	3.055	

Anexo 29: Cifras sobre la demanda de Tazobactam preparado en CM durante el 2017 y 2018. Elaboración propia.

Dato	Año	
	2017	2018
Demanda Tazobactam	2017	2018
Promedio	41,58	59,05
Desviación estándar	18,18	21,08
Varianza	330,69	444,24
Coef. de variación	0,44	0,36
Máximo	136	130
Mínimo	0	0
Mediana	40	60
Moda	40	60
Cantidad de entradas	730	864
Cantidad de datos	2.293	

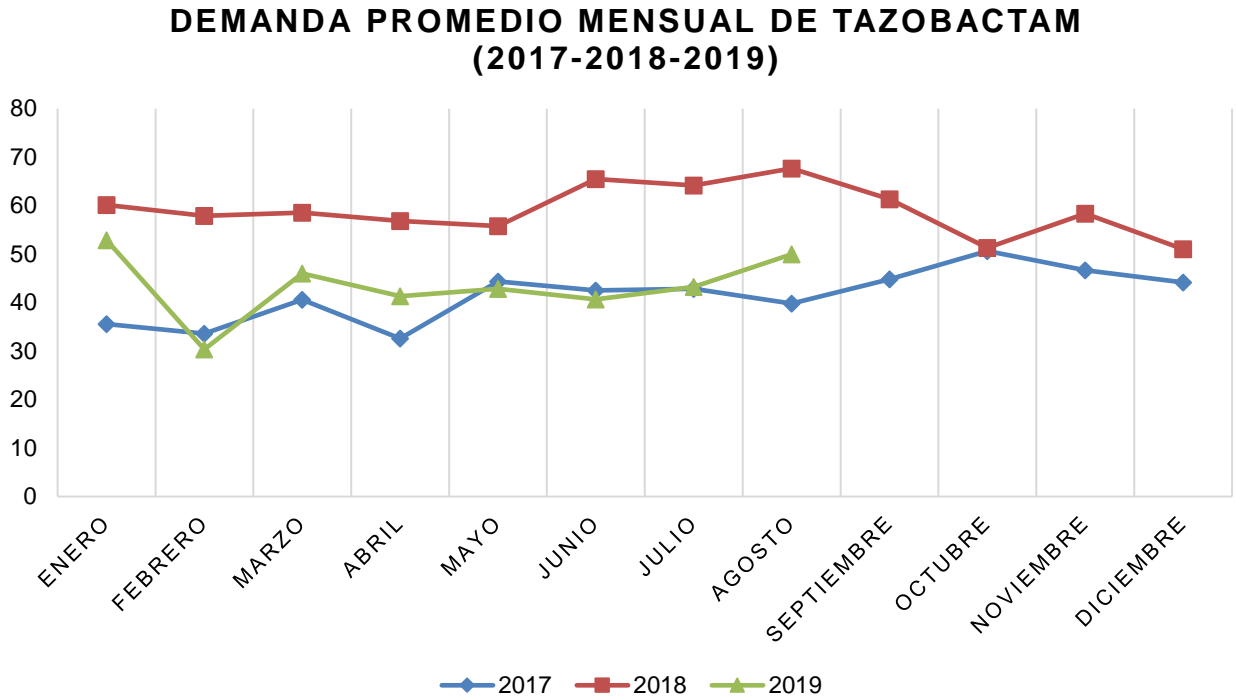
Anexo 30: Cifras sobre la demanda de Ceftriaxona preparada en CM durante el 2017 y 2018. Elaboración propia.

Dato	Año	
	2017	2018
Demanda Ceftriaxona	2017	2018
Promedio	28,50	37,08
Desviación estándar	15,63	19,90
Varianza	244,23	396,20
Coef. de variación	0,55	0,54
Máximo	120	150
Mínimo	0	0
Mediana	30	40
Moda	20	30
Cantidad de entradas	598	644
Cantidad de datos	1.617	

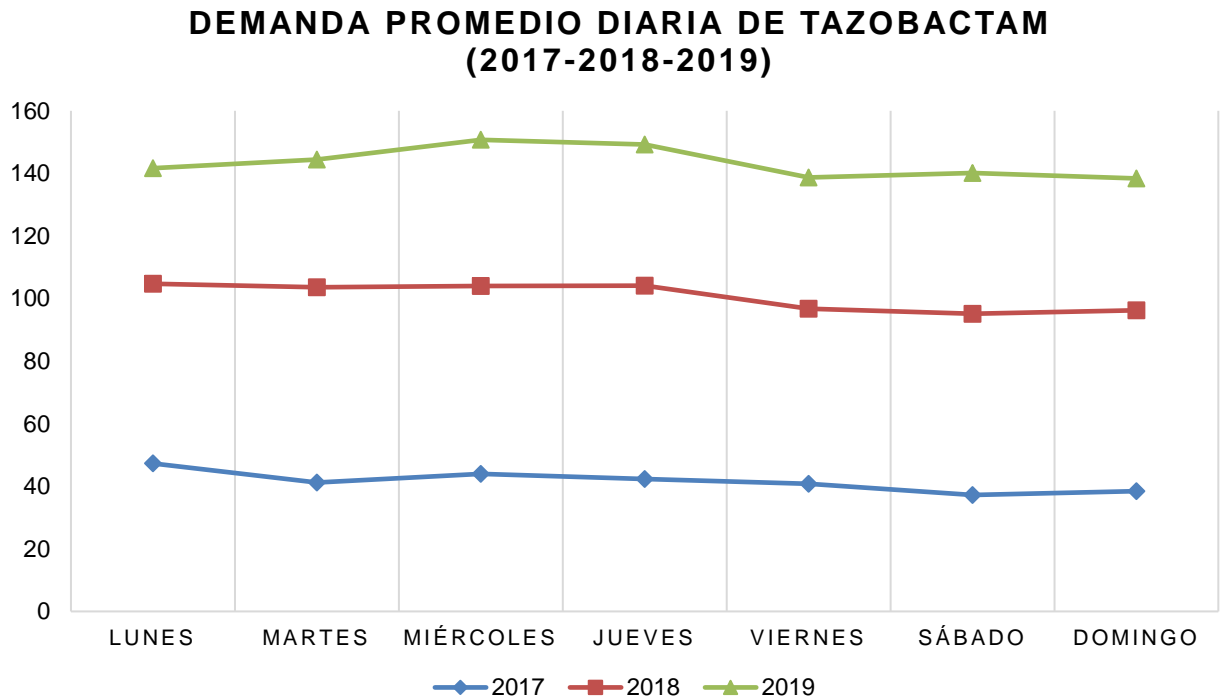
Anexo 31: Cifras sobre la demanda de Vancomicina preparada en CM durante el 2017 y 2018. Elaboración propia.

Dato	Año	
	2017	2018
Demanda Vancomicina	2017	2018
Promedio	21,56	23,78
Desviación estándar	12,54	14,36
Varianza	157,37	206,10
Coef. De variación	0,58	0,60
Máximo	100	74
Mínimo	0	0
Mediana	20	20
Moda	20	20
Cantidad de entradas	545	531
Cantidad de datos	1675	

Anexo 32: Comportamiento mensual de la demanda promedio de Tazobactam durante el 2017, 2018 y 2019. Elaboración propia.

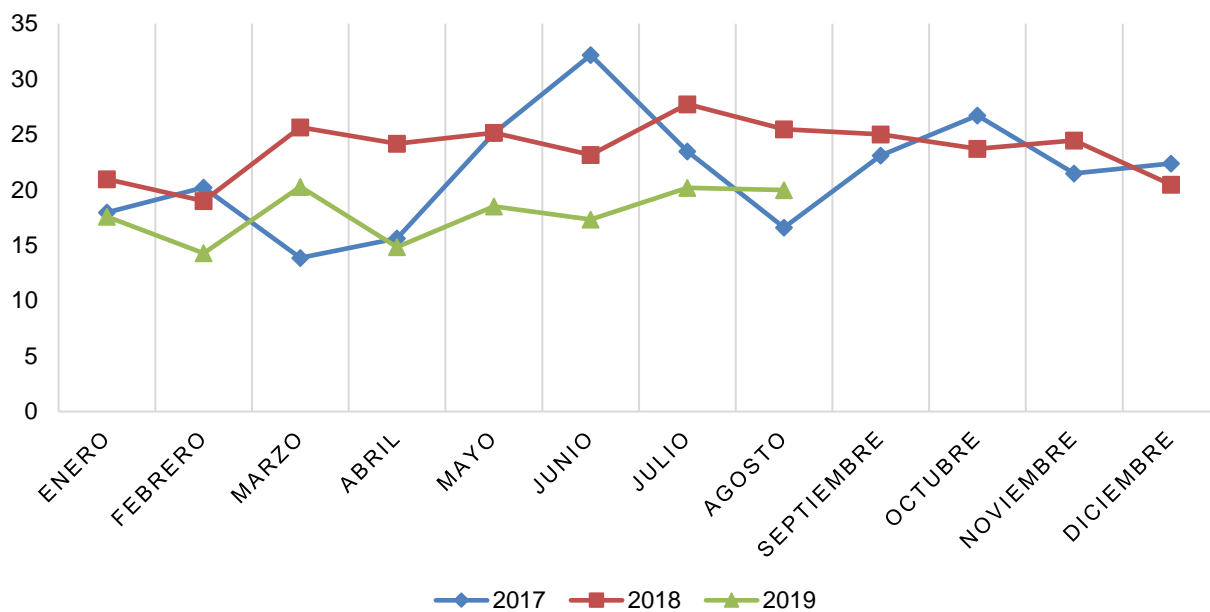


Anexo 33: Comportamiento diario de la demanda promedio de Tazobactam durante el 2017, 2018 y 2019. Elaboración propia.



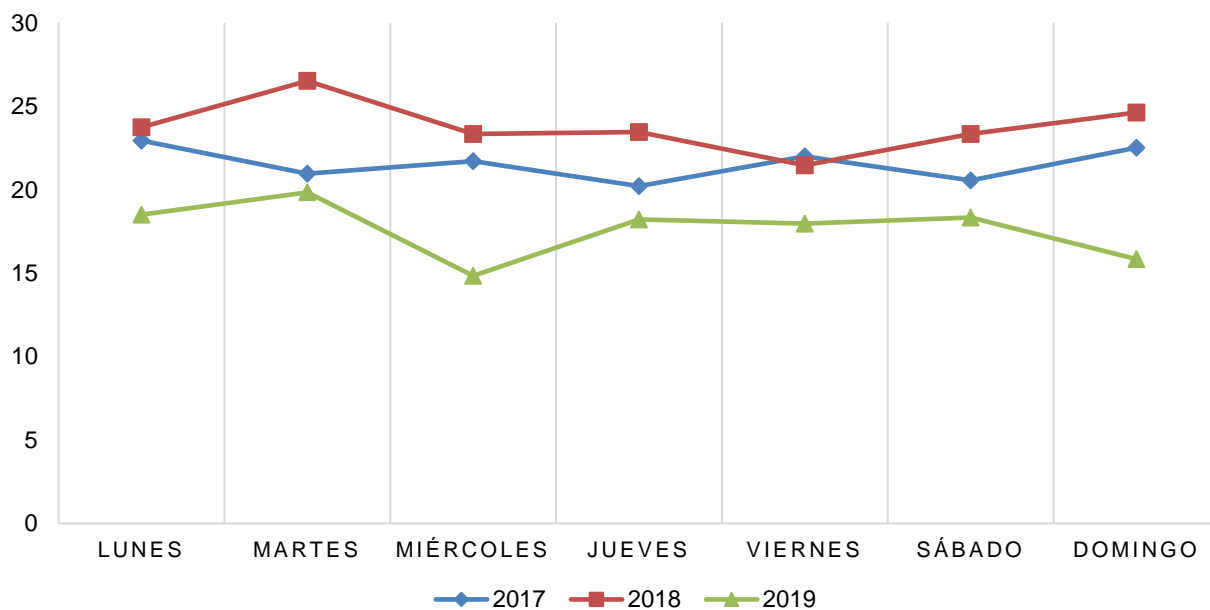
Anexo 34: Comportamiento mensual de la demanda promedio de Vancomicina durante el 2017, 2018 y 2019. Elaboración propia.

**DEMANDA PROMEDIO MENSUAL DE VANCOMICINA
(2017-2018-2019)**

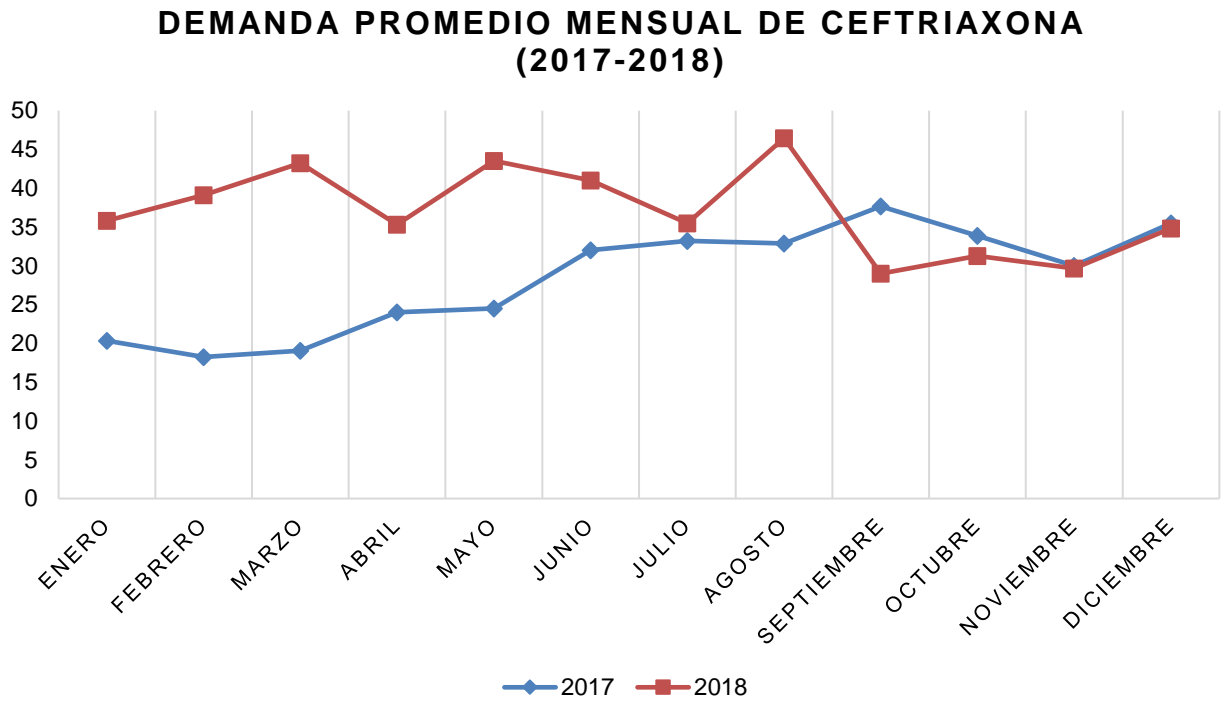


Anexo 35: Comportamiento diario de la demanda promedio de Vancomicina durante el 2017, 2018 y 2019. Elaboración propia.

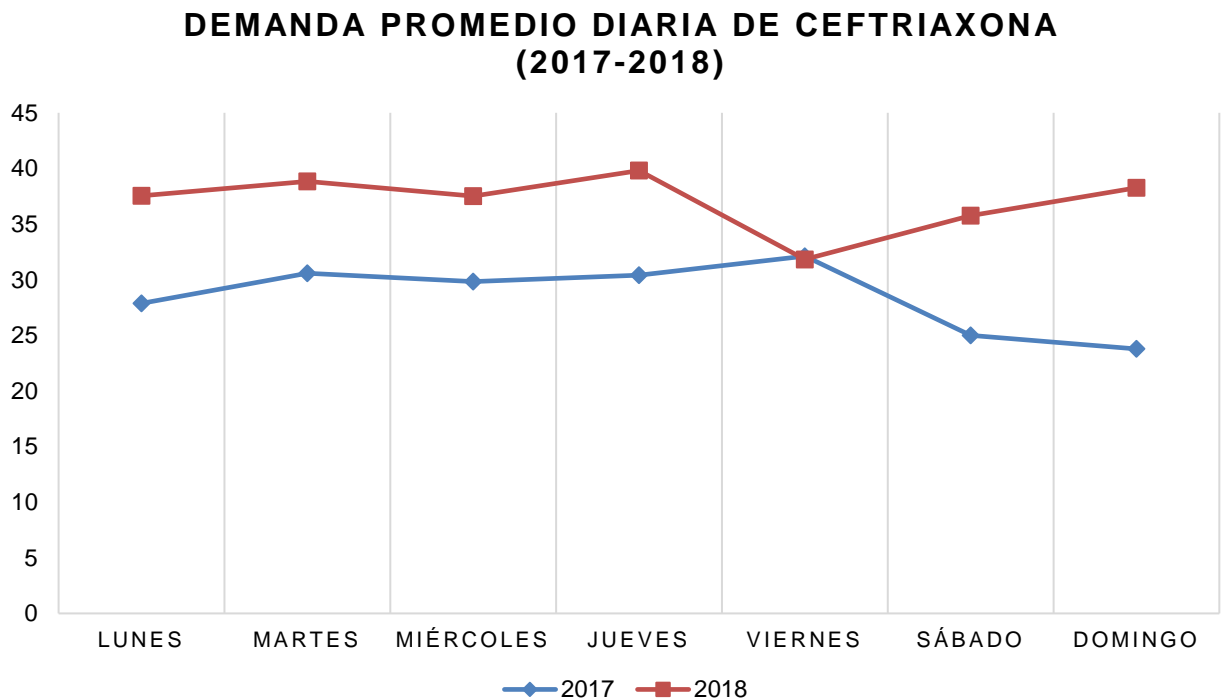
**DEMANDA PROMEDIO DIARIA DE VANCOMICINA
(2017-2018-2019)**



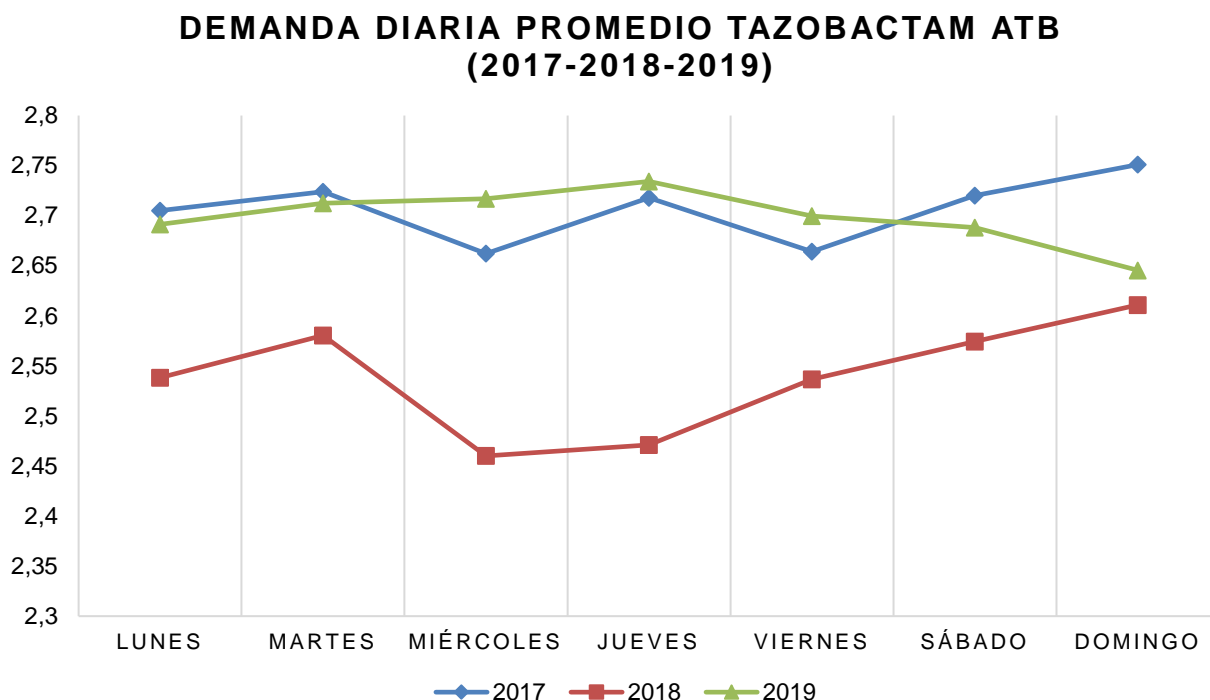
Anexo 36: Comportamiento mensual de la demanda promedio de Ceftriaxona durante el 2017 y 2018. Elaboración propia.



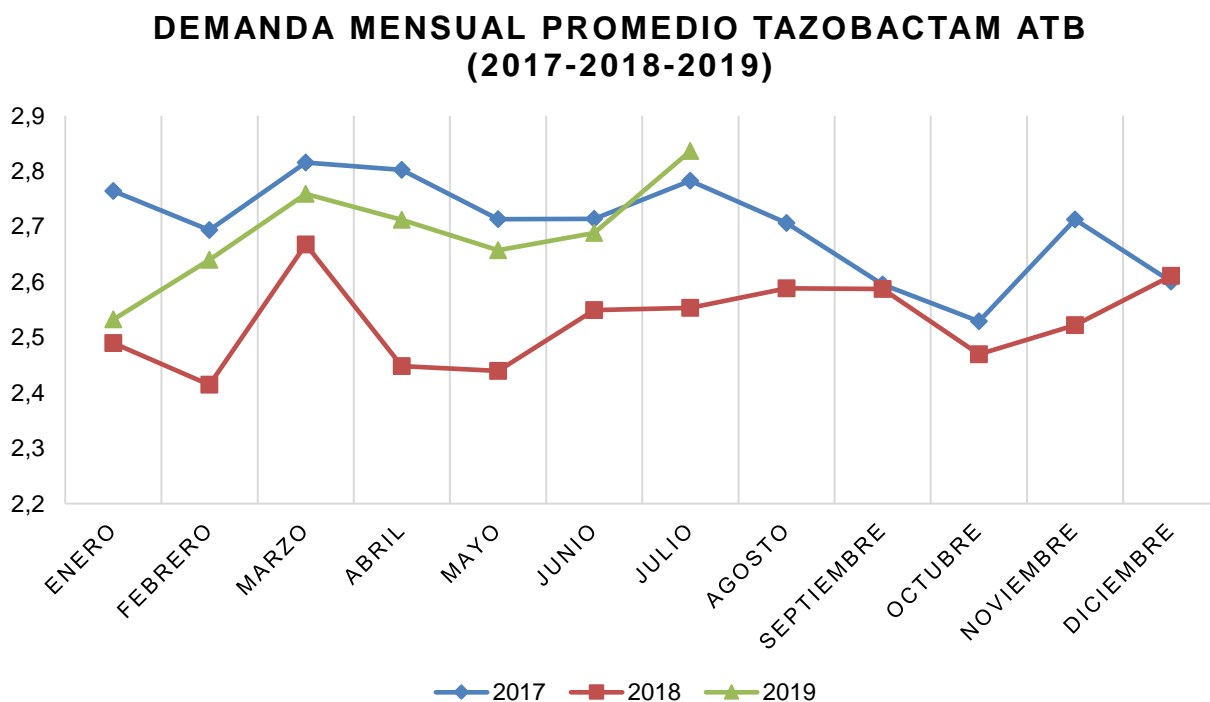
Anexo 37: Comportamiento diario de la demanda promedio de Ceftriaxona durante el 2017 y 2018. Elaboración propia.



Anexo 38: Demanda diaria promedio de Tazobactam en modalidad ATB durante el 2017, 2018 y 2019. Elaboración propia.

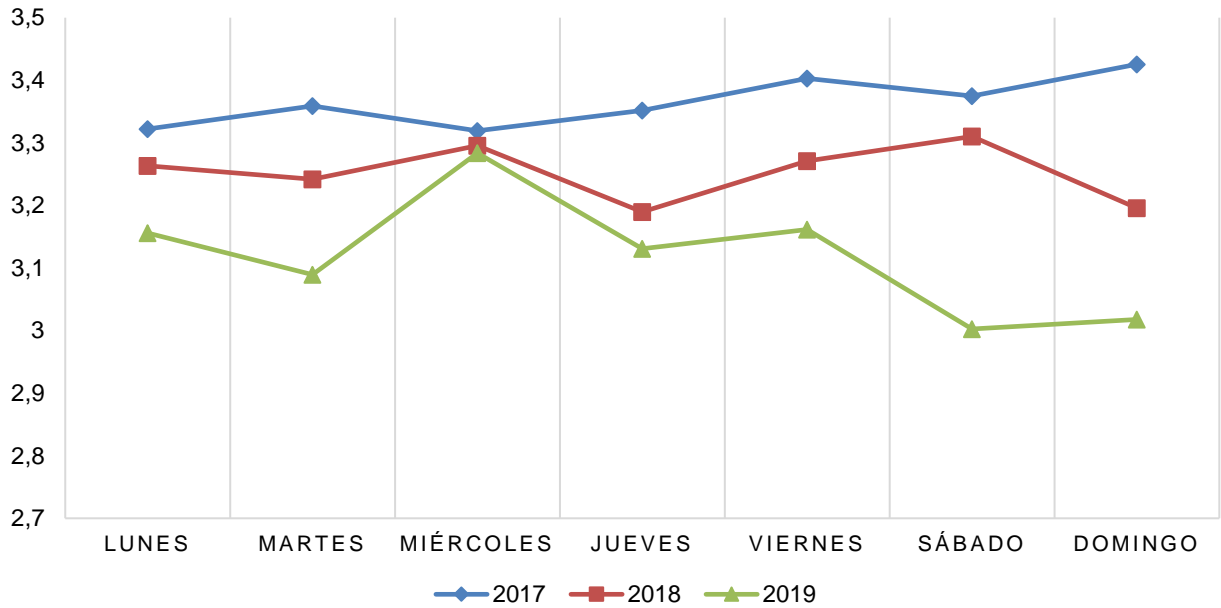


Anexo 39: Demanda mensual promedio de Tazobactam en modalidad ATB durante el 2017, 2018 y 2019. Elaboración propia.



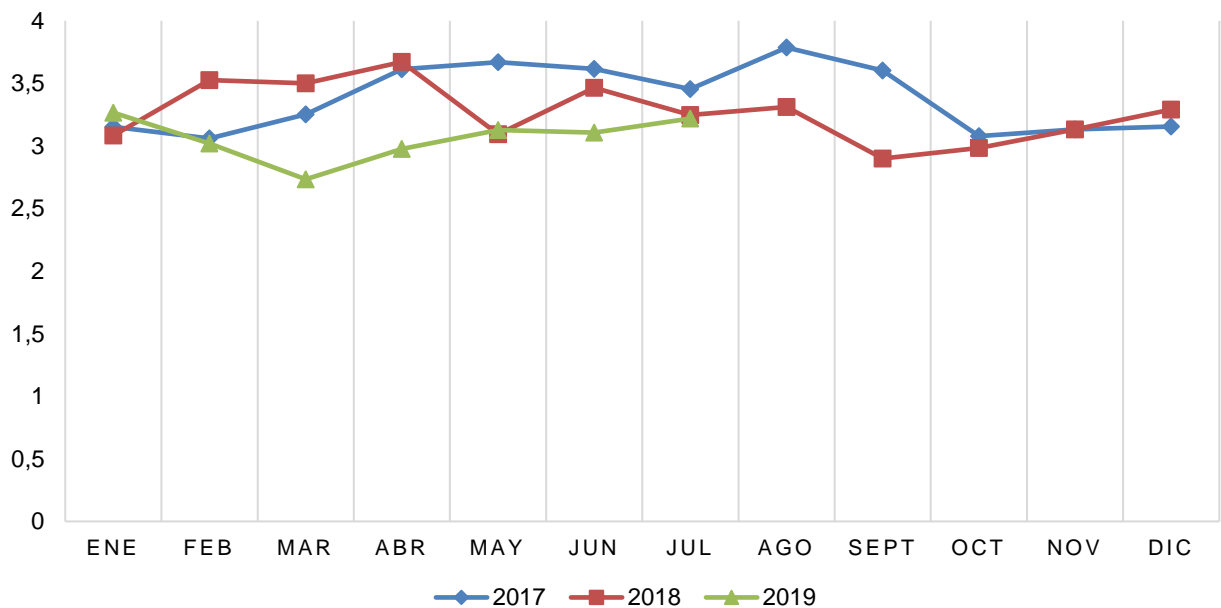
Anexo 40: Demanda diaria promedio de Vancomicina en modalidad ATB durante el 2017, 2018 y 2019. Elaboración propia.

**DEMANDA DIARIA PROMEDIO DE VANCOMICINA ATB
(2017-2018-2019)**



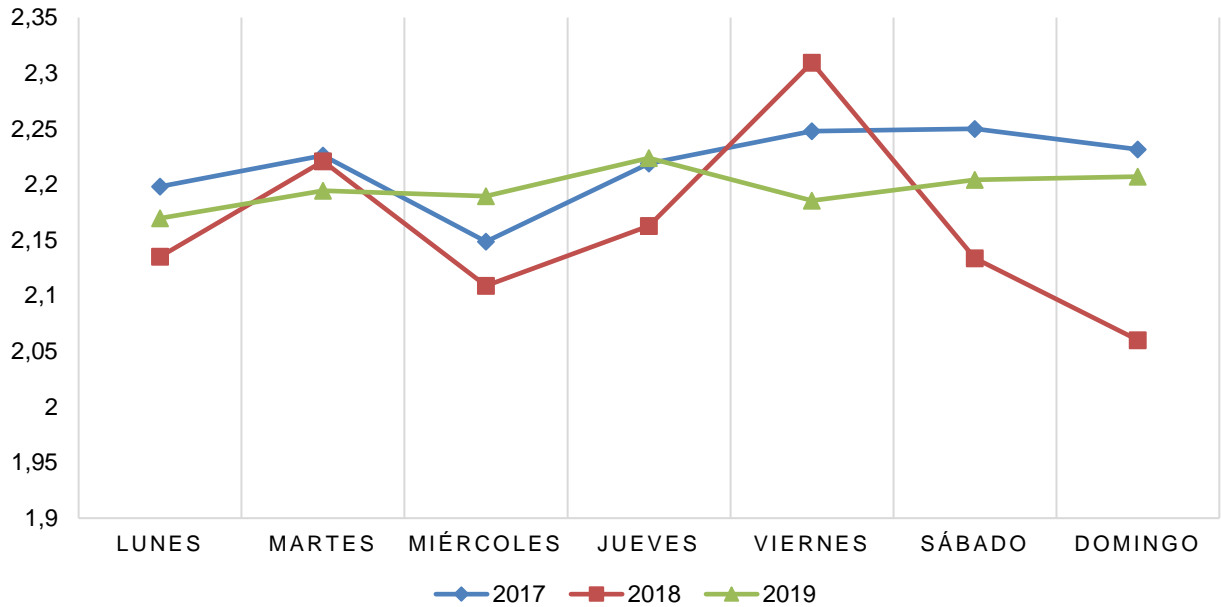
Anexo 41: Demanda mensual promedio de Vancomicina en modalidad ATB durante el 2017, 2018 y 2019. Elaboración propia.

**DEMANDA MENSUAL DE FRASCOS VANCOMICINA
ATB (2017-2018-2019)**



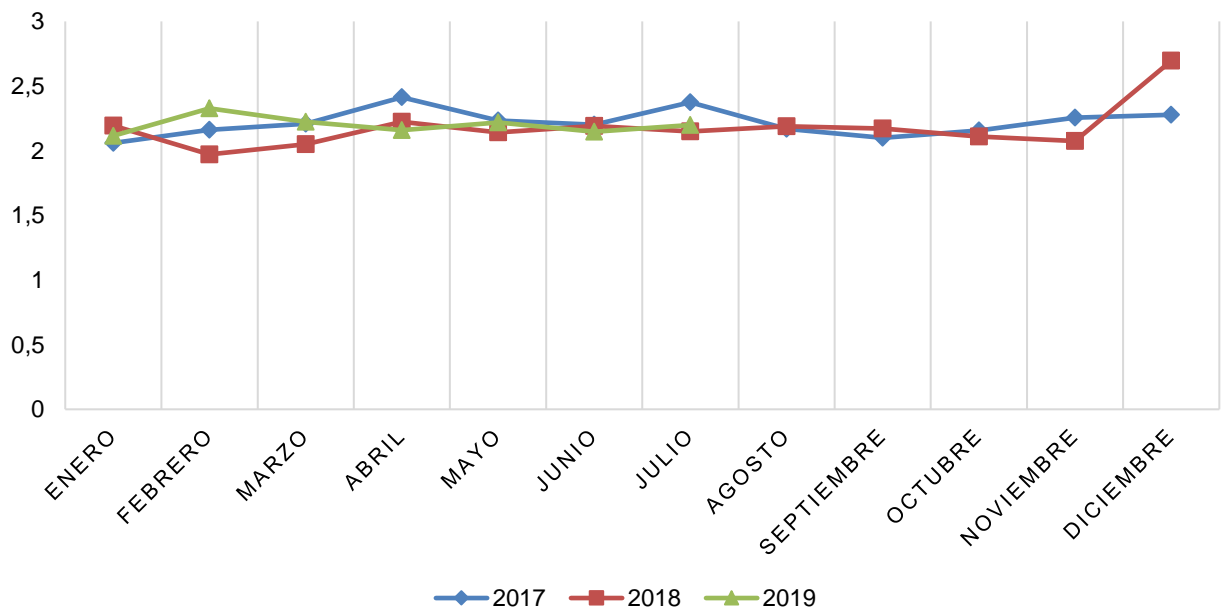
Anexo 42: Demanda diaria promedio de Ceftriaxona en modalidad ATB durante el 2017, 2018 y 2019. Elaboración propia.

**DEMANDA DIARIA PROMEDIO DE CEFTRIAXONA ATB
(2017-2018-2019)**

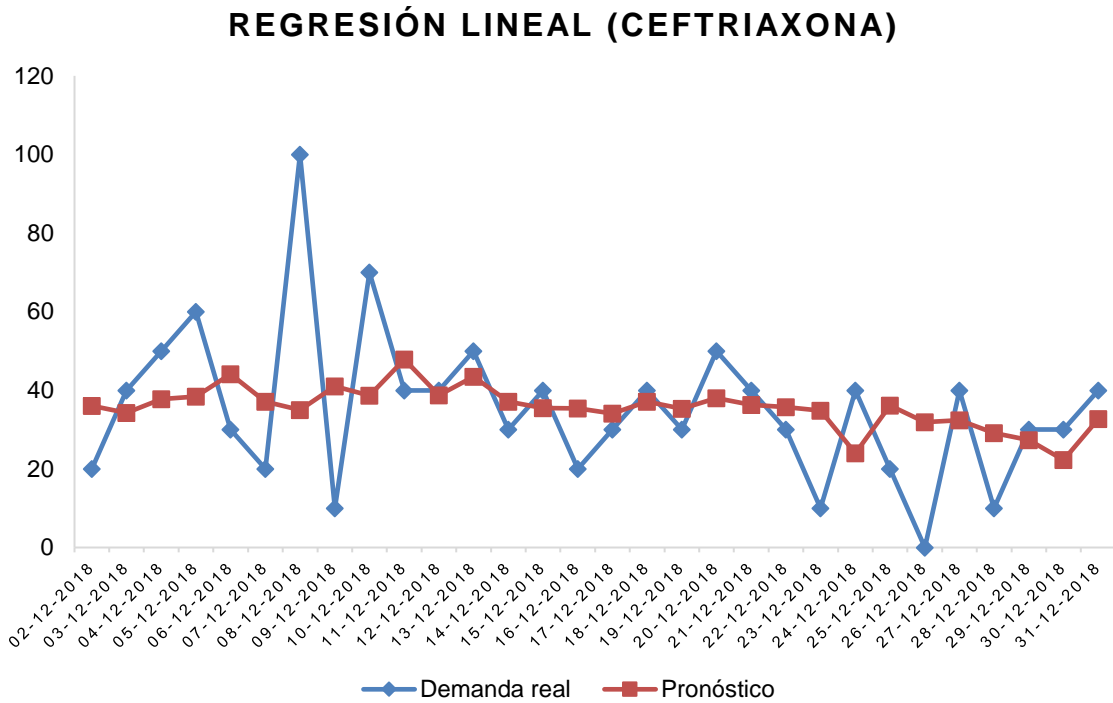


Anexo 43: Demanda mensual promedio de Ceftriaxona en modalidad ATB durante el 2017, 2018 y 2019. Elaboración propia.

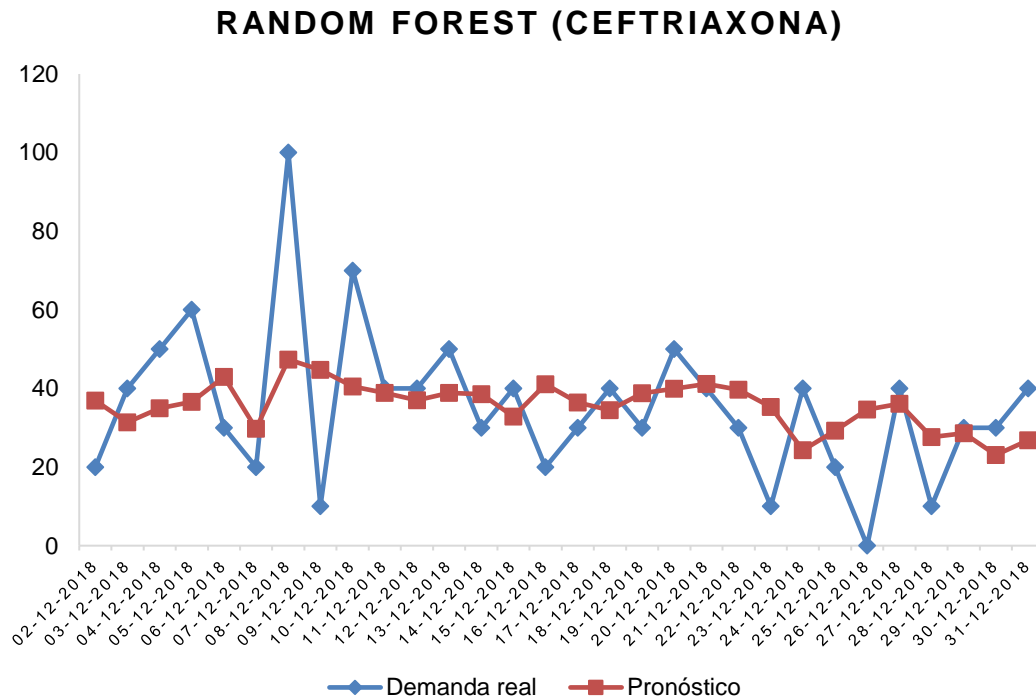
**DEMANDA MENSUAL PROMEDIO DE CEFTRIAXONA
ATB (2017-2018-2019)**



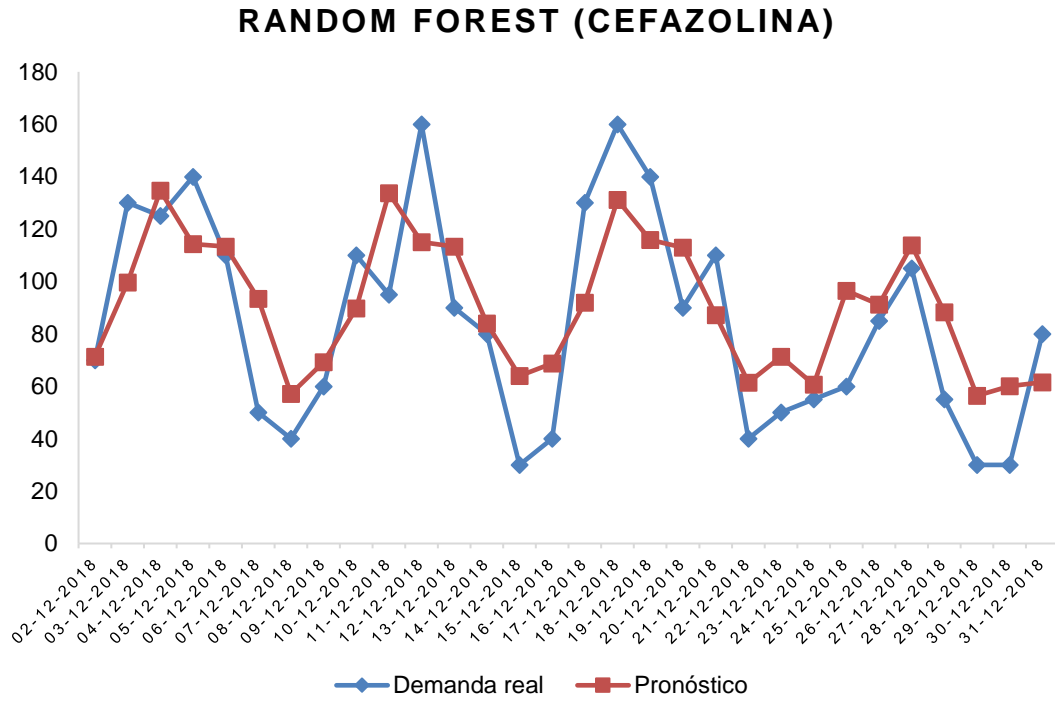
Anexo 44: Regresión lineal para Ceftriaxona, últimos 30 días de diciembre del 2018. Elaboración propia.



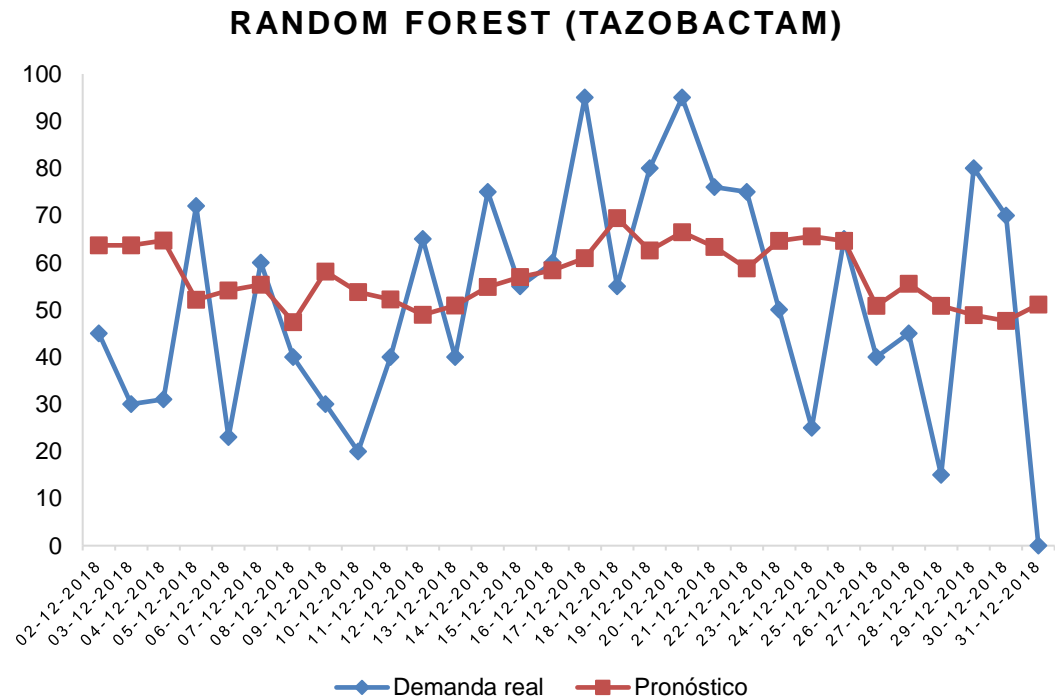
Anexo 45: Random Forest para Ceftriaxona, últimos 30 días de diciembre del 2018. Elaboración propia.



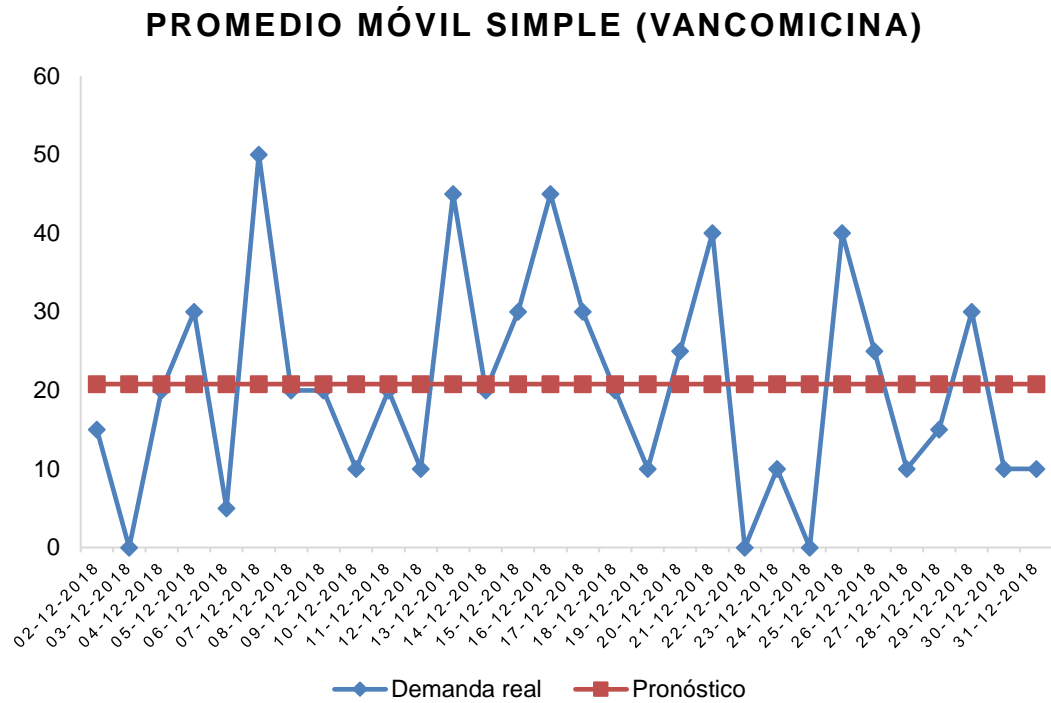
Anexo 46: Random Forest para Cefazolina, últimos 30 días de diciembre del 2018. Elaboración propia.



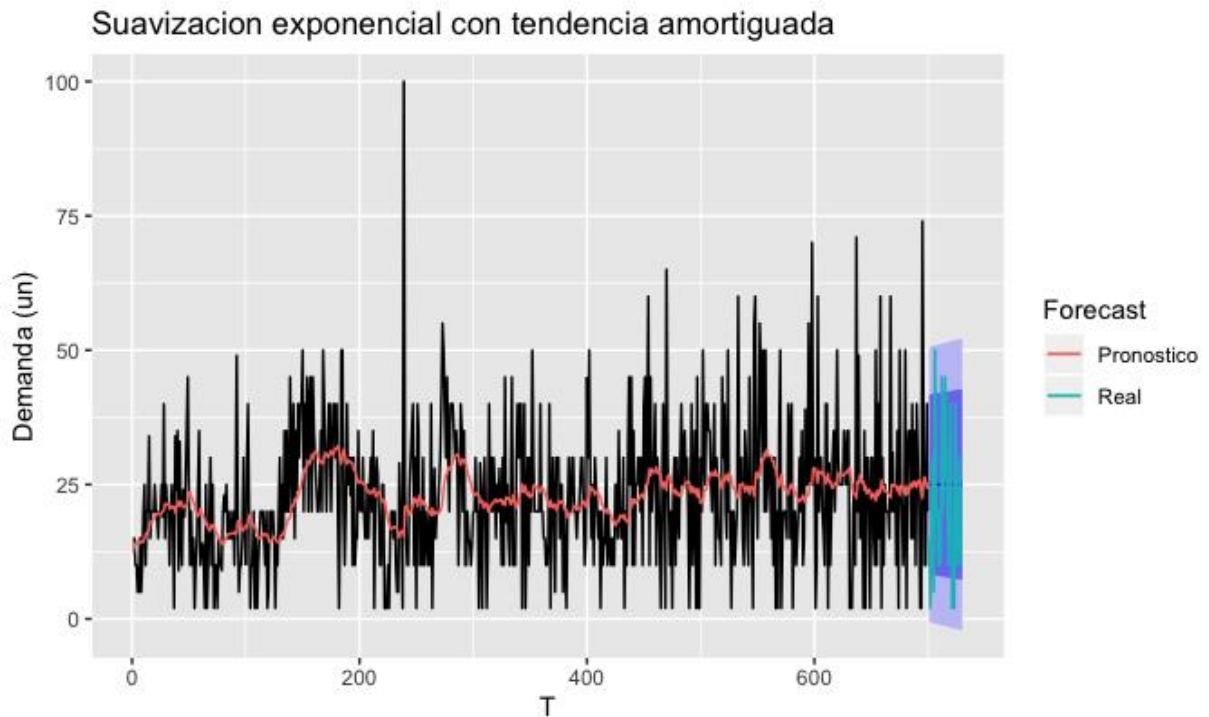
Anexo 47: Random Forest para Tazobactam, últimos 30 días de diciembre del 2018. Elaboración propia.



Anexo 48: Promedio móvil simple para Vancomicina, últimos 30 días de diciembre del 2018. Elaboración propia.

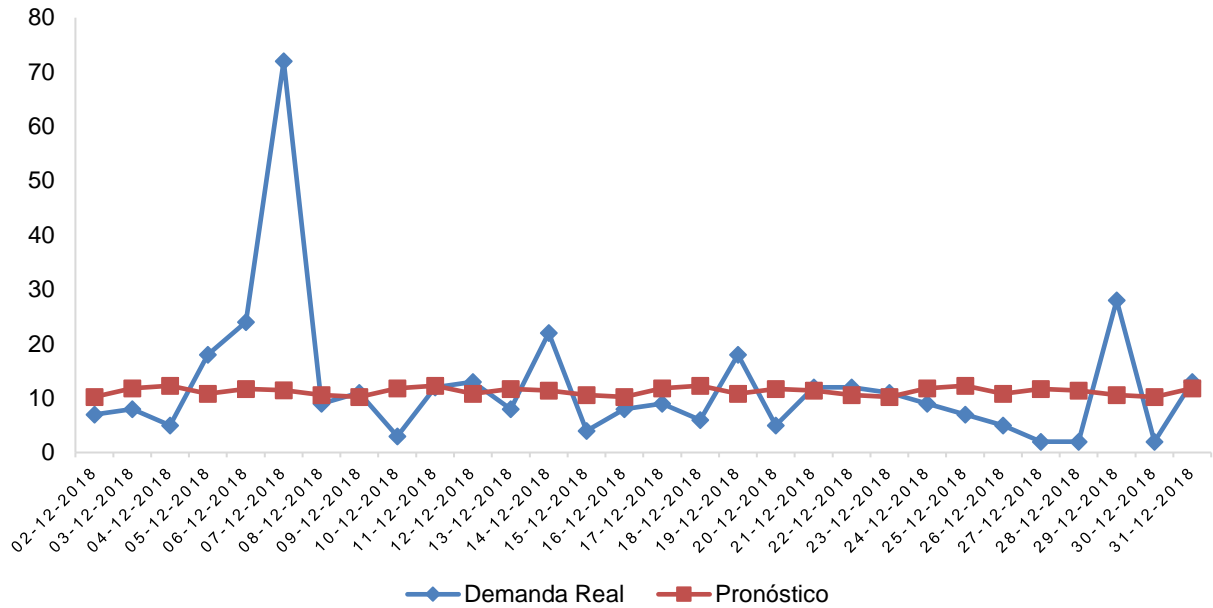


Anexo 49: Suavización exponencial con tendencia para Vancomicina (2017 y 2018). Elaboración propia.



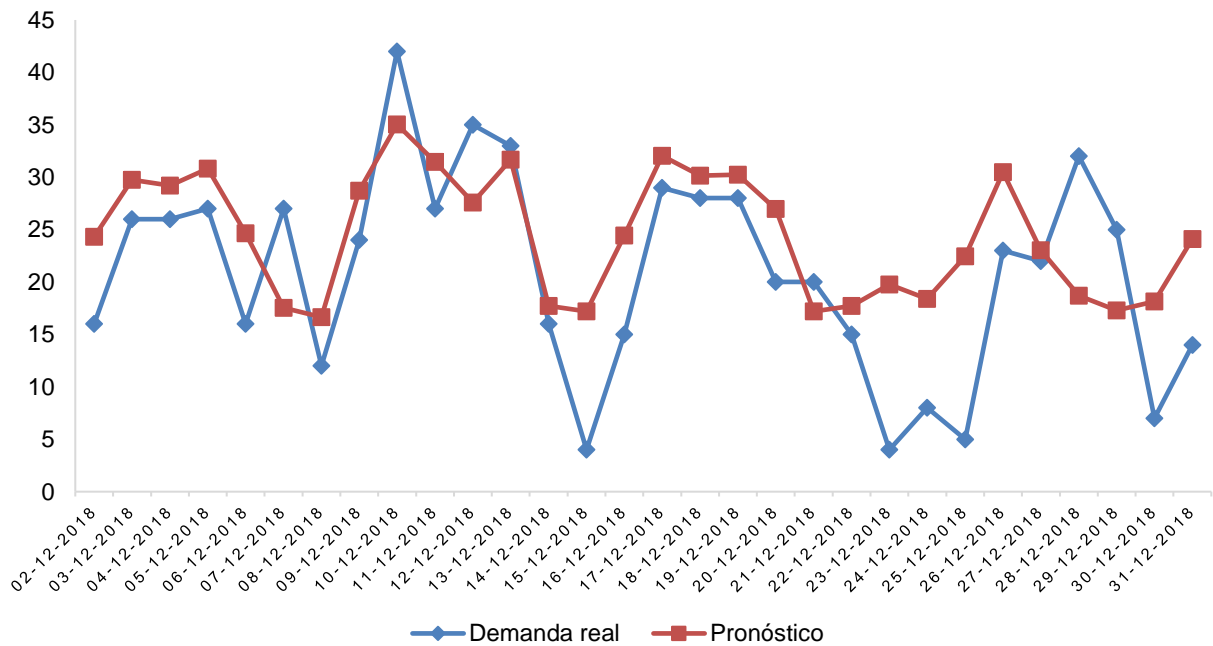
Anexo 50: Holt-Winters con tendencia amortiguada para Ceftriaxona ATB, últimos 30 días de diciembre del 2018. Elaboración propia.

HOLT-WINTERS CON TENDENCIA AMORTIGUADA (CEFTRIAXONA ATB)

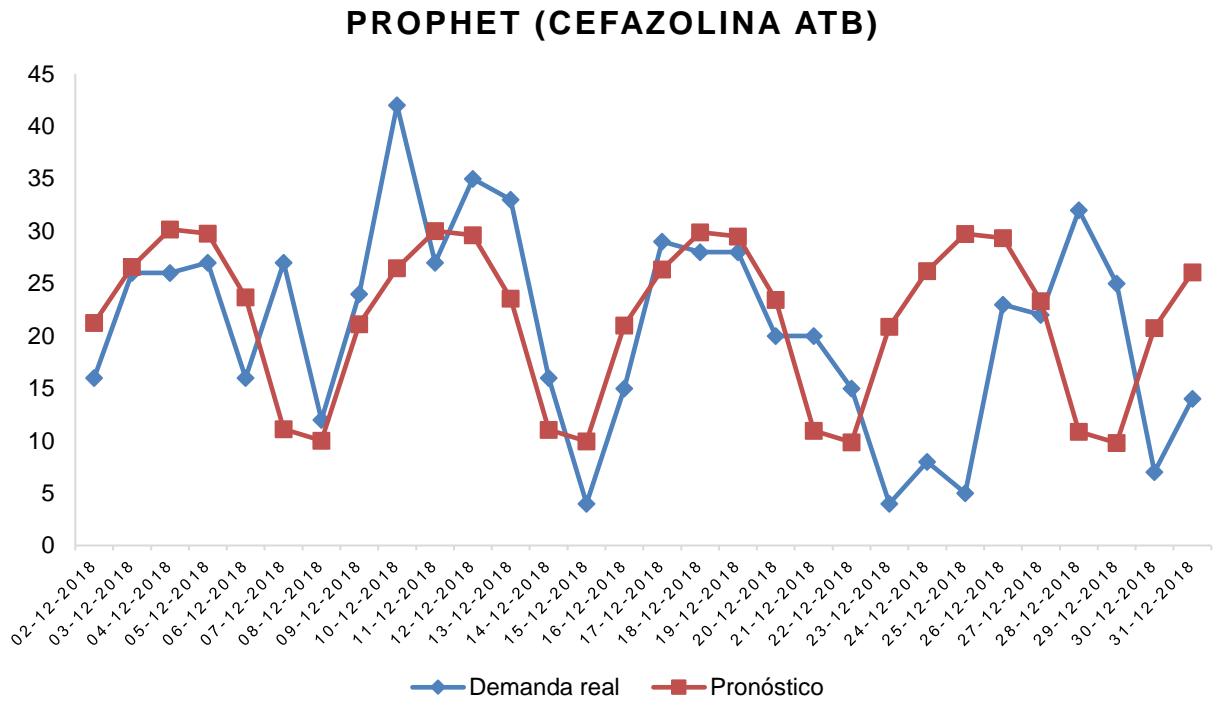


Anexo 51: Random Forest para Cefazolina ATB, últimos 30 días de diciembre del 2018. Elaboración propia.

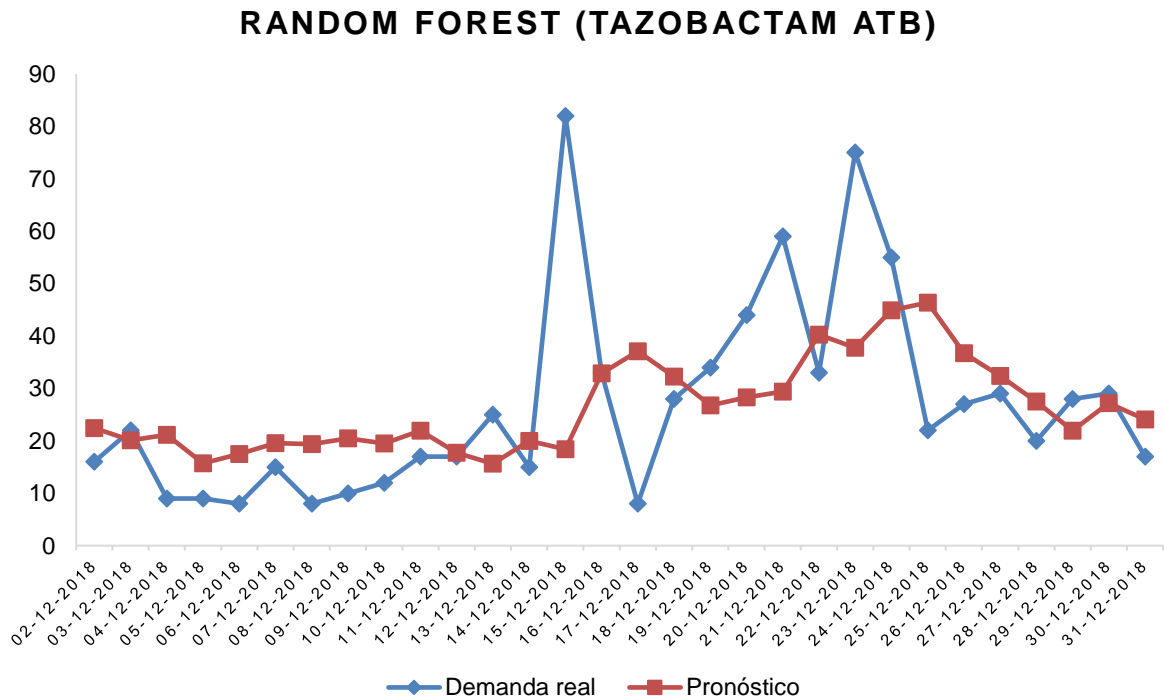
RANDOM FOREST (CEFAZOLINA ATB)



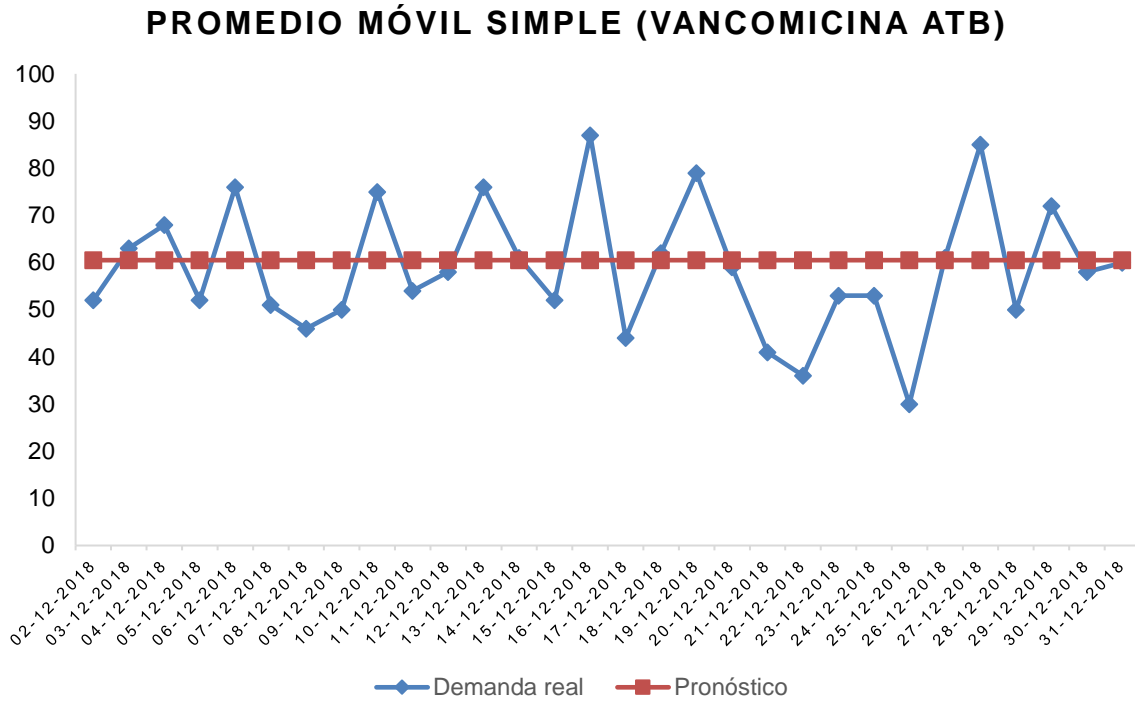
Anexo 52: Prophet para Cefazolina ATB, últimos 30 días de diciembre del 2018. Elaboración propia.



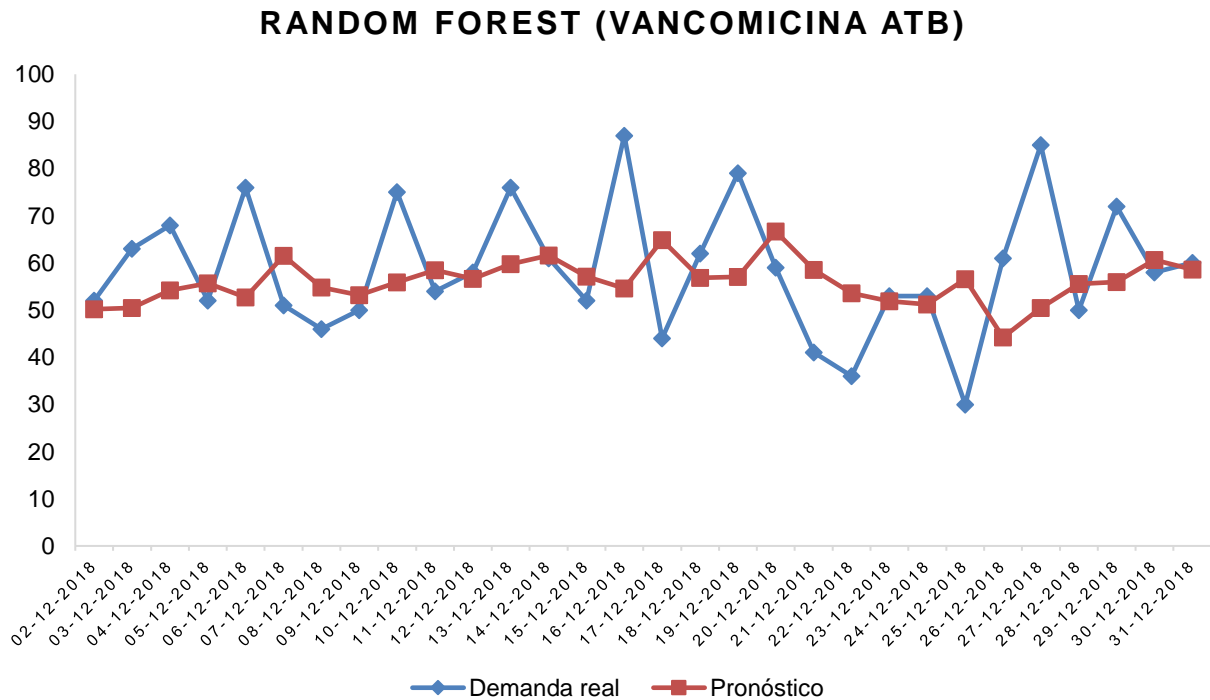
Anexo 53: Random Forest para Tazobactam ATB, últimos 30 días de diciembre del 2018. Elaboración propia.



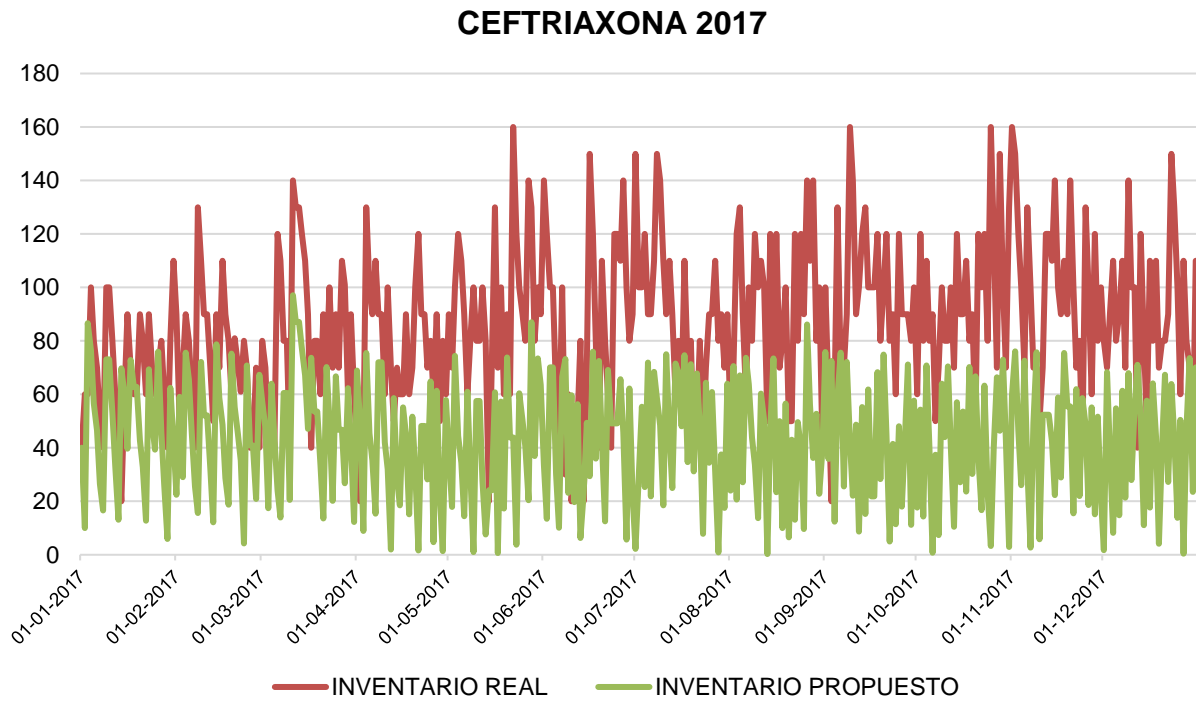
Anexo 54: Promedio móvil simple para Vancomicina ATB, últimos 30 días de diciembre del 2018. Elaboración propia.



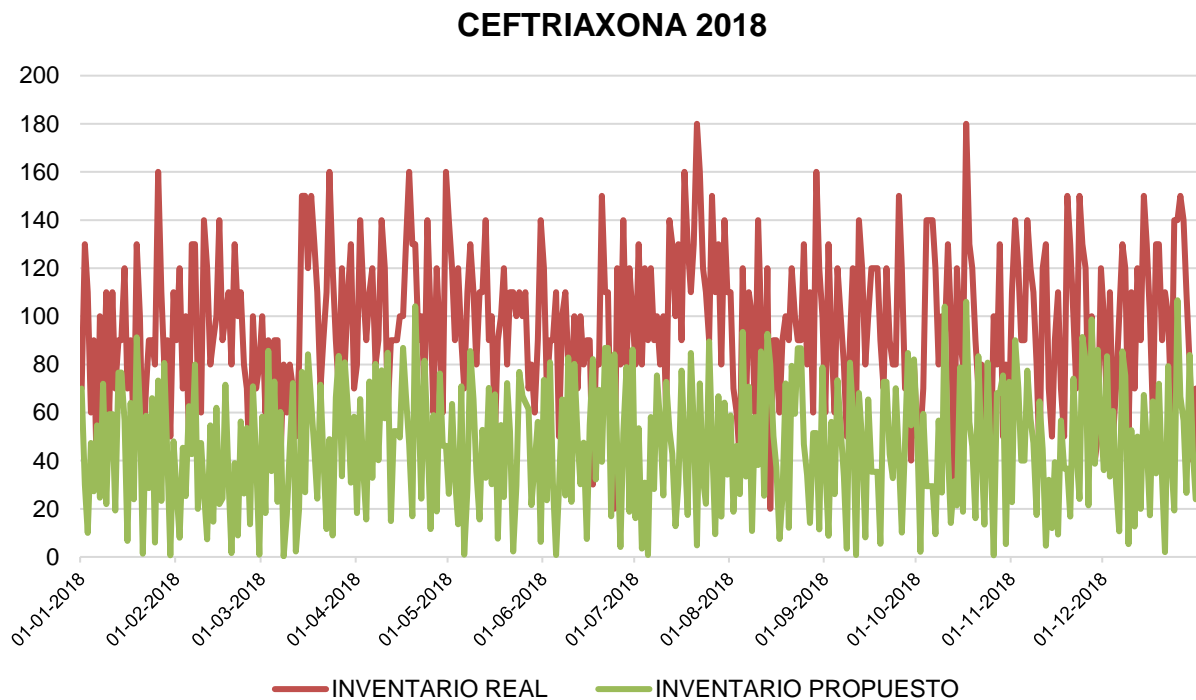
Anexo 55: Random Forest para Vancomicina ATB, últimos 30 días de diciembre del 2018. Elaboración propia.



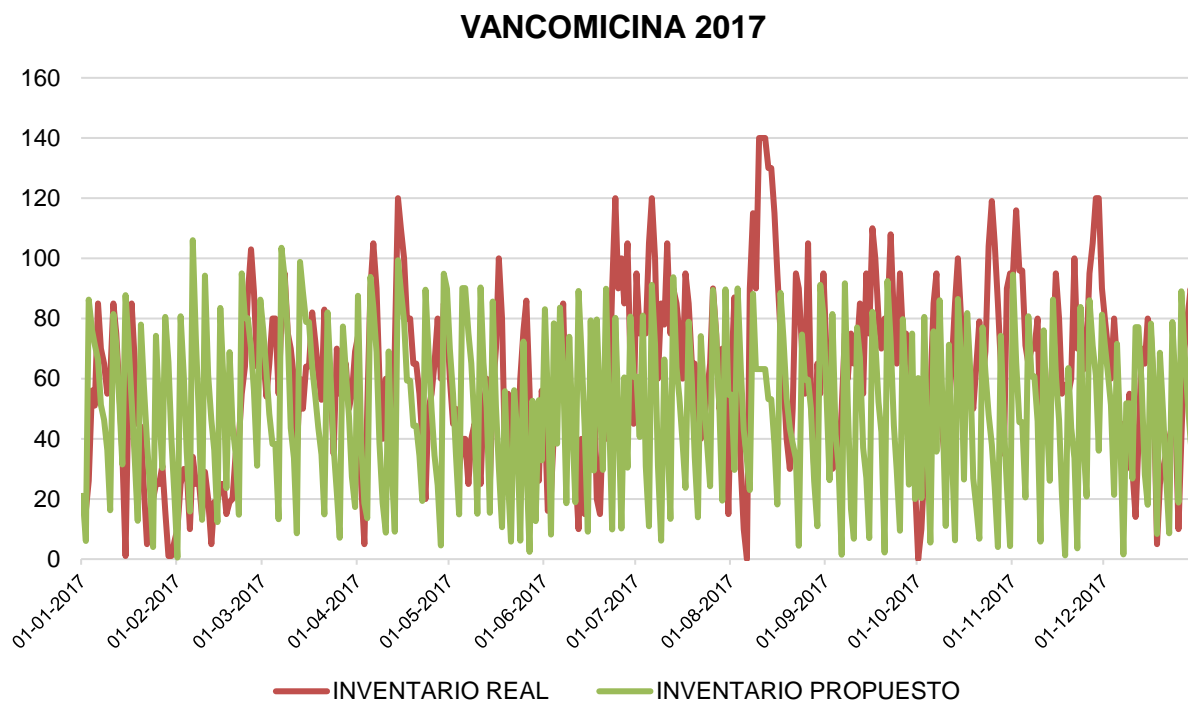
Anexo 56: Inventario real y propuesto para Ceftriaxona durante el 2017. Elaboración propia.



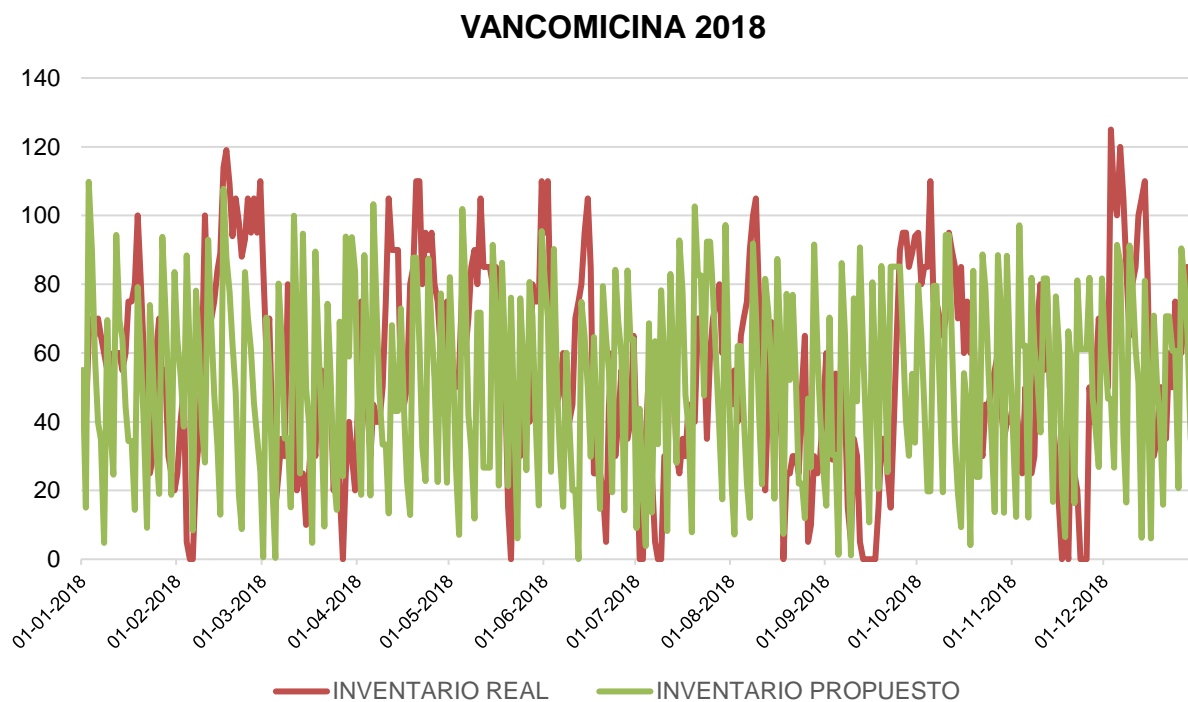
Anexo 57: Inventario real y propuesto para Ceftriaxona durante el 2018. Elaboración propia.



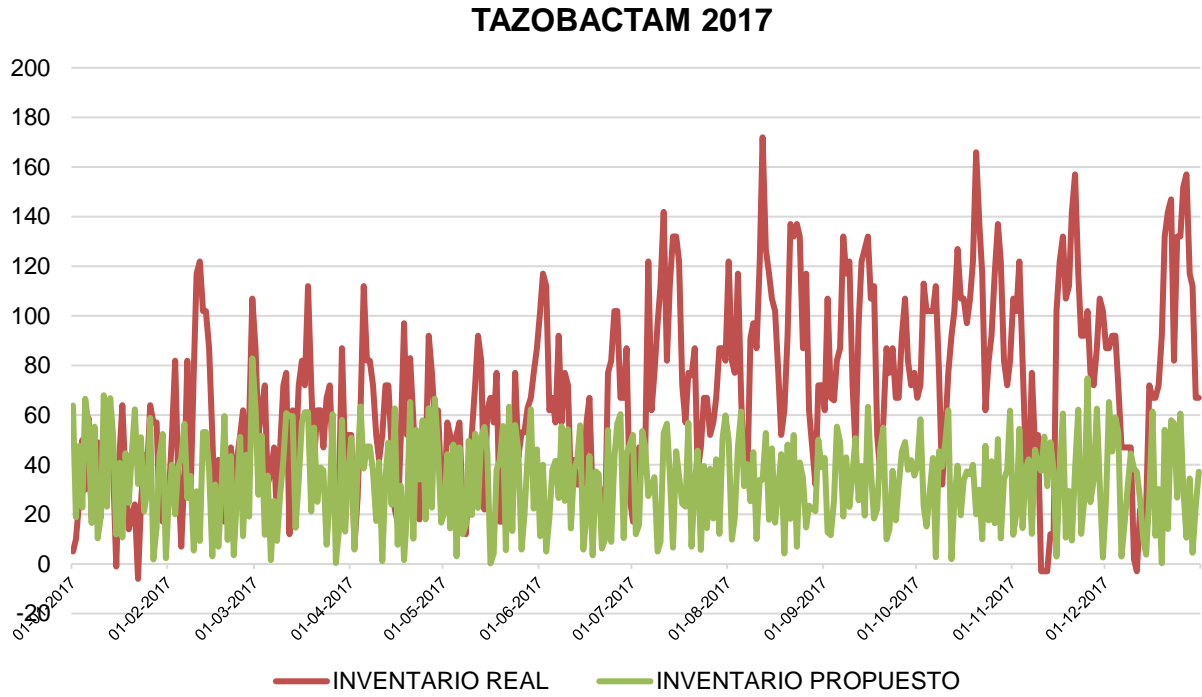
Anexo 58: Inventario real y propuesto para Vancomicina durante el 2017. Elaboración propia.



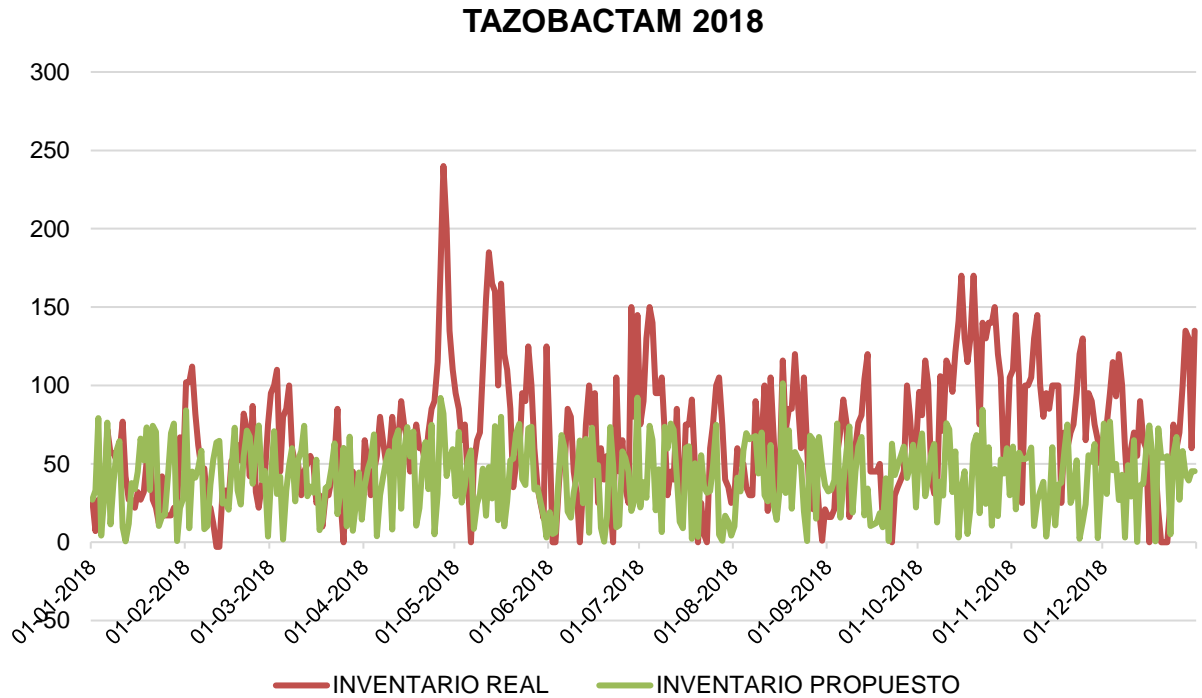
Anexo 59: Inventario real y propuesto para Vancomicina durante el 2018. Elaboración propia.



Anexo 60: Inventario real y propuesto para Tazobactam durante el 2017. Elaboración propia.



Anexo 61: Inventario real y propuesto para Tazobactam durante el 2018. Elaboración propia.



Anexo 62: Ganancias al preparar los medicamentos en la Central de Mezclas, considerando el costo temporal de preparar el medicamento en el servicio clínico. Elaboración propia.

Antibiótico	Utilidad CM	Utilidad ATB con tiempo	Ganancias
Cefazolina	\$4.437	-\$607	\$5.044
Ceftriaxona	\$11.074	-\$216	\$11.290
Tazobactam	\$23.235	\$20.369	\$2.866
Vancomicina	\$6.028	\$509	\$5.519
Total	\$44.774	\$20.055	\$24.719

Anexo 63: Ganancias al preparar los medicamentos en la Central de Mezclas, sin considerar el costo temporal de preparar el medicamento en el servicio clínico. Elaboración propia.

Antibiótico	Utilidad CM	Utilidad ATB	Ganancias
Cefazolina	\$4.437	\$1.774	\$2.663
Ceftriaxona	\$11.074	\$2.165	\$8.909
Tazobactam	\$23.235	\$22.750	\$485
Vancomicina	\$6.028	\$2.890	\$3.138
Total	\$44.774	\$29.579	\$15.195