



Estudios Gerenciales

ISSN: 0123-5923

estgerencial@icesi.edu.co

Universidad ICESI

Colombia

Rojas Zúñiga, Fernando; Román Luza, Daniel; Farías Soto, Pamela; Coluccio Piñones, Giuliani

Propuesta de abastecimiento de medicamentos coordinando multiniveles de demanda.

Un caso ilustrativo chileno

Estudios Gerenciales, vol. 31, núm. 137, octubre-diciembre, 2015, pp. 419-431

Universidad ICESI

Cali, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=21243557008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



## Artículo

# Propuesta de abastecimiento de medicamentos coordinando multiniveles de demanda. Un caso ilustrativo chileno



Fernando Rojas Zúñiga<sup>a,\*</sup>, Daniel Román Luza<sup>b</sup>, Pamela Farías Soto<sup>c</sup> y Giuliani Coluccio Piñones<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Profesor adjunto, Escuela de Nutrición y Dietética, Facultad de Farmacia, Universidad de Valparaíso, Valparaíso, Chile

<sup>b</sup> Director Técnico Local 907, Farmacias Cruz Verde S.A., Los Vilos, Chile

<sup>c</sup> Profesor asistente, Instituto de Matemáticas, Física y Estadística, Universidad de las Américas, Viña del Mar, Chile

<sup>d</sup> Profesor, Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile

## INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

## Historia del artículo:

Recibido el 17 de febrero de 2015

Aceptado el 27 de agosto de 2015

On-line el 6 de noviembre de 2015

## Códigos JEL:

C44, L8, L81

## Palabras clave:

Abastecimiento

Multiniveles

Optimización

## RESUMEN

El sistema de abastecimiento de medicamentos en atención primaria de salud en Chile posee un único proveedor a nivel nacional y no considera multiniveles de demanda para el cálculo del aprovisionamiento, generando superávit de inventario. El presente trabajo propone una política de abastecimiento de revisión periódica mediante un pronóstico probabilístico de demanda, modelando su estructura de dependencia en forma individual y mediante cópulas bivariadas, coordinando los multiniveles y minimizando los costos. El estudio se llevó a cabo en una muestra de 104 medicamentos abastecidos durante 3 años en un centro de salud familiar chileno. Los resultados generados muestran que la política propuesta disminuiría semanalmente en un 8,22% los costos de compra, en un 95,47% los costos de ordenar y en un 54,6% los costos totales.

© 2015 Universidad ICESI. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## Proposal for coordinating drug supply multilevel demand. A Chilean illustrative case

## ABSTRACT

The supply system of medicines in primary health care in Chile has a unique nationwide provider and does not consider multilevel demand for calculating the procurement, generating inventory surplus. This paper proposes a regular supply policy review that uses a probabilistic demand forecasting modeling the dependence structure, individually and through bi-varied copulas, coordinating demand multilevel minimizing costs associated with the purchase, maintenance and storage. The validation of the proposal was conducted on a sample of 104 medicines supplied by three years in a Chilean family health center. When comparing the current policy with the proposal, such weekly decline a 8.22% in purchasing costs, a 95.47% cost of ordering and a 54.6% of total costs.

© 2015 Universidad ICESI. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## JEL classification:

C44, L8, L81

## Keywords:

Supply

Multilevel

Optimization

\* Autor para correspondencia. Gran Bretaña 1093, Playa Ancha, Valparaíso, Chile.  
Correo electrónico: [Fernando.rojas@uv.cl](mailto:Fernando.rojas@uv.cl) (F. Rojas Zúñiga).

## Proposta de coordenação da oferta de drogas demanda multinível. Um caso chileno ilustrativo

R E S U M O

Classificações JEL:  
C44, L8, L81

Palavras-chave:  
Abastecimento  
A vários níveis  
Otimização

O sistema de fornecimento de medicamentos na atenção primária à saúde no Chile, tem um único fornecedor nacional e não considera a demanda de vários níveis para o cálculo da aquisição, gerando excedentes de estoques. Este artigo propõe uma revisão da política de abastecimento regular que usa uma previsão probabilística de demanda, modelagem da estrutura de dependência individualmente e através de cópulas bi-variadas, alcançando a coordenação da demanda nos vários níveis minimiza os custos associados com a aquisição, manutenção e ordem. A validação da proposta foi realizada em uma amostra de 104 medicamentos fornecidos por 3 anos num centro de saúde da família chileno. Ao comparar a atual política com a proposta, a última declínio 8,22% os custos de compra, um custo 95,47% das encomendas e 54,6% dos custos totais numa semana.

© 2015 Universidad ICESI. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este é um artigo Open Access sob a licença de CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### 1. Introducción

La Atención Primaria de Salud (APS), perteneciente al Ministerio de Salud de Chile (MINSAL), constituye el primer nivel dentro de la organización del sistema de salud chileno y considera la mayor cobertura poblacional con la menor complejidad en las prestaciones de servicio. Tiene por objetivo resolver los principales problemas de salud de la comunidad en la red de establecimientos de atención ambulatoria, y es por tanto la puerta de entrada al sistema de salud público chileno (MINSAL, 2008), integrando acciones de prevención, promoción, tratamiento y rehabilitación de la salud de las personas. Según las directrices ministeriales del país (MINSAL, 1995), las unidades de farmacia de estos niveles de prestación de servicios de salud tienen dentro de sus responsabilidades: asegurar la disponibilidad de medicamentos e insumos médicos para la comunidad, liderar, administrar, supervisar y controlar el uso racional de los medicamentos, cumplir las directrices determinadas por las autoridades de salud tanto locales como nacionales, y cumplir con la política sanitaria vigente.

Entre los años 2004 y 2007, período en que el país inicia una reforma de salud, el gasto público en medicamentos creció en un 37%, pasando de 93,5 miles de millones de pesos chilenos (MM\$) a 128 MM\$, mientras que en el sector privado lo hizo tan solo en un 17%, pasando de 409,9 MM\$ a 480,1 MM\$ (MINSAL, 2010). No obstante el crecimiento presentado en el gasto público y privado en medicamentos, Soto (2001, p. 68) señala que «los recursos que son destinados al gasto farmacéutico son limitados, por lo que es necesario racionalizar su consumo y priorizar en la asignación de estos a las opciones que presentan mayor ventaja económica». Según el mismo autor, lo anterior se debe a que las necesidades sanitarias de la población crecen a una velocidad mayor de lo que lo hacen los recursos disponibles, básicamente debido a un envejecimiento de la población que presenta patologías con tratamientos crónicos, donde el desarrollo de nuevas tecnologías médicas es más eficaz pero a la vez más caro en cuanto al costo promedio de los medicamentos y el tratamiento de enfermedades críticas. Así, el Estado chileno, con el fin de aumentar la calidad del servicio y disminuir los costos directos a las personas, crea el plan Garantías Explícitas de Salud (GES), que está vinculado a garantías de acceso, oportunidad, protección financiera y calidad para las personas asociadas al Fondo Nacional de Salud (FONASA) y a las Instituciones de Salud Previsional Privadas (ISAPRES). Por estas razones se hace imprescindible racionalizar y priorizar la asignación de recursos disponibles en el tratamiento de enfermedades donde una parte del gasto se compone principalmente de medicamentos.

Considerando que la disponibilidad y el acceso tanto a medicamentos como a insumos médicos son vitales para la realización de prestaciones integrales en la APS, el control en los diferentes puntos

que conforman la cadena de abastecimiento de dichos productos tiene una relevancia indiscutible, desde su adquisición hasta su dispensación y/o utilización (MINSAL, 2008). En razón de lo anterior, resulta fundamental para las políticas públicas del país en el sector salud articular las mejoras logísticas necesarias para una buena atención al usuario, justificando el planteamiento de investigaciones e intervenciones en las operaciones del área, como la mostrada en el presente trabajo.

Según se representa en la figura 1, el sistema de abastecimiento de las unidades de farmacia de la APS en Chile corresponde a un modelo de multiniveles de demanda, donde existe una bodega central que actúa como intermediario entre proveedores y las unidades que reciben la demanda de medicamentos e insumos médicos, entre ellas la propia farmacia que realiza la dispensación de recetas a pacientes cumpliendo las funciones de programación de necesidades, almacenamiento, conservación y distribución de este tipo de productos, además de otras unidades de atención de pacientes. Según Vasallo (2010), el proveedor mayoritario de medicamentos e insumos médicos corresponde a la Central Nacional de Abastecimiento (CENABAST), quien maneja más del 75% del abastecimiento de este tipo de productos a nivel público, de tal manera que operacionalmente puede considerarse un supuesto de proveedor único.

Al analizar el sistema anteriormente descrito, se puede notar que uno de los grandes problemas de gestión y políticas públicas en este sector radica en la falta de políticas de abastecimiento fundamentadas en la metodología científica, con el fin de optimizar los costos involucrados en el sistema. Actualmente la asignación de recursos económicos en materia de fármacos e insumos médicos para la gestión de la APS en Chile se programa siguiendo un proceso empírico de ensayo y error en distintos periodos de tiempo. La literatura señala que el enfoque empírico de ensayo y error anteriormente indicado sobrestima la demanda de las unidades a abastecer, denominando este resultado como «efecto látigo» (Lee, Padmanabhan y Whang, 2004). Este efecto de generación de sobreexistencia se acentúa cuando la demanda es poco previsible (Chatfield, Kim, Harrison y Hayya, 2004).

De esta forma, en el presente trabajo se desarrolla una propuesta metodológica de suministro coordinado para estos multiniveles de abasto, la cual se basa en un enfoque que contempla herramientas científicas cuantitativas para la resolución del problema, logrando minimizar los costos de compra, de almacenamiento y de ordenar involucrados. Sin embargo, se entiende que la adopción de las



Figura 1. Cadena de abastecimiento de las unidades de farmacia de la APS.

Fuente: elaboración propia.

políticas propuestas no será inmediata, sino que operarán luego de que el comité de farmacia del establecimiento haya definido el arsenal terapéutico que garantice la eficacia, la seguridad y la conveniencia para el paciente.

El presente documento comprende las siguientes partes: la sección 2 ofrece una revisión del estado del arte, respecto a aproximaciones de resolución de problemas de abastecimiento en multiniveles y aportes de los métodos estocásticos para modelar el comportamiento de la demanda de productos; la tercera sección muestra una metodología adaptada a un caso tipo, donde a partir de datos reales se representa la adopción de la política de abastecimiento con base en criterios científicos; la sección 4 comprende los resultados del trabajo, los cuales dan a conocer los ahorros obtenidos en los costos involucrados, y finalmente en la sección 5 se discuten los alcances, las limitaciones y las futuras derivaciones del trabajo realizado.

## 2. Marco teórico

El presente marco teórico contiene una revisión de las principales soluciones científicas para el abastecimiento de productos cuando existen múltiples niveles de demanda, y donde esta variable es aleatoria y modelable por distribuciones de probabilidad. De esta manera se persigue disminuir la posibilidad de generar superávit de inventarios por falta de coordinación en los modelos de abastecimiento.

### 2.1. Aproximaciones de resolución de problemas de abastecimiento en multiniveles

La cadena de abastecimiento de la APS chilena está constituida por un sistema de requerimientos de inventarios en multinivel, conformado por proveedores, bodega central y unidades de servicio (que reciben demanda y también se deben abastecer). Al avanzar en la cadena se puede notar un incremento artificial de los requerimientos de los usuarios, lo que produce una distorsión y amplificación de la variabilidad de la demanda real con el fin de evitar faltantes, dando origen al efecto látigo (Lee et al., 2004). En este fenómeno, las cantidades de productos en las órdenes de compra al proveedor tienden a tener una gran diferencia con las cantidades de productos que consume el usuario (distorsión de la demanda), y esta distorsión se propaga hacia los peldaños siguientes de la cadena de abastecimiento de forma amplificada. Lo anterior ocurre por el mal flujo de información sobre los requerimientos en cada etapa de la cadena de abastecimiento (Lee et al., 2004). Como consecuencia de este fenómeno, se produce un aumento en las cantidades de productos a comprar y la necesidad de más espacio para almacenar, invirtiendo capital de forma innecesaria (Chatfield et al., 2004).

Según Lee et al. (2004), algunos de los factores que generan el efecto látigo son la naturaleza estocástica de la demanda. Por ejemplo, si una unidad de salida experimenta un aumento de la demanda en un período de tiempo, el sistema utilizará esta información para los requerimientos futuros, realizando órdenes anticipadas ante este crecimiento de la demanda, siendo solo un aumento aleatorio y no un patrón a considerar. Por otra parte, debido a la falta de coordinación de los diferentes niveles, no se pueden generar ahorros debido a que las compras de insumos son para las diferentes unidades de APS, encareciendo la cadena de suministros.

A continuación se presentan algunos enfoques con los que se ha enfrentado la optimización del efecto látigo en condiciones similares al abastecimiento de medicamentos e insumos médicos en APS.

Una política de abastecimiento de productos en un escenario multinivel es llamada estacionaria cuando la bodega y/o las unidades de salida tienen un intervalo fijo de tiempo para pedir sus productos en igual cantidad; por otro lado, es llamada anidada

cuando las unidades de salida hacen sus pedidos de productos cada vez que la bodega lo hace. Si una política considera estas 2 cualidades, se considera estacionaria-anidada (Roundy, 1985). En este sentido, Schwarz (1973) calculó una política estacionaria y anidada para el problema de una bodega con  $N$  unidades de salida, minimizando los costos promedios del sistema por unidad de tiempo en un horizonte infinito, considerando una demanda uniforme por unidad de tiempo. De esta manera, determinó ciertas propiedades para establecer políticas óptimas, las cuales llamó políticas básicas de abastecimiento. Estas son: a) la bodega solo se abastece cuando por lo menos una de las unidades de salida tiene inventario cero del producto; b) la entrega de productos a las unidades por parte de bodega solo se hace cuando estas tienen inventario cero, y c) todas las reposiciones que se hacen a las unidades entre períodos de tiempo son de igual tamaño. Con estos supuestos, se pueden establecer políticas óptimas cuando existe una unidad de salida, y es cercana a las óptimas cuando se tiene un sistema de 2 unidades a abastecer. Esto se debe a que al aumentar el número de unidades de salida a abastecer, los valores obtenidos en las ecuaciones para determinar las políticas se alejan de lo óptimo y, por ende, se hacen más difíciles de calcular.

Respecto a Graves y Schwarz (1977), proponen un método para calcular políticas óptimas estacionarias y anidadas para el sistema de una bodega y  $N$  unidades de salida a abastecer. Sus resultados son considerados muy cercanos a valores óptimos; sin embargo, el método computacional para su cálculo incrementa exponencialmente su complejidad al ir aumentando el número de unidades de salida a abastecer.

Por otra parte, Roundy (1985) introduce un conjunto de políticas de abastecimiento más generales, llamadas políticas de ratio-entero, que no son ni estacionarias ni anidadas. Las políticas de ratio-entero se caracterizan porque el intervalo de reposición de cada unidad de salida es un múltiplo entero del intervalo de reposición de la bodega. El autor presenta 2 soluciones para el sistema planteado. La primera solución propone simplemente que el intervalo de reposición de cada unidad de salida es un múltiplo entero del intervalo de reposición de la bodega, lo que permite al usuario elegir los tiempos de reposición, entregando un error relativo cercano al 6%. La segunda solución propone que cada unidad de salida hace el pedido de los productos en un intervalo de tiempo que es múltiplo de 2 del intervalo de tiempo que ocupa la bodega para hacer sus pedidos al proveedor, comprobando que todas las posibles soluciones poseen errores relativos cercanos a un 2%. El error relativo es importante, debido a que a medida que este aumenta, la probabilidad de desabastecimiento es mayor, provocando gastos de bolsillo en los usuarios al tener que comprar en forma privada los medicamentos recetados, lo cual afecta de manera directa a la economía de los hogares (Vasallo, 2010). Por otro lado, el que no haya suficiente abasto de insumos médicos provoca una deficiente calidad en los tratamientos y procedimientos, afectando de manera directa la salud de los usuarios.

En este orden de ideas, Lu y Posner (1994) desarrollan un método para la solución del problema planteado, siendo similar a la segunda propuesta por Roundy (1985), pero solo evalúa un número fijo de posibles soluciones. Según los autores, este nuevo método es más fácil, rápido y con resultados similares a los de Roundy (1985).

Referente a Abdul-Jalbar, Gutiérrez y Sicilia (2006), proponen un nuevo método para la solución del problema de una bodega con  $N$  unidades de salida a abastecer, forzando a que el cociente entre el tiempo de reabastecimiento de la bodega y el tiempo de reabastecimiento de la unidad de salida en cuestión sea un número entero, pero no necesariamente una potencia de 2. Desde un punto de vista práctico esta limitación es muy importante, ya que proporciona una manera más restringida de determinar el tiempo de reabastecimiento de la bodega y de dicha unidad de salida a abastecer.

Los autores [Hernández, Amaya y Velasco \(2008\)](#) idearon un modelo extendido del trabajo de [Abdul-Jalbar et al. \(2006\)](#), el cual toma el escenario de un sistema de inventarios de revisión periódica multiproducto de 3 niveles, coordinando la bodega central tanto con los proveedores como con las unidades de salida de un hospital para cada uno de los artículos existentes. Su objetivo es determinar una política de coordinación eficiente basada en la minimización de hacer el pedido (ordenar), y mantener inventario en la bodega y en cada una de las unidades a abastecer, siendo un factor determinante para optimizar la utilización de recursos económicos destinados a medicamentos e insumos médicos. Finalmente, autores como [Ruiz, Ablanedo y Ayala \(2012\)](#) introducen la flexibilidad y el incumplimiento en la entrega de proveedores como una variable más a considerar en este tipo de modelos, la cual no es considerada en este trabajo debido a que solo se hace alusión al proveedor mayoritario del sistema (CENABAST), el cual cuenta con plazos establecidos por licitación normativa para responder a la demanda del sistema público, asegurando la disponibilidad en plazos determinados ya sea vía canales de distribución públicos o privados.

La posibilidad de modelar probabilísticamente la demanda y la posibilidad de cumplir los supuestos del modelo planteado por [Hernández et al. \(2008\)](#) hacen posible la adaptación de esta metodología al presente trabajo. De esta forma, los supuestos de este modelo son: a) es posible considerar un sistema coordinado de un solo proveedor; b) ambiente de distribución y consumo multiproducto; c) la tasa de demanda de la bodega central y en las unidades de salida de APS a abastecer por esta es conocida y aleatoria en el tiempo (con valor esperado y varianza conocida); d) los costos de transporte entre bodega central y unidades de salida de la APS son despreciables; e) no se permiten faltantes ni pedidos atrasados; f) el costo de almacenar (mantener) el inventario se considera prorrateado para cada producto en la bodega y en cada unidad de salida, y g) el costo de hacer el pedido (ordenar) se asume independiente del producto, dependiendo únicamente del centro de almacenaje al que se haga referencia (bodega o unidad de salida).

Esta metodología permitiría disminuir el efecto látigo en diferentes series de tiempo, al aplicar inteligencia distribuida para cada actor de la cadena de abastecimiento, añadiendo a este conjunto capacidades de planificación, aprendizaje y comunicación entre este sistema multinivel. Sin embargo, resulta fundamental considerar que las tasas de demanda de los productos no son constantes sino variables aleatorias, sin un modelo causal capaz de explicar completamente su comportamiento, y es por esto que se deben considerar modelados estocásticos útiles en el establecimiento de un valor esperado de esta variable.

## 2.2. Modelado estocástico de la demanda de productos

La actual asignación de recursos económicos, en lo que respecta a medicamentos e insumos médicos en la APS chilena, se programa considerando el consumo promedio histórico de estos productos y siguiendo un proceso empírico de ensayo y error en los distintos periodos de tiempo. Diversos autores manifiestan que esta forma de trabajo sobrestima la demanda de productos ([Vidal, Londoño y Contreras, 2004](#)).

Es necesario anotar que la demanda de las cantidades de medicamentos e insumos médicos no pueden ser previstas exactamente por múltiples factores: llegada de usuarios al sistema y factores epidemiológicos, entre otros, convirtiéndola en una variable aleatoria, pues la varianza de esta es mayor que cero ([Kotz, Balakrishnan y Johnson, 2004](#)). Afortunadamente, el comportamiento de variables de este tipo pueden ser descritas adecuadamente mediante un modelo de distribución de probabilidad ([Kotz et al., 2004](#)) donde generalmente la distribución normal se ha utilizado para describir el comportamiento para los datos de demanda de productos ([Silver y Peterson, 1985](#)). Sin embargo, en muchos casos la distribución

normal puede ser inadecuada para describir el comportamiento de estos datos, por lo que resulta de alta relevancia encontrar una distribución que se ajuste de mejor forma a los datos ([Castro-Kuriss, Kelmansky, Leiva y Martínez, 2010](#)).

Un enfoque para hacer frente a los datos no normales es su transformación mediante alguna función, como las transformaciones de Johnson o de Box-Cox, con el fin de normalizar los datos ([Johnson, 1949; Box y Cox, 1964](#)). Sin embargo, a pesar del uso común de algunas transformaciones de datos, las cuales se prueban como transformaciones correctas por análisis estadísticos, se reduce la potencia del estudio ([Hsu, Pearn y Wu, 2008; Leiva, Sanhueza y Angulo, 2009a](#)); es así que aunque se utilice una apropiada transformación, existen problemas de interpretación de los resultados obtenidos ([Leiva et al., 2009a](#)). Un enfoque alternativo y más adecuado para evitar el uso de transformaciones de datos es modelar directamente a través de una distribución apropiada, como lo muestran [Mentzer y Krishnan \(1988\)](#), quienes estudiaron el efecto no normal en el control de inventario.

Involucrando la variabilidad en los modelos de inventario se pueden introducir mejoras en la precisión del abastecimiento. La perspectiva estocástica del problema de la demanda y la política de inventarios puede ser modelada por una distribución estadística. Algunos ejemplos de distribuciones estadísticas, además de la normal, que se usan para el modelado de la demanda de inventarios son: Birnbaum-Saunders (BS), Birnbaum-Saunders t de Student (BST) ([Rojas, Leiva, Wanke y Marchant, 2015; Kotz et al., 2004; Sanhueza, Leiva y Balakrishnan, 2008; Leiva, Sanhueza, Kelmansky y Martínez, 2009b; Kotz, Leiva y Sanhueza, 2010; Leiva, Ponce, Marchant y Bustos, 2012](#)), Gamma (o Erlang) ([Burgin, 1975; Das, 1976; Gallego, Jin, Murie, Zhang y Yildiz, 2007](#)), Gauss inversa (IG) ([Tadikamalla, 1981](#)), Log-Normal (LN) ([Tadikamalla, 1979; Cobb, Rumí y Salmerón, 2013](#)), Weibull ([Lau, 1989](#)) y la distribución uniforme ([Chen, Feng y Simchi-Levi, 2002; Wanke, 2008](#)). La metodología de estimación de los parámetros en las distribuciones BS, BST, Gamma, IG, LN y Weibull se realiza mediante máxima verosimilitud ([Barros, Paula y Leiva, 2009](#)).

En este contexto, bajo el concepto de inventario se entenderá la existencia de productos íntimamente ligados a la necesidad de obtención en el momento y lugar exacto en el que se requieren, considerando a los medicamentos e insumos médicos del sistema multinivel de la APS como tales ([Arévalo, 1998](#)). La consideración presupuestaria de estos recursos o activos financieros juega un papel fundamental para la correcta operación de la APS.

## 3. Metodología

Para lograr el objetivo de validar los beneficios económicos de una propuesta de política de abastecimiento coordinada para APS respecto de una situación (caso actual), la cual es posible refrendar mediante la cuantificación de ahorros en cantidades compradas, costos de compra, almacenamiento y de ordenar, se caracterizó la provisión, la demanda de productos y los costos aludidos en una institución tipo de APS chilena. Los datos de esta institución tipo corresponden al Centro de Salud Familiar (CESFAM) de Concón, V Región de Chile, recogidos desde el 1 de enero de 2012 hasta el 31 de diciembre de 2014.

A continuación, en la sección 3.1 se muestra el planteamiento del diseño de la propuesta de política de abastecimiento, para lo cual inicialmente se delimitan los productos a estudiar; posteriormente se verifica el cálculo de la demanda de productos en multiniveles, y luego se muestra la forma de calcular los costos de almacenamiento y ordenar. En la sección 3.2 se plantea el algoritmo de optimización del sistema multinivel coordinado. Finalmente, en la sección 3.3 se muestra la forma de cuantificación de los ahorros en los costos en que incide la política de abastecimiento propuesta.



### 3.1. Diseño de la propuesta de política de abastecimiento

#### 3.1.1. Delimitación de productos a trabajar en el estudio

En primer término se delimitará el surtido de inventarios a trabajar tanto para la proposición de la política de abastecimiento como para la cuantificación de los ahorros a obtener mediante la determinación de productos que resultan ser críticos en el costo de las compras de la institución tipo de APS chilena, según la clasificación «ABC» adaptada desde el trabajo de Parada (2009) y Rojas y Paniagua (2013), obteniéndose un total de 104 productos críticos.

#### 3.1.2. Cálculo de tasas de demanda de productos críticos en los multiniveles

Para calcular la demanda real de los productos críticos (medicamentos e insumos médicos) en bodega central y unidades de APS (farmacia y otros) de la institución tipo, se determinó el consumo en forma semanal durante un período de 3 años. Posteriormente se estimó la tasa de demanda esperada según la distribución de probabilidad que mejor se ajustaba a los datos obtenidos. Para la realización de este cálculo, se programó en el software de uso gratuito R-project versión 3.1.1 ocupando el repertorio `life_distributions.R` y usando los siguientes paquetes estadísticos: `gamlss` (complementos: `Splines`, `gamlss.dist`, `gamlss.data`, `nlme`) y `robustbase`, y los códigos de programación para los paquetes `gbs`, `bs` e `ig`: `ig.R`, `bs 2 O.R`, `gbs package 1.1.R`, `bs package (RE-Corregido)`.

En segundo lugar, se ejecutó el código informático denominado «`analisis.R`» para cada producto de bodega y unidades de APS, realizando un análisis paramétrico para las siguientes distribuciones: BS, BST, Gamma, Gaussiana inversa, Lognormal y Weibull. Para cada una de las distribuciones mencionadas se obtuvo la estimación de los parámetros: AIC (criterio de información Akaike), BIC (criterio de información Bayesiano), qq-plot (grafico cuantil versus cuantil), pp-plot (grafico probabilidad cuantil empírico versus probabilidad distribución), Envelope test (análisis envolvente de datos para determinar eficiencia de ajuste de distribución de probabilidad), test Kolmogorov Smirnov (KS). A través de la función `boxplot`, se pudo observar que la demanda semanal de algunos productos tiene una distribución asimétrica, y la función `adjbox` produce `boxplots` ajustados para distribuciones asimétricas. Mediante el análisis envolvente de datos se observa el modelo de distribución de probabilidad que se ajusta más eficientemente a la cantidad empírica de productos demandados semanalmente.

A partir de lo anterior, se obtuvo el valor de la tasa de demanda esperada semanal para cada producto, el cual indica el valor esperado para las cantidades del producto  $i$  ( $x_i$ ) consumidas en ese periodo. El valor aludido se calculó como el valor esperado para la distribución que mejor se ajusta ( $E(x_i)$ ), en este caso mayoritariamente (78% de los productos) Log-Normal, calculado con base en la expresión (1):

$$E(x_i) = e^{\mu_i + \theta_i^2/2} \quad (1)$$

Donde  $\mu_i$  corresponde al logaritmo natural de la variable y  $\theta_i$  es la desviación estándar del logaritmo natural de la variable. De la misma manera, la desviación estándar de esta distribución puede ser calculada desde (2):

$$\sigma_{(x_i)} = (e^{\theta_i^2} - 1)e^{2\mu_i + \theta_i^2} \quad (2)$$

#### 3.1.3. Cálculo de costos de almacenamiento y de ordenar productos críticos

Se considera el costo de almacenamiento de los productos críticos como la sumatoria de los costos involucrados con el fin de almacenar un producto en el inventario durante un periodo de tiempo determinado ( $Ca_i$ ), método adaptado de Eppen, Gould, Schmidt, Moore y Weatherford (2000). Para su determinación en

**Tabla 1**

Costos de almacenamiento semanal en APS

Costo de almacenamiento semanal considerado ( $Ca_n$ en bodega y $Ca_{nk}$ en unidades de salida de APS): Definición
$Ca_1$ - $Ca_{1k}$ . Costo correspondiente a envases, embalajes, impresos, materiales de limpieza y oficina, en los que incurre el almacén o unidad de salida que almacena
$Ca_2$ - $Ca_{2k}$ . Costo del combustible gastado por los equipos de manipulación durante la recepción, el despacho y el almacenamiento
$Ca_3$ - $Ca_{3k}$ . Costo de energía gastada en el almacén o unidad de salida, incluyendo la necesaria para la iluminación, equipos de climatización, equipos de procesamiento de la información y carga de baterías de equipos de manipulación
$Ca_4$ - $Ca_{4k}$ . Costo de salario y seguridad social de todo el personal que labora en el almacén o unidad de salida, excepto bodeguero
$Ca_5$ - $Ca_{5k}$ . Amortización de las edificaciones y redes para la recepción, almacenamiento y despachos, y de los equipos de manipulación, climatización, pesaje, procesamiento de información y medios de almacenamiento
$Ca_6$ - $Ca_{6k}$ . Costo de las mermas, pérdidas, deterioros y obsolescencia que sufren los productos en el periodo de almacenamiento
$Ca_7$ - $Ca_{7k}$ . Costo de seguros, impuestos, comunicaciones y alquiler de instalaciones y equipos durante el almacenamiento

Fuente: elaborado con base en Eppen et al. (2000).

la bodega central y en las unidades de APS, se tomaron en cuenta los costos anuales respectivos mostrados en la tabla 1.

El cálculo del costo unitario de almacenar una unidad de cualquier producto  $i$  durante una semana, tanto para bodega central ( $Cab_i$ ) como unidades de APS ( $Ca_{ik}$ ), se realizó mediante una adaptación de Gallego (1990), generando las ecuaciones (3) y (4), respectivamente:

$$Cab_i = \frac{1}{Q_{i/2}} \sum_{n=1}^7 Ca_n \quad (3)$$

$$Ca_{ik} = \frac{1}{Q_{ik/2}} \sum_{nk=1}^7 Ca_{nk} \quad (4)$$

Siendo  $Q_{i/2}$  la cantidad media abastecida del producto  $i$  en la bodega, y  $Q_{ik/2}$  la cantidad media abastecida del producto  $i$  por bodega a la unidad  $k$  de APS.

El costo de hacer el pedido (ordenar) (CO) se determinó como la sumatoria de los costos semanales que se incurren al generar una orden de pedido ( $Co_n$ ) en relación con la cantidad de pedidos generados durante el mismo periodo, tanto en bodega como en unidades de APS, los cuales se pueden apreciar en la tabla 2. Esta metodología se adoptó de Hernández (2011).

El cálculo del costo unitario de generación de pedidos desde la bodega hacia cualquier proveedor  $j$  ( $COB_j$ ) y el costo de ordenar para cada unidad de APS hacia la bodega ( $CO_k$ ) se hicieron mediante las expresiones (5) y (6):

$$COB_j = 1/O_j \sum_{n=1}^3 Co_n \quad (5)$$

$$CO_k = 1/O_k \sum_{nk=1}^3 Co_{nk} \quad (6)$$

**Tabla 2**

Costos anuales involucrados en la generación de una orden de pedido en APS (Institución tipo, Cesfam Concón)

Costo de ordenar anual considerado ( $Co_n$ en bodega y $Co_{nk}$ en unidades de salida de APS): Definición
$Co_1$ - $Co_{1k}$ . Suma de los costos de transporte exclusivamente vinculados al pedido
$Co_2$ - $Co_{2k}$ . Costos administrativos vinculados al circuito del pedido (insumos y gastos de servicios generales para generación de orden)
$Co_3$ - $Co_{3k}$ . Costos de recepción e inspección (sueldo y leyes sociales bodeguero)

Fuente: elaborado con base en Hernández (2011).

Donde  $O_j$  es el número de órdenes de pedido generadas para el proveedor  $j$  y  $O_k$  es el número de órdenes de pedido generadas desde la unidad  $k$  de APS a la bodega.

### 3.2. Política de abastecimiento según algoritmo de optimización del sistema multinivel coordinado

Para el cálculo de la política de abastecimiento que minimiza la asignación de recursos farmacéuticos e insumos médicos críticos, en un sistema coordinado entre proveedores, bodega y unidades de APS es necesario inicialmente definir la formulación matemática del algoritmo optimizador a utilizar (adaptado de [Hernández et al., 2008](#)). Dicho cálculo fue realizado ocupando el software Excel® de Microsoft Office versión 2012.

A continuación se presenta la notación ocupada para la aplicación del algoritmo.

- Producto: conjunto de productos, indexado con  $i$ , donde  $i = \{1, \dots, I\}$ .
- Proveedor: conjunto de proveedores, indexado con  $j$ , donde  $j = \{1, \dots, J\}$ .
- Unidades de APS a abastecer: conjunto de unidades, indexado con  $k$ , donde  $k = \{1, \dots, K\}$ .

Parámetros de entrada:

- $CO_{bj}$ : costo unitario de generación de pedidos en la bodega al proveedor  $j$ .
- $CO_k$ : costo unitario de generación de pedidos en la unidad  $k$  de APS a abastecer por la bodega central.
- $Cab_j$ : costo unitario de almacenamiento semanal del producto  $i$  en la bodega.
- $Ca_{ik}$ : costo unitario de almacenamiento semanal del producto  $i$  en la unidad  $k$  de APS.
- $db_{ij}$ : valor esperado para la tasa de demanda semanal del producto  $i$  en la bodega para el proveedor  $j$  (variable aleatoria).
- $d_{ik}$ : valor esperado para la tasa de demanda semanal del producto  $i$  en la unidad  $k$  de APS (variable aleatoria).
- $v_{ij}$ : costo unitario de adquisición ponderado por las cantidades abastecidas en bodega del producto  $i$  para el proveedor  $j$ .
- $tb_{ij}$ : tiempo de reaprovisionamiento de la bodega para el producto  $i$  con el proveedor  $j$ .
- $tlb_{ij}$ : tiempo de latencia para producto  $i$  entregado desde el proveedor  $j$  hacia la bodega = 4 semanas,  $\forall i$  (determinación empírica en institución tipo).
- $t_{ik}$ : tiempo de reaprovisionamiento para el producto  $i$  desde la unidad  $k$  de APS con la bodega central.
- $tl_{ik}$ : tiempo de latencia para producto  $i$  entregado desde la bodega hacia la unidad de salida  $k$  de APS = 1 semana,  $\forall i$  (determinación empírica en institución tipo).

Así, el modelo de política de abastecimiento coordinado propuesto se desarrolla bajo la minimización de los costos anuales totales de compra (multiplicando la expresión (6) por 52 semanas), de mantenimiento y de ordenar inventarios, para la bodega y todas las unidades de APS que se encuentran conectadas a ella, siendo la función objetivo del problema (F) la mostrada en la siguiente expresión (7):

$$F = \text{Costos totales bodega} + \text{Costos totales unidades de APS} \quad (7)$$

Cuyo ordenamiento algebraico puede ser expresado como (8):

$$F = \left( \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I CO_{bj} / (tb_{ij} + tlb_{ij}) \right) + \left( \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I v_{ij} db_{ij} + \frac{Cab_i db_{ij} (tb_{ij} + tlb_{ij} + Cab_i es_{ij})}{2} \right) + \left( \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \left( \frac{CO_k}{(t_{ik} + tl_{ik})} \right) + \left( \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I Ca_{ik} d_{ik} (t_{ik} + tl_{ik} + Ca_{ik} es_{ik}) / 2 \right) \right) \quad (8)$$

Considerando la variabilidad de la demanda en un sistema de revisión de periodos fijos en la bodega, el valor esperado para el tiempo de reaprovisionamiento de la bodega para el producto  $i$  con el proveedor  $j$  puede ser calculado desde (9):

$$tb_{ij} = \sqrt{\frac{2CO_{bj}}{Cab_i db_{ij}}} \quad \forall i \quad (9)$$

Además, se considera una existencia de seguridad ( $es_{ij}$ ) dada por (10):

$$es_{ij} = k_{ij} \sqrt{(tb_{ij} + tlb_{ij}) \sigma_{ij}}, \quad (10)$$

donde  $k_{ij}$  corresponde a un factor asociado a un determinado nivel de servicio del ciclo. Para el caso se ocupará un nivel de *in-stock* (o *en-existencia*) de un 95%, considerando la función cuantil de cada una de las distribuciones de probabilidad asociadas a la tasa de demanda de producto  $i$  por la bodega hacia el proveedor  $j$ , y  $\sigma_{ij}$  es la desviación estándar de las cantidades de producto  $i$  demandadas durante el tiempo de latencia y aprovisionamiento desde la bodega hacia el proveedor  $j$ .

El valor de máximo abastecimiento inicial para un producto  $i$  en la bodega para el proveedor  $j$  ( $Max_{ij}$ ) se puede calcular desde (11):

$$Max_{ij} = db_{ij} (tb_{ij} + tlb_{ij}) + es_{ij} \quad (11)$$

Dado lo anterior, se puede apreciar que el modelo de optimización es estocástico y considera existencias de seguridad para cubrir la aleatoriedad de la demanda. Nótese que de la misma forma puede ser calculado el valor esperado para el tiempo de reaprovisionamiento del producto  $i$  en las unidades de salida  $k$  de APS (12):

$$t_{ik} = \sqrt{\frac{2CO_k}{Ca_{ik} d_{ik}}} \quad (12)$$

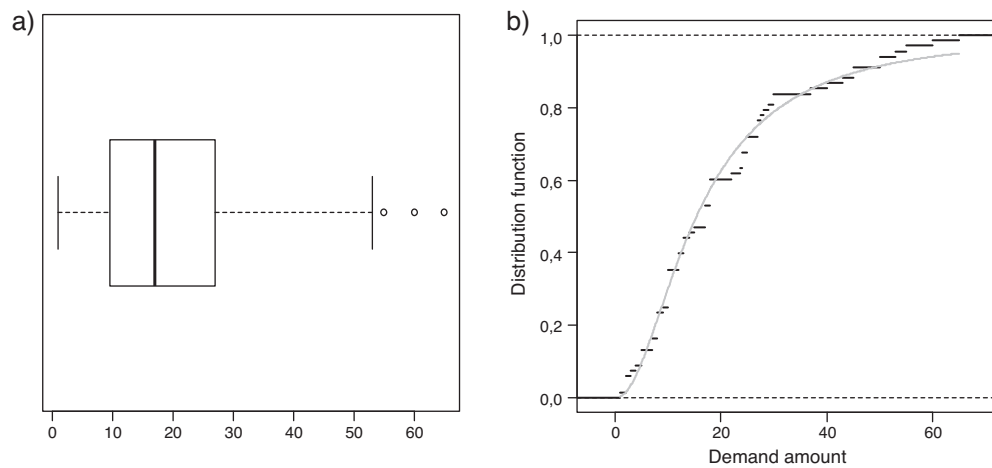
mientras que la existencia de seguridad en cada unidad de salida ( $es_{ik}$ ) vendrá dada por (13):

$$es_{ik} = k_{ik} \sqrt{(t_{ik} + tl_{ik}) \sigma_{ik}} \quad (13)$$

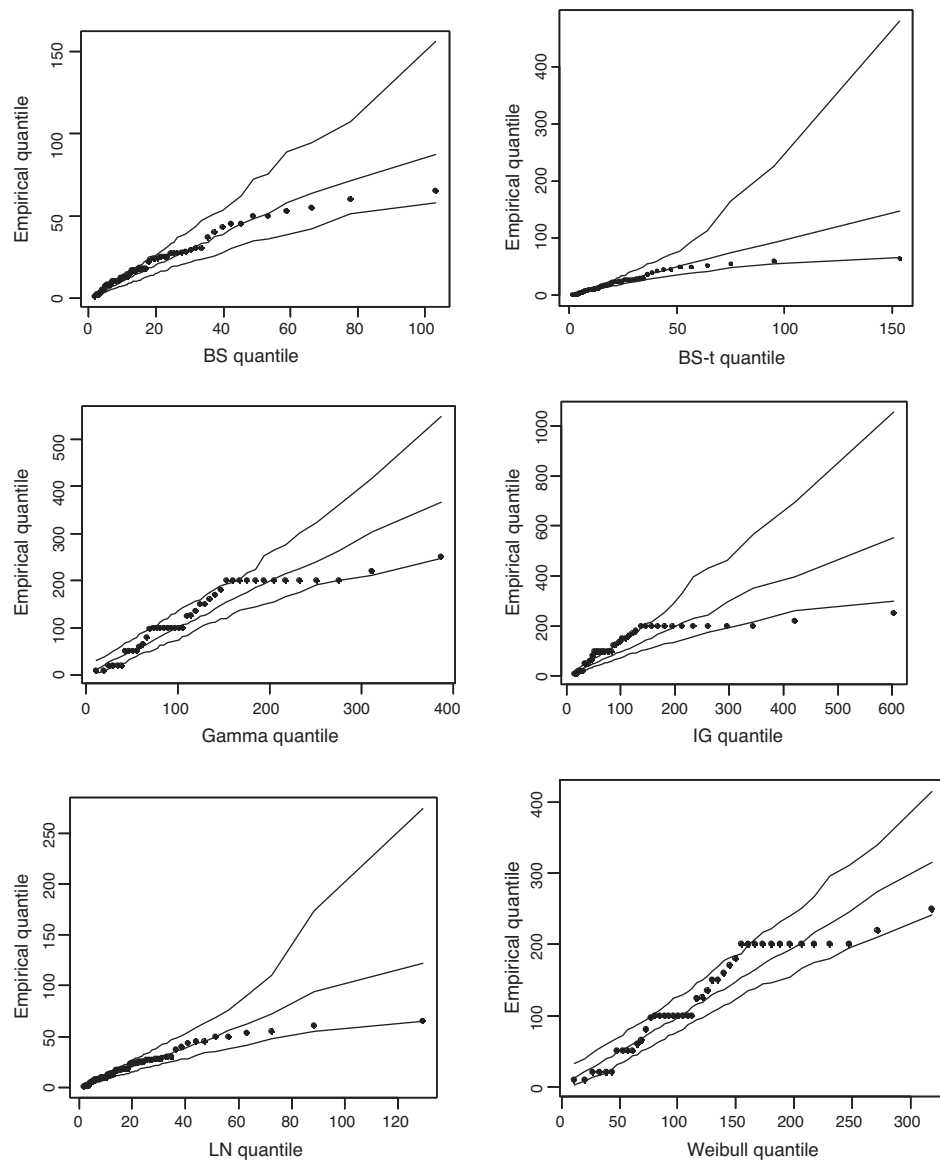
donde la notación es análoga para el producto  $i$  y la unidad de salida  $k$ , siendo  $k_{ik}$  el percentil de seguridad del 95% del *in-stock* para la demanda de  $i$  por la unidad de salida  $k$ , y  $\sigma_{ik}$  la desviación estándar de las cantidades de producto  $i$  demandadas durante el tiempo de latencia y aprovisionamiento desde la bodega hacia la unidad de salida  $k$ . El valor de máximo abastecimiento inicial para un producto  $i$  desde la bodega hacia la unidad de salida  $k$  de APS ( $Max_{ik}$ ) se puede calcular desde (14):

$$Max_{ik} = db_{ik} (t_{ik} + tl_{ik}) + es_{ik} \quad (14)$$

Debido a que los medicamentos se encuentran sujetos a la restricción de que sus periodos de caducidad normalmente son menores a 3 años (156 semanas), se incluyó el uso de esta condición ocupando multiplicadores de Lagrange ( $\lambda_{ij}$  y  $\lambda_{ik}$ ), para posteriormente diferenciar parcialmente las expresiones para cada producto y llegar a soluciones multiproducto ([Lee y Lee, 2013](#)), construidas



**Figura 2.** Diagrama de caja (a) y función de densidad acumulada estimada Log-Normal para un producto tipo (b).  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 3.** Diagramas de probabilidad (envelope test) por distribución a partir de datos de un producto tipo.  
Fuente: elaboración propia.



**Tabla 3**

Resumen descriptivo de los datos de un producto tipo

Min.	Mediana	Media	SD	CV	CS	CK	Rango IQ	Max.	n
0,00	0,00	394,94	723,33	183,15%	2,00	3,66	1.000,00	3.000,00	156

Fuente: elaboración propia.

para la bodega y unidades de APS, respectivamente, según (15) y (16):

$$tb_{ij} \leq 152 \leq \sqrt{\frac{2(Cob_j - \lambda_{ij})}{(Ca_{ij} + 2v_{ij})(db_{ij})}} \text{ en bodega} \quad (15)$$

$$t_{ik} \leq 155 \leq \sqrt{\frac{2(Co_k - \lambda_{ik})}{(Ca_{ik}db_{ik})}} \text{ en unidades de salida de APS} \quad (16)$$

Según Eppen et al. (2000), en sistemas multiproducto de abastecimiento centralizado la correlación entre demandas de productos incide sobre los costos totales del sistema, para lo cual Corbett y Rajaram (2006) establecen la necesidad de modelar la estructura de dependencia de las variables consideradas en un modelo de optimización como el que se ha establecido en la ecuación (8). Para el caso, se detectaron las correlaciones bivariadas existentes entre las tasas de demanda semanales de los medicamentos, se construyeron cópulas bidimensionales que juntan parejas de variables con coeficientes de concordancia de Kendall ( $\tau$ ) o de correlación de Spearman ( $\rho$ )  $> 0,65$  o  $\leq 0,65$ , cada una con una distribución marginal univariada conocida, transformándola en una nueva distribución bivariada conjunta (Escalera y Hernández, 2009), con una función de densidad establecida. Como consecuencia, se tiene que la función de densidad condicional de 2 variables aleatorias relacionadas (ejemplo:  $Y_2$  y  $Y_1$ , con distribución conjunta  $F$ ), donde la

probabilidad de  $Y_2$  dado un valor de  $Y_1$  ( $f_2/1(y_2/y_1)$ ) puede expresarse convenientemente de la siguiente forma (17):

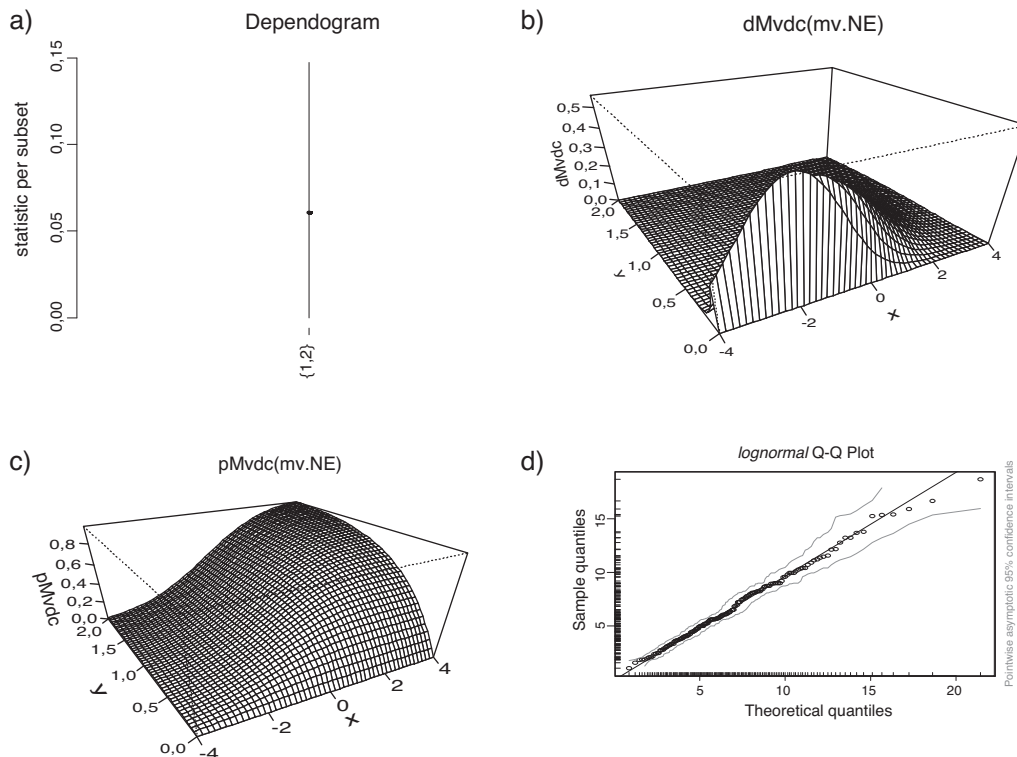
$$f_2/1(y_2/y_1) = f_2(y_2)C[F_1(y_1), F_2(y_2)] \quad (17)$$

donde  $f_2(y_2)$  corresponde a la función de densidad univariada de la variable  $Y_2$ ,  $C$  es la cópula de densidad, y  $F_1(y_1)$ ,  $F_2(y_2)$  son las funciones de probabilidad marginales de  $Y_1$  y  $Y_2$ , respectivamente. De esta manera, evaluando la probabilidad de una tasa de demanda, dado el valor esperado de su pareja, se puede conocer su valor esperado condicionado aplicando la función inversa de probabilidad ( $F^{-1}(\cdot)$ ) (18), para aplicarlo en el modelo de optimización dado en (8).

$$E(y_2/y_1) = F^{-1}(f_2/1(y_2/y_1)) \quad (18)$$

Todos estos cálculos fueron realizados con el paquete: «copula» (complementos: C.n, cCopula, dCopula, pCopula, evCopula, exch-Test, gofCovCopula, gofOtherTstat, setTheta) del software R-project versión 3.1.1

De esta manera el análisis de «copula» fue ocupado en la bodega para 57 referencias que exhibieron correlaciones de Spearman significativas, mientras que la restante cantidad de productos fueron tratados individualmente. Solo una de las unidades de APS exhibió 52 referencias con correlaciones significativas, mientras que las 9 restantes no tuvieron y fueron tratadas en forma individual.

**Figura 4.** Análisis de una cópula bivariada para una pareja de productos tipo con dependencia.

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Cuantificación de ahorros en los costos en que incide la política de abastecimiento propuesta

Para la validación de la política propuesta y estimación del ahorro en la asignación presupuestaria de los recursos económicos de los productos críticos estudiados se compararon los resultados que minimizan el modelo de política de abastecimiento coordinado propuesto versus los datos reales de la institución tipo.

## 4. Resultados

A continuación se muestra el tratamiento estadístico para modelar la tasa de demanda de un producto tipo. La [tabla 3](#) muestra un resumen de los datos de la demanda semanal, el que incluye la mediana (percentil 50), la media, la desviación estándar (SD), y los coeficientes de variación (CV), la asimetría (CS) y la curtosis (CK), tamaño de la muestra (n), entre otros indicadores. Este resumen se obtiene mediante el comando *resumen descriptivo summary* del paquete de EGB en software R-project. En la [tabla 3](#) se observa que el CS y la CK de los datos del producto tipo muestran una distribución con asimetría positiva y curtosis moderada.

La [figura 2](#) muestra el diagrama de caja y el gráfico de la función de distribución acumulativa empírica (ECDF) para los datos de un producto tipo. Estos gráficos se pueden construir con el comando *diagrama de caja ECDF* del software R-project. A partir de la [figura 2](#), se debe tener en cuenta que: a) el diagrama de caja del producto tipo que se presenta en la [figura 2a](#) muestra un sesgo positivo y cola moderadamente pesada que se ve corroborada por un resumen descriptivo en la [tabla 3](#), y b) el mismo diagrama muestra un número moderado de posibles valores atípicos. Basándose en los resultados del análisis envolvente de datos (envelopes de la [fig. 3](#)), las distribuciones Log-Normal parecen ser buenas opciones para modelar los datos del producto tipo, debido al suficiente grado de variabilidad, asimetría y curtosis presente en estos datos.

La [figura 4](#) muestra el análisis de una cópula de distribución bivariada construida a partir del conocimiento de las distribuciones marginales univariadas. El análisis comienza con la estimación de la probabilidad de independencia de la pareja analizada mediante el análisis del dependograma de la [figura 4a](#), el cual se realiza por medio del comando *multIndepTest* del paquete «copula» del software R-project. En la [figura 4b,c](#) se muestran la densidad y la función de probabilidad acumulada, respectivamente, para la cópula construida a partir de las distribuciones marginales univariadas; dado lo anterior, ocupando los comandos *dMvdc* y *pMvdc* también es posible obtener los parámetros de la cópula, así como evaluar probabilidades condicionadas a valores marginales, y posteriormente obtener las funciones inversas con el comando *qMvdc* y la distribución respectiva. Finalmente, en la [figura 4d](#) se muestra el ajuste gráfico cuantil-cuantil de la distribución seleccionada para la cópula en comparación con la distribución teórica (comando *qqplot2*).

Por motivos de extensión, en la [tabla A1 del Anexo](#) se muestra un resumen de los principales parámetros propuestos para modelar probabilísticamente la política de abastecimiento propuesta en bodega (no se muestran en las unidades de salida), y luego se compara con los datos reales de cada producto. Dado lo anterior, se incluyen: la tasa de demanda esperada modelada y promedio real, la desviación estándar de la tasa de demanda modelada y real, el tiempo de reabastecimiento modelado y real, las existencias de seguridad, el nivel máximo de abastecimiento inicial, el valor del multiplicador de Lagrange para restringir el tiempo de reabastecimiento según periodo de caducidad del fármaco, y la distribución estadística modelada para productos individuales y con densidad condicionada con cópula bivariada.

**Tabla 4**  
Validación de política de abastecimiento propuesta v/s datos reales, comparación de costos de almacenar, ordenar, comprar, totales y ahorros

Unidad/ Costo	Datos reales				Política de abastecimiento propuesta				Ahorros anuales			
	Costo de almacenar (\$/semana)	Costo de ordenar (\$/semana)	Costo de compra (\$/semana)	Costo total semanal (\$/semana)	Costo de almacenar (\$/semana)	Costo de ordenar (\$/semana)	Costo de compra (\$/semana)	Costo total semanal (\$/semana)	Costo de almacenar (%)	Costo de ordenar (%)	Costo de compra (%)	Costo total anual (%)
Bodega	705,78	3.216,919,07	2.772,488,30	5.990,862,50	29,132,13	145,846,21	2.544,668,17	2.719,646,51	4,027,67	-95,47	-8,22	-54,60
1	160,20	1.455,55	N/A	1.615,75	233,94	47,53	N/A	281,47	46,04	-96,73	N/A	-82,58
2	303,28	13,950,07	N/A	14,253,35	265,46	48,80	N/A	314,26	-12,47	-99,65	N/A	-97,80
3	827,02	3,418,52	N/A	4,245,54	43,12	13,32	N/A	56,45	-94,79	-99,61	N/A	-98,67
4	576,58	186,69	N/A	763,26	487,72	81,55	N/A	569,26	-15,41	-56,32	N/A	-25,42
5	147,26	537,66	N/A	684,91	778,20	219,32	N/A	997,51	428,46	-59,21	N/A	45,64
6	715,75	5,735,10	N/A	6,450,85	1,197,17	588,40	N/A	1,785,57	67,26	-89,74	N/A	-72,32
7	1,035,84	210,68	N/A	1,246,52	770,65	82,88	N/A	853,54	25,60	-92,00	N/A	-31,53
8	2,656,48	156,80	N/A	2,813,28	1,849,15	146,74	N/A	1,995,89	30,39	-6,41	N/A	-29,05
9	2,075,05	5,536,65	N/A	7,611,70	2,459,90	822,46	N/A	3,282,36	18,55	-55,57	N/A	-56,88
10	119,62	464,87	N/A	584,49	188,64	87,98	N/A	276,63	57,70	-81,07	N/A	-52,67
Total	9,322,84	3,248,571,66	2,772,488,30	6,031,132,15	37,406,09	147,985,19	2,544,668,17	2,730,059,46	4,027,67	-95,47	-8,22	-54,60

N/A: no aplica

Fuente: elaboración propia.

En la [tabla 4](#) se muestra la validación de la política de abastecimiento propuesta mediante la comparación entre los costos de ordenar, almacenar y comprar productos en bodega y unidades de APS, tanto en el sistema propuesto por la política de abastecimiento coordinado para multiniveles estudiada, como los costos reales de la institución tipo y ahorros obtenidos en porcentaje.

## 5. Conclusión

El presente trabajo ha mostrado la necesidad de establecer una política de abastecimiento que coordine los multiniveles que operan actualmente en la APS chilena en torno a la provisión de medicamentos e insumos médicos en este tipo de establecimientos de salud en Chile.

El ahorro del 8,22% en los costos de la compra de productos en bodega central y la reducción de un 95,47% en los costos de ordenar en este mismo nivel generan un cuantioso ahorro para el sistema coordinado completo.

Estos resultados resaltan la magnitud de contar con este tipo de políticas de abastecimiento y reiteran la importancia de seleccionar el control de costos en productos críticos, no tratando a todos los productos por igual sino centrándose en inventarios críticos. Debido a que en el presente trabajo solo se ocuparon los productos que producían el 80% de los costos de compra, es posible extrapolar los resultados para cubrir el total de los productos que pertenecen al surtido de inventarios, con el fin de tener un porcentaje de ahorro económico proporcionalmente aun mayor al propuesto, esto derivado de la optimización de costos lograda por la aplicación de la política de abastecimiento coordinada propuesta.

Debido a la naturaleza de variable aleatoria de las demandas de medicamentos e insumos médicos, estas no pueden ser previstas de manera exacta, siendo necesario encontrar un modelo de distribución de probabilidad que mejor se ajuste a los datos planeados y su estructura de dependencia ([Kotz et al., 2004](#); [Corbett y Rajaram, 2006](#)). En este sentido, el sistema electrónico de datos de APS chileno entrega la posibilidad de obtener un dato confiable de la cantidad de productos consumidos para todos los artículos involucrados tanto en bodega central como unidades de APS. Al ajustar las demandas semanales de dichas subunidades se puede notar que la distribución de probabilidad Log-Normal es la que mejor se ajusta a la mayoría de los datos. Así, se puede comparar este resultado con el de [Cobb et al. \(2013\)](#), en donde los autores buscaron la mejor distribución de probabilidad para determinar la cantidad óptima de inventarios a ordenar por unidad de tiempo utilizada en su estudio (cantidad ordenada durante «Lead Time» o período de latencia de respuesta del proveedor), puntos de reordenamiento y cantidades a abastecer con el fin de reducir los costos de almacenamiento de inventario. [Cobb et al. \(2013\)](#) también

compararon diferentes distribuciones de probabilidad, y la que mejor se ajustaba a su modelo propuesto era la distribución Log-Normal. Por su parte, [Das \(1983\)](#) y [Kamath y Pakkala \(2002\)](#) también proponen la distribución Log-Normal para ajustar datos de demanda de productos.

Según autores como [Vidal et al. \(2004\)](#), la programación de cantidades a comprar en las otras subunidades, considerando el promedio (distribución normal) de tasas de demanda, siguiendo un proceso empírico de ensayo y error en los distintos períodos de tiempo, sobreestima la demanda de productos. Lo anterior es una situación que fue corroborada en la institución tipo estudiada, lo cual se puede atribuir a la falta de coordinación entre las unidades de APS y la bodega. Sin embargo, al comparar las demandas semanales de los productos en los multiniveles con el valor esperado de estos datos en las distribuciones ajustadas, se puede ver que estos valores son un poco mayores que el promedio de las demandas semanales en la distribución normal o gaussiana. Esto puede ser explicado ya que la distribución de probabilidad modela la variabilidad de la demanda y, por lo tanto, genera una cantidad esperada que estará más cercana a los valores de cantidades demandadas que más se repiten ([Mentzer y Krishnan, 1988](#)). Por otro lado, en el modelo propuesto se consideran tiempos de reabastecimiento, lo que hace disminuir la cantidad de pedidos. Lo anterior no da la oportunidad de que se produzca una sobreexistencia de artículos y asegura las cantidades óptimas de abastecimiento a las unidades de APS.

## Financiamiento

Se agradece el financiamiento otorgado por beca de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología de Chile (Conicyt-Chile) para financiamiento de programas de doctorado nacional año 2014.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Agradecimientos

Se agradece al químico-farmacéutico Sr. Mauricio Lecaros la cesión de datos del Centro de Salud Familiar de Concón, Chile, para el desarrollo de este trabajo.

## Anexo.

[tabla A1.](#)

**Tabla A1**

Resumen de parámetros para modelar probabilísticamente la política de abastecimiento propuesta en bodega, en comparación con datos reales

ID	Tasa de demanda (un/sem)	DS Tasa de demanda (un/sem)	$tb_{ij}$ (sem)	Distribución estadística de la demanda	$es_{ij}$ (un)	$Max_{ij}$ (un)	Multiplicador de Lagrange $\lambda_{ij}$ (\$/orden)	Tasa de demanda (un/sem)	DS Tasa de demanda (un/sem)	$tb_{ij}$ (sem)
Modelo probabilístico								Datos reales		
p1	17792,90	11508,34	56,34	BS-t	170955,02	1244642,53	0,00	11508,34	26018,65	0,50
p3	10775,36	6593,70	69,12	Lognormal	97165,71	885050,35	0,00	6593,70	13460,00	0,51
p4	351,52	155,65	21,58	Lognormal	2333,46	11323,78	0,00	155,65	278,85	0,60
p5	1304,30	626,28	37,14	BS-t	9603,10	63268,11	0,00	626,28	834,04	0,65
p8	10342,90	6068,42	66,43	Lognormal	111618,68	840042,32	0,00	6068,42	7794,23	0,84
p9	2340,56	858,88	49,16	BS-t	19892,47	144322,47	0,00	858,88	1392,31	0,95
p10	3207,44	1910,30	61,69	Gamma	28199,84	238880,66	0,00	1910,30	1865,38	0,57
p11	29,08	18,79	16,28	BS-t	196,50	786,36	0,00	18,79	103,46	0,12
p13	454,68	643,72	30,04	Gamma	1672,20	17147,50	0,00	643,72	314,90	0,15
p17	2124,03	1785,71	68,04	BS-t	18189,95	171211,98	0,00	1785,71	1615,38	0,15

Tabla A1 (continuación)

ID	Tasa de demanda (un/sem)	DS Tasa de demanda (un/sem)	$tb_{ij}$ (sem)	Distribución estadística de la demanda	$es_{ij}$ (un)	$Max_{ij}$ (un)	Multiplicador de Lagrange $\lambda_{ij}$ (\$/orden)	Tasa de demanda (un/sem)	DS Tasa de demanda (un/sem)	$tb_{ij}$ (sem)
Modelo probabilístico								Datos reales		
p20	13888,29	6856,29	67,54	Constante	144234,28	1137832,97	0,00	6856,29	32403,85	0,36
p23	2729,72	1045,18	55,13	Lognormal	23699,40	185095,52	0,00	1045,18	884,04	1,46
p26	4619,35	2432,69	79,42	Lognormal	49578,85	434937,51	0,00	2432,69	2615,38	0,96
p28	2928,26	848,07	67,04	Lognormal	19631,97	227656,24	0,00	848,07	1230,77	0,43
p29	4695,06	4130,75	81,41	BS-t	67683,78	468699,26	0,00	4130,75	2575,77	0,78
p31	51,58	25,43	13,14	Lognormal	258,60	1142,66	0,00	25,43	33,65	0,67
p35	17906,35	6890,31	58,69	BS-t	152712,66	1275186,58	0,00	6890,31	9903,85	1,31
p36	16328,17	6616,44	61,62	Lognormal	138190,28	1209656,68	0,00	6616,44	11057,69	0,64
p37	1412,00	808,17	57,14	BS-t	15256,04	101591,70	0,00	808,17	605,77	1,66
p38	29,83	26,81	7,60	Lognormal	79,33	425,29	0,00	26,81	9,62	0,33
p40	7378,79	3347,26	83,62	Lognormal	80036,85	726583,37	0,00	3347,26	5096,15	0,70
p42	46,11	20,09	15,59	Lognormal	285,05	1188,16	0,00	20,09	35,58	0,90
p46	1421,96	1208,84	52,52	Lognormal	10658,66	91031,23	0,00	1208,84	403,85	0,98
p48	187,76	114,95	30,34	Lognormal	700,55	7147,74	0,00	114,95	120,19	0,14
p50	1823,81	786,07	97,74	BS-t	19587,33	205138,61	0,00	786,07	1683,46	0,19
p52	2072,83	845,06	80,70	Lognormal	21300,93	196862,28	0,00	845,06	1038,46	1,08
p55	38,42	22,69	98,08	BS-t	257,32	4178,88	0,00	22,69	1182,69	0,00
p56	2992,16	1489,92	74,33	Lognormal	33420,49	267785,31	0,00	1489,92	880,77	1,82
p58	1684,63	1181,34	55,95	BS-t	16291,23	117283,64	0,00	1181,34	384,62	1,96
p59	2114,17	280,52	93,47	Lognormal	15512,35	221582,80	0,00	280,52	1327,69	0,27
p61	402,01	246,61	136,90	Lognormal	4104,87	60749,41	0,00	246,61	2307,69	0,02
p67	1003,86	1744,73	64,67	Lognormal	7772,60	76710,40	0,00	1744,73	432,69	0,38
p74	10259,80	9428,08	78,19	BS-t	102869,87	946129,63	0,00	9428,08	10769,23	0,37
p75	5721,48	2012,29	104,98	Lognormal	42480,88	666016,82	0,00	2012,29	21346,15	0,03
p78	3308,52	3426,81	79,41	BS-t	21640,70	297615,30	0,00	3426,81	769,23	0,44
p79	2358,92	1545,84	152,00	Lognormal	26882,90	394875,16	123526,31	1545,84	15769,23	0,02
p85	121,60	45,47	32,00	BS-t	564,69	4942,25	0,00	45,47	76,92	0,26
p86	199,28	112,38	152,00	Lognormal	3234,96	34321,99	133218,79	112,38	3461,54	0,04
p88	16,92	7,75	6,35	Lognormal	46,06	221,08	0,00	7,75	2,88	1,22
p89	35,84	17,00	132,50	Lognormal	492,03	5384,48	0,00	17,00	1229,81	0,02
p92	2924,54	2567,65	112,66	Lognormal	26684,15	367850,93	0,00	2567,65	1961,54	0,27
p93	12,80	7,76	8,45	Lognormal	60,08	219,43	0,00	7,76	4,81	0,94
p95	309,53	124,25	152,00	Lognormal	2674,43	50961,04	126496,80	124,25	2115,38	0,02
p100	167,29	87,25	40,30	Lognormal	1448,75	8859,39	0,00	87,25	103,85	1,15
p102	6606,53	2720,97	99,49	Lognormal	64585,47	748285,97	0,00	2720,97	65384,62	0,03
p103	132,62	47,35	78,88	Lognormal	1331,86	12322,93	0,00	47,35	384,62	0,15
p104	519,13	248,61	43,77	Gamma	2671,18	27469,69	0,00	248,61	117,31	0,57
p2	2,47	1,76	152,00	DCCB	43,74	429,03	-1017270,13	1,76	2,60	0,57
p6	19967,29	10047,35	57,49	DCCB	169329,76	1397183,82	0,00	10047,35	16153,85	0,98
p7	1040,21	251,14	152,00	DCCB	9283,94	171556,60	-785528,21	251,14	792,69	0,19
p12	647,23	362,52	152,00	DCCB	6712,94	107680,96	-134923,13	362,52	1057,69	0,11
p14	164,88	168,70	152,00	DCCB	4478,79	30199,46	-224951,93	168,70	192,31	0,52
p15	90,80	64,95	152,00	DCCB	1241,56	15406,61	-61616,23	64,95	192,31	0,13
p16	267,08	395,17	152,00	DCCB	5422,60	47086,32	128225,61	395,17	9615,38	0,02
p18	191,71	40,96	152,00	DCCB	1839,74	31746,42	-142157,02	40,96	250,19	0,14
p19	191,07	143,41	152,00	DCCB	3731,99	33538,55	-42369,05	143,41	384,23	0,15
p21	55,40	27,42	152,00	DCCB	567,13	9210,01	-92915,63	27,42	80,77	0,12
p22	2147,94	1192,03	152,00	DCCB	33420,63	368499,40	-5,55	1192,03	5028,85	0,17
p24	89,30	112,36	152,00	DCCB	1967,28	15897,88	121961,56	112,36	1615,38	0,03
p25	5473,39	3584,44	109,81	DCCB	76958,24	699893,84	0,00	3584,44	1903,46	1,12
p27	1632,38	2413,69	152,00	DCCB	33616,96	288268,89	-97074,85	2413,69	1960,38	0,36
p30	79,73	118,75	152,00	DCCB	1872,28	14309,97	-287042,46	118,75	46,25	0,91
p32	40,85	11,95	152,00	DCCB	385,22	6757,15	-29898,12	11,95	58,08	0,11
p33	2696,12	5480,36	152,00	DCCB	41748,13	462342,71	-374890,51	5480,36	1244,23	0,93
p34	724,50	10,84	152,00	DCCB	5949,32	118971,33	-1393728,29	10,84	111,92	0,83
p39	43,83	19,00	152,00	DCCB	603,11	7440,21	-156790,49	19,00	30,77	0,57
p41	331,77	462,52	152,00	DCCB	6428,89	58184,52	-164401,19	462,52	201,92	0,74
p43	53,10	93,54	152,00	DCCB	244,40	8527,35	-1868421,66	93,54	4,81	0,37
p44	5,67	7,91	152,00	DCCB	115,39	1000,17	-119337,30	7,91	3,85	0,48
p45	25,19	34,66	152,00	DCCB	242,10	4171,14	-790768,49	34,66	4,73	0,46
p47	20,37	16,26	152,00	DCCB	213,15	3390,46	15237,46	16,26	26,92	0,08
p49	357,03	286,22	152,00	DCCB	3602,27	59299,64	27095,47	286,22	518,65	0,09
p51	2452,58	977,03	152,00	DCCB	33815,74	416418,83	-211080,05	977,03	1114,23	0,74
p53	127,56	127,25	152,00	DCCB	3665,94	23565,00	-241548,05	127,25	51,92	1,38
p54	254,67	237,96	152,00	DCCB	5236,26	44965,55	-114618,75	237,96	153,85	0,50
p57	40,30	124,37	152,00	DCCB	582,71	6869,87	126979,84	124,37	500,00	0,01
p60	58,09	65,31	152,00	DCCB	513,69	9575,75	-96737,79	65,31	33,65	0,13
p62	77,17	45,45	152,00	DCCB	1246,27	13284,45	92763,86	45,45	219,81	0,10
p63	6434,75	3092,44	101,28	DCCB	68958,70	746389,71	0,00	3092,44	961,54	2,14
p64	1250,05	498,77	152,00	DCCB	11798,86	206805,95	51658,72	498,77	1826,92	0,09
p65	5,23	2,99	152,00	DCCB	56,50	871,76	136072,54	2,99	259,42	0,00
p66	23,50	9,76	152,00	DCCB	181,61	3847,46	97213,19	9,76	71,15	0,03
p68	167,10	316,50	152,00	DCCB	2710,20	28778,51	-44174,07	316,50	106,15	0,55



Tabla A1 (continuación)

ID	Tasa de demanda (un/sem)	DS Tasa de demanda (un/sem)	$tb_{ij}$ (sem)	Distribución estadística de la demanda	$es_{ij}$ (un)	$Max_{ij}$ (un)	Multiplicador de Lagrange $\lambda_{ij}$ (\$/orden)	Tasa de demanda (un/sem)	DS Tasa de demanda (un/sem)	$tb_{ij}$ (sem)
Modelo probabilístico								Datos reales		
p69	478,21	505,21	152,00	DCCB	11050,30	85651,43	131931,51	505,21	8115,38	0,03
p70	587,16	213,20	152,00	DCCB	5677,96	97274,66	38187,82	213,20	653,08	0,13
p71	84,14	59,78	152,00	DCCB	905,65	14031,54	125410,65	59,78	710,77	0,02
p72	3826,48	1821,96	131,33	DCCB	36153,96	554006,28	0,00	1821,96	3461,54	0,18
p73	1312,20	572,23	152,00	DCCB	18388,35	223091,30	2220,41	572,23	1056,31	0,50
p76	959,45	1126,95	152,00	DCCB	17999,33	167672,96	-193690,59	1126,95	304,77	1,75
p77	112,63	26,86	152,00	DCCB	1033,44	18603,21	118838,15	26,86	596,15	0,03
p80	6,14	5,88	152,00	DCCB	58,64	1016,14	138151,90	5,88	1365,19	0,00
p81	16,64	18,28	152,00	DCCB	301,81	2897,74	132149,15	18,28	253,85	0,03
p82	3887,76	2110,70	130,29	DCCB	39597,03	561702,98	0,00	2110,70	25000,00	0,03
p83	287,71	226,52	152,00	DCCB	6029,32	50911,78	-570890,48	226,52	38,08	3,32
p84	125,77	40,11	152,00	DCCB	1173,36	20792,70	66394,34	40,11	163,46	0,11
p87	48,69	62,33	152,00	DCCB	350,52	7946,21	-251407,70	62,33	11,54	0,40
p90	2,21	1,78	152,00	DCCB	52,72	397,59	128654,90	1,78	19,23	0,06
p91	217,98	298,50	152,00	DCCB	3182,55	37186,76	-57579,26	298,50	96,15	0,85
p94	149,80	92,21	152,00	DCCB	3550,69	26918,87	-4175527,04	92,21	2,88	20,00
p96	10,10	1,58	152,00	DCCB	81,02	1656,15	99139,18	1,58	21,15	0,06
p97	16,90	6,17	152,00	DCCB	140,68	2776,82	129142,78	6,17	144,23	0,01
p98	38,92	66,31	152,00	DCCB	432,90	6504,68	111020,39	66,31	113,46	0,06
p99	202,71	226,17	152,00	DCCB	3816,88	35439,78	-30157,63	226,17	96,15	0,82
p101	627,27	95,42	152,00	DCCB	5393,25	103247,59	118003,69	95,42	2364,23	0,04

BS-t: Birnbaum-Saunders t de Student; DCCB: densidad condicionada con cópula bivariada;  $es_{ij}$ : existencia de seguridad del producto  $i$  abastecido por proveedor  $j$  (único proveedor); ID: identificador del producto  $i$ ;  $Max_{ij}$ : máximo abastecimiento inicial del producto  $i$  abastecido por proveedor  $j$  (único proveedor); sem: semana;  $tb_{ij}$ : tiempo de reaprovisionamiento del producto  $i$  abastecido por proveedor  $j$  (único proveedor); un: unidades.

Fuente: elaboración propia.

## Bibliografía

- Abdul-Jalbar, B., Gutiérrez, J. y Sicilia, J. (2006). Single cycles policies for the one-warehouse N-retailer inventory/distribution system. *Omega*, 34(2), 196–208.
- Arévalo, V. (1998). *Diccionario de términos archivísticos*. Córdoba: Ediciones del Sur.
- Barros, M., Paula, G. A. y Leiva, V. (2009). An R implementation for generalized Birnbaum-Saunders distributions. *Computational Statistics & Data Analysis*, 53(4), 1511–1528.
- Box, G. E. y Cox, D. R. (1964). An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, 26(2), 211–246.
- Burgin, T. A. (1975). The gamma distribution in inventory control. *Operational Research Quarterly*, 26(3), 507–525.
- Castro-Kuriss, C., Kelmansky, D. M., Leiva, V. y Martínez, E. J. (2010). On a goodness-of-fit test for normality with unknown parameters and type-II censored data. *Journal of Applied Statistics*, 37(7), 1193–1211.
- Chatfield, D., Kim, J., Harrison, T. y Hayya, J. (2004). The Bullwhip effect — Impact of stochastic lead time, information quality, and information sharing: A simulation study. *Production and Operation Management*, 13(4), 340–353.
- Chen, F. Y., Feng, Y. y Simchi-Levi, D. (2002). Uniform distribution of inventory positions in two-echelon periodic review systems with batch-ordering policies and interdependent demands. *European Journal of Operational Research*, 140(3), 648–654.
- Cobb, B. R., Rumí, R. y Salmerón, A. (2013). Inventory management with log-normal demand per unit time. *Computers and Operations Research*, 40(7), 1842–1851.
- Corbett, C. J. y Rajaram, K. (2006). A generalization of the inventory pooling effect to non-normal dependent demand. *Manufacturing & Service Operations Management*, 8(4), 351–358.
- Das, C. (1976). Approximate solutions to the (Q, r) inventory model for gamma lead time demand. *Management Science*, 22(9), 1043–1047.
- Das, C. (1983). Inventory control for log-normal demand. *Computers and Operations Research*, 10(3), 619–629.
- Eppen, G., Gould, F., Schmidt, C., Moore, J. y Weatherford, L. (2000). *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa* (5.ª ed.). México: Prentice Hall.
- Escalera, G. y Hernández, A. (2009). Modelado de parejas aleatorias usando cópulas. *Revista Colombiana de Estadística*, 32, 33–58.
- Gallego, G. (1990). Scheduling the production of several items with random demands in a single facility. *Management Science*, 36(12), 1579–1592.
- Gallego, G., Jin, Y., Murie, A., Zhang, G. y Yildiz, V. T. (2007). Optimal policies with convertible lead times. *European Journal of Operational Research*, 176(2), 892–910.
- Graves, S. y Schwarz, L. (1977). Single cycle continuous review policies for arborescent production/inventory systems. *Management Science*, 23, 529–540.
- Hernández, P., Amaya, C. y Velasco, N. (2008). Modelo de coordinación de inventarios en una cadena de abastecimiento de medicamentos de un hospital público. *Los cuadernos de PYLO – Logística Hospitalaria*, 4, 1–14.
- Hernández, C. (2011). Propuesta de metodología para la gestión del reabastecimiento en la empresa «Astilleros del Oriente» (ASTOR). *Anuario Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*, 2, 53–60.
- Hsu, Y., Pearn, W. y Wu, P. (2008). Capability adjustment for gamma processes with mean shift consideration in implementing six sigma program. *European Journal of Operational Research*, 191, 517–529.
- Johnson, N. L. (1949). System of frequency curve generated by methods of translation. *Biometrika*, 36, 149–176.
- Kamath, T. y Pakkala, P. (2002). A Bayesian approach to a dynamic inventory model under an unknown demand distribution. *Computers and Operations Research*, 29(4), 403–422.
- Kotz, S., Balakrishnan, N. y Johnson, N. L. (2004). *Continuous multivariate distributions, models and applications* (2.ª ed.). New York: John Wiley y Sons.
- Kotz, S., Leiva, V. y Sanhueza, A. (2010). Two new mixture models related to the inverse Gaussian distribution. *Methodology and Computing in Applied Probability*, 12(1), 199–212.
- Lau, H. S. (1989). Toward an inventory control system under non-normal demand and lead time uncertainty. *Journal of Business Logistics*, 10(1), 88–103.
- Lee, M. H. y Lee, D. J. (2013). A multi-item stochastic demand periodic review system with a budget constraint. *Journal of Next Generation Information Technology*, 4(8), 403–411.
- Lee, H., Padmanabhan, V. y Whang, S. (2004). Information distortion in a supply chain: The Bullwhip effect. *Management Science*, 50(12), 1875–1886.
- Leiva, V., Ponce, M. G., Marchant, C. y Bustos, O. (2012). Fatigue statistical distributions useful for modeling diameter and mortality of trees. *Colombian Journal of Statistics*, 35(3), 349–367.
- Leiva, V., Sanhueza, A. y Angulo, J. M. (2009). A length-biased version of the Birnbaum-Saunders distribution with application in water quality. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23, 99–307.
- Leiva, V., Sanhueza, A., Kelmansky, D. y Martínez, E. (2009). On the log-normal distribution and its application to the gene expression problem. *Computational Statistics & Data Analysis*, 53(5), 1613–1621.
- Lu, L. y Posner, M. (1994). Approximation procedures for the one-warehouse multi-retailer system. *Management Science*, 40(10), 1305–1316.
- Mentzer, J. T. y Krishnan, R. (1988). The effect of the assumption of normality on inventory control/customer service. *Journal of Business Logistics*, 6(1), 101–120.
- MINSAL (1995). Norma general técnica n.º 12, Sobre la organización y funcionamiento de la atención farmacéutica en la atención primaria de salud. Santiago, Chile [consultado 17 May 2015]. Disponible en: [http://juridico1.minsal.cl/RESOLUCION\\_1089\\_95.doc](http://juridico1.minsal.cl/RESOLUCION_1089_95.doc)
- MINSAL (2008). Financiamiento de la atención primaria de salud: Fuentes y flujos de recursos en el periodo 2000–2004. Santiago, Chile [consultado 17 May 2015]. Disponible en: <http://desal.minsal.cl/wp-content/uploads/2013/09/EstudioAPS-Mayo-2008.pdf>
- MINSAL (2010). Manual de selección de medicamentos. Santiago, Chile [consultado 27 Ago 2015]. Disponible en: <http://web.minsal.cl/sites/default/files/files/Manual%20Selección%20de%20Medicamentos%20Final%20con%20Diseño%20B1io.pdf>
- Parada, O. (2009). Un enfoque multicriterio para la toma de decisiones en la gestión de inventarios. *Cuaderno de Administración*, 22(38), 169–187.
- Rojas, F. A. y Paniagua, A. T. (2013). La capacitación de ventas basada en inventarios críticos como determinante del apalancamiento operativo en farmacia comunitaria. *Estudios Gerenciales*, 29(127), 239–246.
- Rojas, F., Leiva, V., Wanke, P. y Marchant, C. (2015). Optimization of contribution margins in food services by modeling independent component demand. *Revista Colombiana de Estadística*, 38(1), 1–30.



- Roundy, R. (1985). 98%-Effective integer-ratio lot-sizing for one-warehouse multi-retailer systems. *Management Science*, 31(11), 1416–1430.
- Ruiz, A. J., Ablanedo, J. H. y Ayala, J. (2012). Modelo de asignación de compras a proveedores considerando su flexibilidad y probabilidad de incumplimiento en la entrega. *Estudios Gerenciales*, 28(122), 29–48.
- Sanhueza, A., Leiva, V. y Balakrishnan, N. (2008). The generalized Birnbaum-Saunders distribution and its theory, methodology, and application. *Communications in Statistics: Theory and Methods*, 37(5), 645–670.
- Schwarz, L. (1973). A simple continuous review deterministic one warehouse N-retailer inventory problem. *Management Science*, 19(5), 555–566.
- Silver, E. A. y Peterson, R. (1985). *Decision systems for inventory management and production planning* (2.<sup>a</sup> ed.). New York: John Wiley and Sons.
- Soto, J. (2001). Estudios de farmacoeconomía: ¿Por qué, cómo, cuándo y para qué? *Medifam*, 11(3), 147–155.
- Tadikamalla, P. R. (1979). The lognormal approximation to the lead time demand in inventory control. *Omega*, 7(6), 553–556.
- Tadikamalla, P. R. (1981). The inverse Gaussian approximation to the lead time demand in inventory control. *International Journal of Production Research*, 19(2), 213–219.
- Vasallo, C. (2010). El mercado de medicamentos en Chile: caracterización y recomendaciones para la regulación económica. Informe final para la Dirección de Economía de la Salud del MINSAL, Chile.
- Vidal, C., Londoño, J. y Contreras, F. (2004). Aplicación de modelos de inventarios en una cadena de abastecimiento de productos de consumo masivo con una bodega y N puntos de venta. *Ingeniería y Competitividad*, 6(1), 35–52.
- Wanke, P. F. (2008). The uniform distribution as a first practical approach to new product inventory management. *International Journal of Production Economics*, 114(2), 811–819.