

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PRONÓSTICO DE VENTAS EN WHIRLPOOL ARGENTINA

Enrique Yacuzzi (Universidad del CEMA)
Guillermo Paggi (Whirlpool Argentina)¹

RESUMEN

La nueva situación competitiva de Whirlpool Argentina exige el uso de herramientas de gestión que faciliten un conocimiento acabado de los mercados y permitan la toma de decisiones con la menor incertidumbre posible. Entre estas herramientas de gestión están las técnicas de pronóstico. En este artículo se describe el proceso de pronóstico que se aplica en Whirlpool Argentina. Se hace referencia al sistema de planificación –usuario inmediato de los pronósticos– y se explican aspectos de la implementación de estos métodos en la empresa. Se presentan las etapas recorridas en Whirlpool para la conformación de un sistema de pronóstico, a saber: (a) estudio del problema de pronóstico, (b) *benchmarking*, (c) prueba de enfoques alternativos, (d) diseño del proceso de pronóstico y planificación, y (e) implementación. Se describen las características operativas del sistema y, finalmente, se incluye una evaluación de los resultados y una auditoría del sistema de pronóstico. El Apéndice es un resumen de la teoría de los procesos ARIMA, utilizados en la actividad de pronóstico, con un ejemplo completo del desarrollo de un modelo.

I. PRONÓSTICOS Y PLANES EN WHIRLPOOL ARGENTINA: ADAPTACIÓN A UN NUEVO AMBIENTE COMPETITIVO

I. 1. UN NUEVO ENTORNO

Las empresas argentinas enfrentan hoy nuevos desafíos: una demanda estable; una competencia intensa; una oferta amplia de productos y servicios; un consumidor más exigente; un cambio de vida notable respecto de sólo 10 ó 15 años atrás; y nuevos fenómenos socialesⁱⁱ. Whirlpool Argentinaⁱⁱⁱ debe responder a estos desafíos.

Para enfrentar el cambio se han adoptado nuevos conceptos y técnicas de gestión que permiten lograr un conocimiento más refinado de los mercados y del consumidor, así como una mejor posición, vía la reducción de la incertidumbre, para la toma de decisiones. Entre los métodos adoptados están las técnicas de pronóstico estadístico, cuya utilidad no pudo ser valorada hasta que, hace pocos años, el retorno a un ambiente de estabilidad monetaria permitió el estudio de los problemas gerenciales con análisis más precisos.

En el último lustro, la empresa ha consolidado sus sistemas de planificación y pronóstico, de modo de facilitar la participación de diversas funciones y jerarquías en estos procesos y de acompañar los cambios acaecidos en la relación de la firma con sus clientes^{iv}. Así, por ejemplo, el área de Marketing se beneficia con mejores pronósticos para planificar la publicidad, las campañas de ventas especiales y otros mecanismos promocionales, la participación en el mercado futuro y los precios de la industria. El área de Finanzas debe pronosticar flujos de caja y diversas tasas de interés, entre otras variables. La función de Producción, en sus decisiones de capacidad, programación de la producción y contratación de personal, utiliza pronósticos de la demanda de sus productos. La alta dirección, finalmente, se vale de pronósticos de variables macroeconómicas para tomar decisiones de inversión.

I.2. PRONÓSTICO Y PLANIFICACIÓN

En Whirlpool Argentina se distingue entre los conceptos de *pronóstico* y *planificación*. Por *pronóstico* se entiende el conjunto de actividades a través de las cuales, a partir de datos históricos relevados del entorno —series cronológicas, experiencia cualitativa—, se obtienen escenarios y proyecciones de los valores futuros de las variables bajo análisis. Para ello se utilizan modelos econométricos y modelos de series cronológicas. En la práctica se plantean varios escenarios alternativos. Para la toma de decisiones es importante el análisis y la medición de la incertidumbre asociada con los pronósticos generados.

El concepto de *planificación* abarca al de pronóstico y le agrega los conceptos de *decisión* y *compromiso*. La *planificación* comienza con el pronóstico, pero va más allá de éste: en efecto, los planes incluyen la idea de *decisión*, porque el planificador supone que uno de los escenarios alternativos construidos es el más probable y elabora respuestas adecuadas, como el reposicionamiento de precios y el lanzamiento de productos. Se busca transformar

la proyección resultante del proceso de pronósticos en una *proyección deseada* a través del juego de diversas variables. Por otra parte, en este punto, el responsable por el resultado asume ante la dirección el *compromiso* de cumplir con lo declarado en la proyección deseada.

En las secciones siguientes se describe el proceso de pronóstico que se aplica en Whirlpool Argentina. Se hace referencia al método de planificación y se explican aspectos de la implementación de estos procesos en la empresa, incluyendo la descripción de las principales características operativas del sistema. Finalmente, se incluye una evaluación de los resultados y una auditoría del sistema de pronóstico. El Apéndice es un resumen de la metodología de los modelos ARIMA, utilizados en la empresa, que incluye un ejemplo de modelización.

II. LOS PRONÓSTICOS. UNA NUEVA Y VIEJA HERRAMIENTA

II.1. INFORMÁTICA Y NUEVOS ENTORNOS DE DECISIÓN GERENCIAL

Los modernos pronósticos con modelos matemáticos son viejas herramientas actualizadas. Si bien los conceptos estadísticos que dan sustento a los pronósticos son clásicos^v, en los últimos años se presentaron dos aspectos nuevos que ponen a las técnicas de pronóstico bajo una nueva luz; ellos son el desarrollo informático y el impacto que sobre los procesos de toma de decisiones gerenciales tienen los modelos matemáticos. El desarrollo del hardware —en particular, el aumento de la velocidad de procesamiento— permite que las herramientas estadísticas y econométricas se utilicen en tiempos breves, compatibles con la dinámica de las empresas modernas; por otra parte, nuevos sistemas de software estadístico con interfases “amistosas” ponen los modelos al alcance de más usuarios. Las mejoras en la calidad de las decisiones derivadas de la utilización de estas herramientas son muy significativas; coadyuvan a este cambio tanto un aumento en la capacitación de las nuevas generaciones de gerentes como el perfeccionamiento constante de los modelos estadísticos y la mejor comprensión del contexto de aplicación.

II.2. VENTAJAS DE LOS SISTEMAS FORMALES DE PRONÓSTICO

Los sistemas formales de pronóstico^{vi} presentan dos tipos de ventajas: las “clásicas” y las “derivadas de las prácticas de clase mundial”. Entre las primeras están la reducción de *stocks* y capital inmovilizado, la reducción de órdenes pendientes de entrega, el establecimiento de una base objetiva para la planificación, la construcción razonada de escenarios, la posibilidad de analizar la influencia conjunta de numerosas variables y la capacidad del sistema para explicar la realidad.

Están, por otro lado, las “prácticas de clase mundial”, es decir, los métodos de trabajo que tienen las empresas exitosas del entorno global, cualquiera sea el lugar de sus operaciones. El proceso por el cual la empresa observa, analiza y adapta a su propia organización estas prácticas se denomina *benchmarking*.

Desde el punto de vista gerencial, no basta con contar con buenos sistemas de pronóstico, sino que estos deben encuadrarse en un marco de aprendizaje continuo y estar alineados con la misión, los valores y las aspiraciones de la empresa; este alineamiento se da generalmente en firmas globales en donde se buscan pautas de comportamiento que posibiliten no sólo la subsistencia sino también el desarrollo de la organización en su entorno competitivo. La forma de integrar fríos pronósticos estadísticos en la vida cotidiana de la firma se facilita con la adopción de prácticas de clase mundial, con la puesta en marcha de procesos productivos y administrativos que respondan a un estándar de eficiencia, y con la focalización en el cliente a través de la oferta de productos y servicios de calidad. Estas condiciones son creadas y mantenidas en Whirlpool Argentina.

Para aprovechar las ventajas de la moderna tecnología informática y estadística, así como para integrar el potencial estadístico con la realidad organizacional, fue necesario construir paso a paso un sistema de planificación y pronóstico aceptado por toda la organización. Los componentes de este sistema, llamado sistema de *Demand Forecasting*, y la forma en que se implementó en Whirlpool Argentina son tratados en las siguientes secciones.

III. UN PROCESO EN MARCHA

Whirlpool Argentina ha recorrido un camino de cuatro años en el trabajo con pronósticos formales, que comenzó con la idea de sistematizar el sistema de planificación y pronóstico y concluyó con la implantación de prácticas que permiten el uso habitual de las herramientas de pronóstico como parte de sus procesos operativos.

III.1. NECESIDAD DEL SISTEMA

Antes de iniciarse la construcción del nuevo sistema de *Demand Forecasting*, existía en la compañía un proceso de planificación basado principalmente en el método de la reunión de gerentes; el proceso tenía un gran arraigo en todos los niveles de la organización, pero debía ser modificado para enriquecerlo con herramientas cuantitativas confiables y aceptadas por los planificadores. En otras palabras, se debían integrar herramientas más formales y razonadas con la experiencia gerencial.

El proceso de *Demand Forecasting* fue impulsado desde el comienzo por la alta dirección^{vii}, cuyo objetivo era “implementar un proceso de planificación que permitiera establecer un nivel de ventas esperado *más realista* para el período bajo análisis”. Con frecuencia las compañías realizan sus estimaciones de ventas partiendo del retorno esperado que deberían obtener los accionistas y no desde las posibilidades concretas del mercado. Procediendo de este modo llegan a proponerse objetivos de ventas que no coinciden con las posibilidades reales y que, en la mayoría de los casos, las superan ampliamente, generándose una importante diferencia entre los objetivos deseados y los alcanzables. Para la alta dirección, evitar esta diferencia justificaba la implantación del sistema.

III.2. ESTUDIO INICIAL

La primera tarea fue acercarse al tema de pronósticos a través de profesionales externos a la empresa, a fin de indagar en cuanto a los objetivos del desarrollo del sistema de *Demand Forecasting*; delimitar el alcance de los métodos de pronóstico; y tener un panorama teórico de las distintas técnicas, con sus ventajas, desventajas, oportunidad para su aplicación y su conveniencia respecto del horizonte de planificación. Se realizó un seminario en la empresa, con una duración de cinco mañanas de cuatro horas, que estuvo dirigido a los técnicos que debían llevar adelante el proyecto y también a todos los funcionarios que participan regularmente del proceso de planificación, incluyendo a los gerentes de áreas e integrantes de la alta dirección; con el seminario se buscaba difundir en la compañía los nuevos conceptos desde el principio del proyecto.

III.3 BENCHMARKING

El paso siguiente consistió en un *benchmarking* informal realizado en una empresa multinacional productora de bienes de consumo masivo, con el objetivo de intercambiar puntos de vista y experiencias en cuanto a las prácticas regulares de los procesos de pronóstico y planificación y a los planes de reformulación de estos procesos. La reunión fue realizada en la empresa de referencia y contó con la presencia de jefes y gerentes de ambas firmas. El informe resultante de esta actividad puso de relieve que (a) Whirlpool Argentina estaba en el camino correcto en cuanto a los aspectos técnicos de las reformas que pretendía implementar y (b) que el éxito dependería de un adecuado tratamiento de los problemas de organización; en particular, debían tenerse en cuenta las diferencias culturales entre Whirlpool Argentina y la empresa de referencia.

III.4. PRUEBA DE ENFOQUES ALTERNATIVOS

En una tercera etapa los responsables del proyecto trabajaron durante un verano con tres pasantes de la Universidad del CEMA, coordinados por uno de los autores de este documento. La etapa se inició con un seminario en el que se analizaron diversas series de datos, con distinto grado de agregación –valores totales de la empresa, por línea de producto y por modelo–; se las sometió a distintas técnicas de pronósticos para (a) evaluar la profundidad óptima de planificación, (b) determinar el método más conveniente según el horizonte de pronóstico y (c) evaluar el tiempo requerido para sistematizar la actividad de modelización y pronóstico. En particular, se examinaron técnicas de análisis exploratorio de datos (Tukey, 1977), métodos convencionales de alisado (Makridakis y Wheelwright, 1989) y modelos ARIMA (Box y Jenkins, 1976).

III.5. DIAGRAMACIÓN DEL PROCESO DE PLANIFICACIÓN

Paralelamente a las etapas anteriores, se comenzó con la diagramación de un proceso de planificación simple, que tuviera en cuenta los objetivos y restricciones del proyecto. Este proceso debía producir pronósticos de ventas que integraran la utilización de las distintas técnicas con la experiencia de los vendedores, jefes de producto, responsables de compras y

finanzas, entre otros. Los pronósticos así generados debían servir de insumo para la formalización de un plan y la toma de decisiones. El proceso de planificación resultante se muestra en la Figura 1 y se explica en la sección IV.

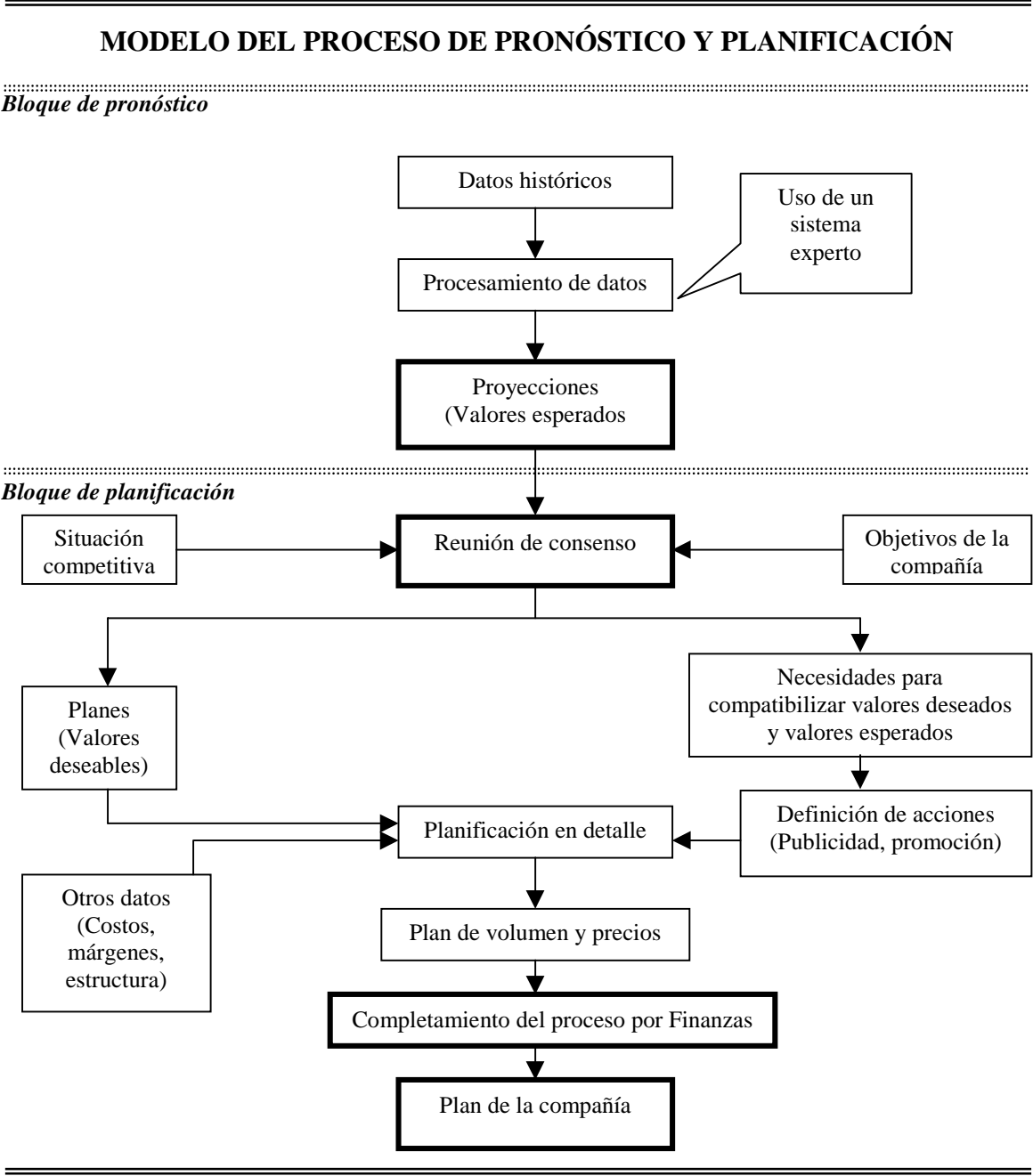


Figura 1. El proceso de planificación.

III. 6. PUESTA EN MARCHA

Finalizada la capacitación comenzó el pronóstico regular de las variables seleccionadas. Los pronósticos generados con el nuevo sistema se compararon con la realidad y con los pronósticos que surgían de las reuniones de gerentes —método tradicional de Whirlpool Argentina. En esta etapa se hizo un seguimiento exhaustivo de los errores de pronóstico y se buscaron los métodos más adecuados según el horizonte de planificación, partiendo de la base a la que se había llegado en el trabajo con los estudiantes de la Universidad del CEMA. Fue un período de aprendizaje de los métodos de pronóstico y del uso del sistema SPSS de software estadístico. La etapa duró seis meses y sirvió de terreno para el intercambio de ideas con las personas que intervenían en el proceso de planificación, de modo que todos se sintieran partícipes del proyecto y fueran conscientes de que sus necesidades y expectativas iban a ser tenidas en cuenta.

El proceso fue implementado a partir de septiembre de 1998 y su lanzamiento oficial se realizó en marzo de 1999, en una reunión en la que participaron la mayoría de los funcionarios que habían asistido en 1997 al seminario de introducción. Cabe mencionar el valor simbólico de esta reunión, pues puso de manifiesto el interés de la dirección en que esta actividad se desarrollara y enriqueciera a través del tiempo con el aporte de todos los interesados y como fruto del aprendizaje continuo.

IV. EL PROCESO DE PRONÓSTICO Y PLANIFICACIÓN HOY

IV.I. ETAPAS DEL PROCESO

El proceso de planificación consta de tres etapas claramente definidas: (1) La primera es la confección de los pronósticos para las distintas series. (2) La segunda es una reunión de consenso donde intervienen principalmente funcionarios de las áreas de Ventas y Marketing. (3) La tercera es el perfeccionamiento del plan, a cargo del área de Finanzas (Figura 1).

La primera etapa es una actividad de laboratorio de la cual surgen 13 modelos de series (de las categorías de productos especificadas por la dirección) con sus pronósticos para el período de interés. Los pronósticos son considerados como una referencia firme, válida en un escenario que no presenta grandes cambios en el futuro con respecto al pasado.

El proceso continúa con un debate entre los dos sectores tradicionalmente antagonistas en cuanto a la fijación de objetivos: vendedores y responsables de producto. Allí se integra el aporte que cada sector hace desde su experiencia, sus planes y el “pulso del mercado”, elementos que, por otra parte, serían de complicada inclusión dentro del modelo estadístico. De esta discusión surge un acuerdo sobre las modificaciones aconsejables y se definen los niveles de venta esperados “más realistas” para cada categoría, que pasarán a formar parte del plan. El producto que resulta de este consenso no tiene por qué coincidir con los valores “deseados” por la compañía. La diferencia entre valores pronosticados y planificados

generalmente se cubre operando sobre otras variables como precios, publicidad y promoción. Esta forma de trabajo presenta la importante ventaja de que, al haberse establecido un pronóstico de base, las grandes desviaciones respecto de este deberán estar muy bien justificadas^{viii}.

Se realiza luego un trabajo detallado por parte de los especialistas en producto, que determinan los volúmenes esperados y los precios para cada uno de los modelos de las categorías analizadas, atendiendo a las directivas impuestas en la reunión de consenso. El proceso no es enteramente lineal, puesto que en varios puntos se obra por iteración, principalmente en lo atinente a la fijación de precios, para lo cual se tienen en cuenta los costos y los precios de la competencia, tanto en sus valores actuales como futuros más probables. Por su parte, la inversión en publicidad y promociones dependerá del nivel de facturación al que se llegue.^{ix}

El proceso para el área comercial finaliza con esta definición de volúmenes y precios por modelo y por mes (al cual llamamos *pronóstico por modelo enriquecido*); la actividad continúa luego en el área de Finanzas, donde se completa el resto de las líneas del cuadro de resultados, el balance y el cuadro de origen y aplicación de fondos, entre otros documentos requeridos por la corporación y la legislación vigente. Finanzas es, además, el sector responsable de la emisión del documento final, para cuya aprobación serán necesarias por lo menos un par de iteraciones más, hasta lograr un consenso satisfactorio entre los niveles jerárquicos superiores.

IV.II. CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DEL SISTEMA

IV.II.1. Horizonte de planificación

El horizonte de planificación indica cuántos períodos (meses) hacia el futuro deberán ser tenidos en cuenta para realizar proyecciones. Whirlpool Argentina trabaja con tres horizontes de planificación:

- Un horizonte de corto plazo, que considera los meses que restan para cerrar el año calendario y que se realiza con frecuencia trimestral (por ejemplo, habiendo cerrado el mes de marzo, se pronostican los meses de abril a diciembre del mismo año).
- Un horizonte de mediano plazo que considera los doce meses del año siguiente y que se realiza con frecuencia anual (por ejemplo, promediando agosto del año actual se pronostican los doce meses del año siguiente, mes a mes).
- Un horizonte de largo plazo que considera los tres años siguientes al actual y que se realiza con frecuencia anual (por ejemplo, promediando septiembre, luego del ejercicio del horizonte de mediano plazo, se pronostican los dos años posteriores al considerado en este ejercicio).

IV.II.2. Niveles de planificación

La cartera de productos de una compañía no es una colección inconexa de objetos sino que está estructurada de acuerdo con un orden jerárquico (en línea, familia, etc.) según algún criterio relevante para el negocio, como la tecnología o las percepciones del consumidor. La cartera de Whirlpool Argentina está compuesta por algo más de 100 artículos, agrupados en tres líneas de productos: refrigeración, lavado y cocción.

Los datos históricos de las tres líneas se agruparon en 13 series cronológicas con criterios simples: Las series no debían ser tan abarcadoras (como las ventas totales, por ejemplo) que impidieran poder tomar decisiones, ni tan detalladas (como las ventas por modelo) que su procesamiento implicara un tiempo excesivamente prolongado comparado con el proceso de planeamiento^x.

Para cada serie se probaron tres métodos de análisis: descomposición clásica, suavizado exponencial y modelos ARIMA; se optó por este último debido a que se mostraba apto para distintas series y horizontes de planificación, con buen ajuste de los modelos a los datos, y con pronósticos relativamente más cercanos al nivel considerado a priori como “más realista”. Si bien esta última aseveración es un tanto arbitraria, una de las conclusiones más importantes, fruto del aprendizaje, es que el conocimiento del negocio al cual le son aplicados los modelos para su estudio y una experiencia sustentada en la observación resultan de inestimable valor a la hora de efectuar pronósticos. Tanto es así que en el proceso definido se ha integrado de manera formal la experiencia gerencial.

Al comparar el pronóstico de los modelos ARIMA con el resultado real se comprobó, para la mayoría de las 13 series analizadas, que los errores porcentuales rondaban en promedio el 15 %.^{xi} Para cada una de las series se cuenta actualmente con una historia de 5 años completos, con datos mensuales (el sistema requiere un mínimo de 4 años de datos). Los modelos son reparametrizados con periodicidad regular, debiéndose estimar 6 parámetros por serie. La batería de modelos ARIMA ofrece flexibilidad y funcionamiento adecuado para la modelización y pronóstico de una amplia variedad de series de tiempo.

IV.II.3. Variables del mercado

Las ventas pronosticadas con modelos ARIMA son las de Whirlpool Argentina y no las del mercado: estas últimas se pronostican a través de un modelo econométrico desarrollado a medida por una consultora económica. Este modelo efectúa una regresión de la demanda (estrictamente hablando, de la serie del consumo aparente) sobre las siguientes variables: nivel de precios relativo en el mercado, disponibilidad de crédito, niveles de tasas de interés, índice de salarios y niveles de desocupación. El modelo se corre una vez por año y se encuentra disponible en los primeros meses de cada año.

IV.II.4. Selección del software

Otra tarea importante fue la evaluación de un software de aplicación de las herramientas. Se buscaba: flexibilidad de adaptación a distintos modelos; capacidad para manejar gran cantidad de datos y aplicaciones en un tiempo razonable; una interfase amigable que permitiera ahorrar tiempo en el proceso de cálculo para destinarlo al análisis; una interfase gráfica flexible sobre la que pudieran efectuarse análisis de forma rápida; la posibilidad de ser soportado por los sistemas de la compañía; vinculación con un entorno de trabajo en Windows®; servicio técnico local; y un costo razonable.

Se analizaron tres sistemas y se optó por el SPSS® (Statistical Package for the Social Sciences), que cumplía con los requisitos anteriores. El sistema consta de varios módulos, de los cuales se adquirieron los módulos básico, de tendencias y de tablas. Se capacitó al personal en el centro de capacitación del proveedor en 3 mañanas de 5 horas y se probaron las distintas posibilidades del sistema utilizando series standard del proveedor y series de Whirlpool Argentina. Se logró además una adecuada comprensión del entorno del SPSS.

V. UN BALANCE DE LA EXPERIENCIA

Los métodos de pronóstico requieren personal formado para el armado de los modelos, la operación de los sistemas y la interpretación de los resultados. Sin embargo, las mayores dificultades que se presentan no son de carácter estadístico, sino de orden humano. No es suficiente contar con excelentes capacidades de análisis, sino que es necesaria la capacidad de establecer una buena comunicación con quienes intervienen en el proceso de pronóstico.

Mucha gente cree tener contacto con los pronósticos solo al escuchar los partes meteorológicos, ignorando que en mayor o menor medida toda decisión, por subjetiva que fuere, requiere el planteo de hipótesis acerca del futuro. Más aun, nos encontramos con personas que descreen de estas técnicas formales y no colaboran activamente con el proceso de pronóstico, aduciendo que no es tiempo bien empleado. Solamente el trabajo constante y pruebas concretas de que estas técnicas son una ayuda y no una forma encubierta de auditoría permiten avanzar y ganar adeptos.

Actualmente la tarea de mejora continua está concentrada en dos aspectos: (a) Se trata de formular modelos de variables múltiples, con variables exógenas (pronosticables de modo confiable) que permitan hacer más flexibles los escenarios y que logren mejorar las estimaciones de las ventas; y (b) se busca la construcción de una función de control que dé un alerta temprana ante un cambio en las tendencias de las series, de modo de reparametrizar los modelos únicamente cuando se dispare tal alerta.

VI. AUDITORÍA

Cuando un proyecto se implementa y pasa a ser un proceso standard de la organización debe realizarse algún tipo de verificación –o auditoría– que permita juzgar si los cambios han sido beneficiosos. Para la realización de la auditoría nos hemos basado en el enfoque de Armstrong (1987) que, a través de una sencilla lista de verificación nos permite observar los cambios que se han producido entre la situación previa y la posterior a la implementación del sistema de pronósticos. Armstrong sostiene que el potencial de las técnicas de pronóstico no logra realizarse porque tanto los expertos en estadística como los gerentes tienden a hacer algunas cosas “mal”. La lista de verificación propuesta lleva la atención a esos problemas típicos. En la Tabla 1 se presentan los resultados de la auditoría.

	Anterior			Posterior			Observaciones
	No	?	Sí	No	?	Sí	
Métodos de pronóstico							
1				X			Se lo incorpora en el proceso de planificación.
2						M	
3						M	
4		X			X		
5						M	En el proceso de planeamiento total. Con distinto grado y variable según los usuarios.
6						M	
7						M	
8						M	
Hipótesis y datos							
9							
10						X	
11						M	Los pronósticos macro se aplican en otros análisis. Antes eran fijados por la dirección.
11		X			X		
Incertidumbre							
12					X		
13						X	Se preparan alternativas y para desarrollar la estrategia se elige una. Se contemplan planes de contingencia.
13						M	
14							
15						X	
15					X		
Costos							
16						X	

Tabla 1. Auditoría del sistema de pronóstico. El símbolo **M** indica mejora respecto de la situación previa.

A través de 16 preguntas se exploraron cuatro aspectos, a saber: Métodos de pronóstico, datos, manejo de la incertidumbre y costos. La tabla compara la situación anterior a la introducción del sistema de pronóstico con la situación posterior y muestra que en ocho aspectos se observó una mejora (otros cuatro aspectos ya estaban en un nivel satisfactorio). En particular, se consolidó el uso de métodos objetivos con datos estructurados en una base de datos y con mediciones consistentes de la incertidumbre asociada con los pronósticos. Por otra parte, la auditoría permitió evaluar informalmente dos aspectos importantes de un sistema de pronóstico: (a) El desarrollo de una interfase de trabajo entre expertos y usuarios de los pronósticos; y (b) El desarrollo de elementos de la cultura organizacional que den soporte al proceso de pronóstico. En ambos aspectos se percibieron progresos claros en Whirlpool Argentina.

VII. CONCLUSIONES

Este artículo describe la implementación de un sistema de pronóstico en Whirlpool Argentina. La iniciativa de aplicación partió del Presidente de la compañía y el apoyo de la alta dirección se mantiene desde el comienzo de la experiencia, a pesar de haberse producido un cambio de autoridades durante la vida del proyecto. Este apoyo es importante, y explica el contraste entre este caso y la mayoría de las empresas (grandes o pequeñas, industriales o de servicios, nacionales o extranjeras), que no realizan pronósticos sistemáticos de sus variables críticas, a pesar de la importancia de esta actividad en un entorno cambiante.

El proyecto combinó una sólida base estadística con un enfoque organizacional participativo. Se dio gran importancia al análisis exhaustivo de los datos y a la capacitación técnica, y se comprobó que un aspecto clave del aprendizaje es el valor de los procesos organizacionales necesarios para lograr la aceptación de los pronósticos y planes. Podría decirse, sobre la base de la experiencia de Whirlpool, que los aspectos técnicos de los pronósticos —a pesar de su importancia indiscutible— palidecen cuando se comparan con las habilidades de organización y de coordinación que las organizaciones modernas exigen a sus *staff*, por lo cual ambos temas deben tratarse con igual intensidad en las actividades de pronóstico y planificación.

APÉNDICE

MODELIZACIÓN DE SERIES ARIMA

I. INTRODUCCIÓN

Para la realización del sistema de pronóstico de Whirlpool Argentina se modelizaron como procesos ARIMA 13 series cronológicas. En este apéndice se describen brevemente los conceptos centrales de la metodología utilizada y se presenta como ejemplo la construcción de un modelo. Un tratamiento completo del tema puede verse en Box y Jenkins (1976) y Brockwell y Davis (1991 a).

La teoría de los modelos ARIMA supone que una serie cronológica $\{z_t\}$ se genera cuando una serie de *shocks* aleatorios $\{a_t\}$, denominada ruido blanco, pasa a través de un filtro lineal, como se esquematiza en la Figura A1. La serie $\{a_t\}$ es un conjunto de valores extraídos de una distribución normal con media nula y varianza σ_a^2 que, al pasar a través del filtro, da lugar a la serie $\{z_t\}$, con media μ y varianza σ_z^2 . La operación de filtrado lineal consiste simplemente en una suma ponderada de observaciones previas de las a_t que generan las z_t según la expresión

$$z_t = \mu + a_t + \psi_1 a_{t-1} + \psi_2 a_{t-2} + \dots \quad (\text{A.1})$$

Definiendo un operador B tal que

$$\begin{aligned} Bz_t &= z_{t-1}, \\ B^2 z_t &= z_{t-2} \text{ y, en general,} \\ B^n z_t &= z_{t-n} \end{aligned}$$

puede introducirse el operador $\psi(B)$, dado por

$$\psi(B) = 1 + \psi_1 B + \psi_2 B^2 + \dots \quad (\text{A.2})$$

de modo que

$$z_t = \mu + \psi(B)a_t \quad (\text{A.3})$$

donde μ es un parámetro que determina el nivel de la serie¹ y $\psi(B)$ es la función de transferencia, que transforma el ruido blanco $\{a_t\}$ en la serie $\{z_t\}$.

¹ Si la secuencia de los pesos ψ_1, ψ_2, \dots es finita, o infinita y convergente, el filtro es estable y la serie $\{z_t\}$, estacionaria. En este caso, μ es el valor de la media de la serie.

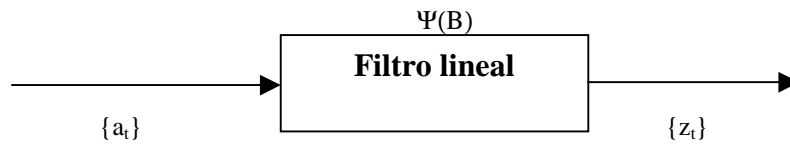


Figura A1. El filtro lineal como generador de una serie cronológica.

Diferentes secuencias de entrada $\{a_t\}$ dan lugar a otras tantas series cronológicas. Por este motivo, decimos que una serie cronológica es *una realización de un proceso estocástico*, tomada de un universo de infinitas realizaciones posibles. La construcción de un modelo ARIMA consiste en determinar, a partir de una serie empírica, las características de la función de transferencia del filtro, así como la varianza del ruido blanco. La función de transferencia indica el tipo de modelo generador de la serie $\{z_t\}$ que, en última instancia, nos permite realizar los pronósticos; la varianza del ruido blanco, por otro lado, nos permite estimar el grado de incertidumbre de los pronósticos.

II. METODOLOGÍA

Utilizamos para la construcción de modelos la metodología de Box y Jenkins (1976), esquematizada en la Figura A2, a la cual incorporamos criterios de selección del modelo propuestos en Brockwell y Davis (1991 a). Examinemos el significado de los diversos bloques de la Figura A2.

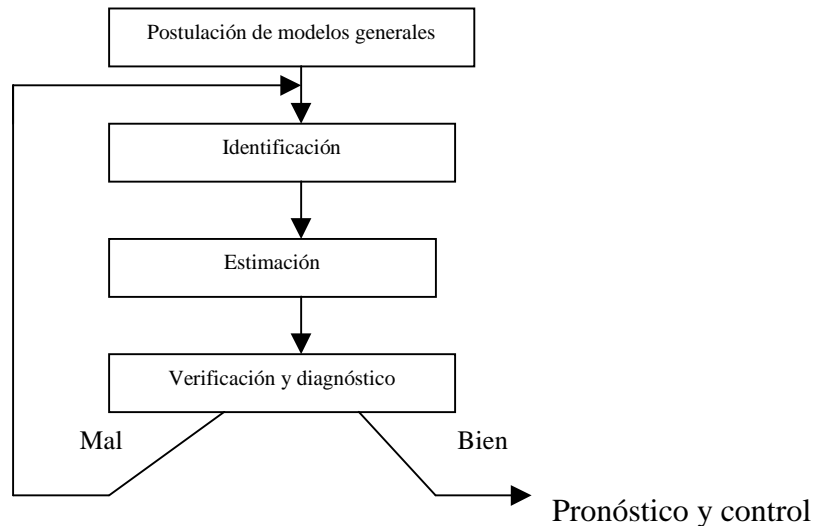


Figura A2. La metodología de Box y Jenkins para la construcción de modelos ARIMA.

II.1 Postulación de una familia de modelos generales. El filtro lineal adopta en la práctica diversas formas, de las cuales consideraremos algunas. Establecemos, en primer lugar, que, bajo ciertas condiciones, la expresión (A1) es equivalente a

$$\bar{z}_t = \pi_1 \bar{z}_{t-1} + \pi_2 \bar{z}_{t-2} + \dots + a_t \quad (\text{A.4})$$

donde

$\bar{z}_t, \bar{z}_{t-1}, \dots$ son desvíos de los valores de la serie con respecto a su media μ
 π_1, π_2, \dots son pesos y
 a_t es un shock aleatorio.

Así, los pesos π_1, π_2, \dots permiten expresar la desviación del valor actual de la serie con respecto a su media en función de desviaciones de valores anteriores de la misma serie y de un shock aleatorio.

Ahora bien, las expresiones (A.1) y (A.4) no se utilizan en la práctica, porque contienen un número infinito de parámetros. En su lugar se aplican dos tipos muy comunes de procesos estocásticos²: los autorregresivos (AR) y los de promedio móvil (MA, por las siglas inglesas de *Moving Average*), a los cuales agregaremos los procesos mixtos ARMA y los procesos no estacionarios conocidos como procesos ARIMA.

II.1.A. Procesos AR(p). Si consideramos el caso especial de (A.4) en el cual solamente los primeros p pesos son distintos de cero, obtenemos el proceso autorregresivo de orden p (AR(p)), dado por

$$\bar{z}_t = \phi_1 \bar{z}_{t-1} + \phi_2 \bar{z}_{t-2} + \dots + \phi_p \bar{z}_{t-p} + a_t \quad (\text{A.5})$$

donde:

$z_t, z_{t-1}, z_{t-2}, \dots$ son los valores del proceso en los intervalos equidistantes t, t - 1, t - 2, ...
 $\bar{z}_t = z_t - \mu$ es el desvío de z_t con respecto a la media de la serie, μ , para todo t
 $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ son el conjunto finito de los pesos.

² Utilizamos como sinónimos los términos "proceso" y "modelo".

De modo análogo a (A.2) introducimos el operador autorregresivo de orden p

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p \quad (\text{A.6})$$

con el cual el modelo autorregresivo puede expresarse como

$$\phi(B)\bar{z}_t = a_t \quad (\text{A.7})$$

II.1.B. Procesos MA(q). De modo análogo, considerando solamente los primeros q pesos no nulos de la expresión (A.1), el proceso de promedio móvil de orden q (MA(q)) se define como:

$$\bar{z}_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (\text{A.8})$$

que, utilizando el operador de promedio móvil de orden q

$$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \quad (\text{A.9})$$

puede expresarse como

$$\bar{z}_t = \theta(B)a_t \quad (\text{A.10})$$

II.1.C. Procesos ARMA(p,q). La combinación de los procesos AR(p) y MA(q) da lugar al proceso mixto llamado ARMA(p, q), que permite mayor flexibilidad en la modelización de series cronológicas:

$$\bar{z}_t = \phi_1 \bar{z}_{t-1} + \phi_2 \bar{z}_{t-2} + \dots + \phi_p \bar{z}_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (\text{A.11})$$

Utilizando los operadores (A6) y (A9), el modelo ARMA(p, q) puede expresarse como:

$$\phi(B)\bar{z}_t = \theta(B)a_t \quad (\text{A.12})$$

Nótese que (A.7) y (A.10) son casos especiales de (A.12).

II.1.D. Procesos ARIMA(p,d,q). Las técnicas de estimación, verificación y pronóstico que utilizamos suponen que la serie tratada es estacionaria, es decir, que sus valores permanecen en las cercanías de un valor promedio de referencia. Sin embargo, aunque una serie dada no tenga esta característica, también es posible modelizarla como un proceso AR(p), MA(q) o ARMA(p,q). Para ello se la convierte en una serie estacionaria mediante

un proceso de diferenciación. La diferenciación genera una serie nueva tomando diferencias entre valores sucesivos de la serie original. Así, una serie $\{z_t\}$ no estacionaria podría transformarse en otra serie $\{w_t\}$ estacionaria mediante la operación

$$w_t = z_t - z_{t-1}$$

que, definiendo el operador ∇ como

$$\nabla = 1 - B$$

se expresa como

$$w_t = \nabla z_t$$

En general podemos tener

$$w_t = \nabla^d z_t$$

donde d adopta valores bajos, generalmente no mayores que 2.³

El modelo ARIMA(p, d, q) se define entonces como

$$w_t = \phi_1 w_{t-1} + \dots + \phi_p w_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (\text{A.13})$$

donde $w_t = \nabla^d z_t$

Se observa que los modelos (A.5), (A.8) y (A.11) son casos especiales de (A.13).

El tratamiento práctico de las series no estacionarias es simple. Primero se obtiene la estacionariedad mediante la diferenciación; luego, la serie diferencia, $\{w_t\}$, se modeliza como proceso AR, MA o ARMA y se pronostica como una serie ordinaria; finalmente, se recuperan los datos de la serie original y los valores pronosticados. Para esto se efectúa un proceso de suma⁴ dado por

$$z_t = S^d w_t$$

³ En los modelos con diferenciación estacional el valor de d es mayor que 2. (Ver Box y Jenkins, 1976.)

⁴ En la terminología de los modelos ARIMA el proceso de suma se denomina Integración, para dar lugar al acrónimo ARIMA: *Auto Regressive Integrated Moving Average*.

donde S es el operador de suma, definido como

$$Sw_t = \sum_{j=0}^{\infty} w_{t-j} = w_t + w_{t-1} + w_{t-2} + \dots$$

II.2. Identificación. La identificación se realiza, en principio, comparando las funciones de autocorrelación y de autocorrelación parcial teóricas con las empíricas. Veamos brevemente estos conceptos.

II.2.A. Funciones de autocorrelación y de autocorrelación parcial. La función de autocorrelación es el conjunto de coeficientes de autocorrelación $\{\rho_k\}$, que miden la correlación entre los todos los pares de valores $\{z_t, z_{t-k}\}$ de la serie, separados k rezagos entre sí (donde k es un entero). La función de autocorrelación parcial $\{\phi_{kk}\}$ es un conjunto de funciones algebraicas de los coeficientes de autocorrelación, cuyo interés práctico se debe a que, para un proceso autorregresivo de orden p, la función de autocorrelación parcial será distinta de cero para $k \leq p$ y cero para $k > p$.

La Tabla A.1. muestra las formas típicas de estas funciones para distintos tipos de procesos.

	Proceso AR(p)	Proceso MA(q)	Proceso ARMA(p, q)
Función de autocorrelación	Infinita (exponenciales amortiguadas y/o sinusoides amortiguadas). Se desvanece gradualmente.	Finita. Se corta abruptamente después de q rezagos.	Infinita (exponenciales amortiguadas y/o sinusoides amortiguadas después de los primeros q-p rezagos). Se desvanece gradualmente.
Función de autocorrelación parcial	Finita. Se corta abruptamente después de p rezagos.	Infinita (dominada por exponenciales amortiguadas y/o sinusoides). Se desvanece gradualmente.	Infinita (dominada por exponenciales amortiguadas y/o sinusoides después de los primeros p-q rezagos). Se desvanece gradualmente.

Tabla A.1. Características generales de las funciones teóricas de autocorrelación y de autocorrelación parcial para distintos tipos de procesos. Las funciones de autocorrelación empíricas se comparan con estas características generales para lograr la identificación preliminar. Fuente: Box y Jenkins (1976), página 79.

II.2.B. Otros criterios de selección. Tradicionalmente, la identificación se realiza comparando las características teóricas de las funciones de autocorrelación y

autocorrelación parcial con las estimaciones empíricas basadas en datos, que permiten seleccionar un modelo adecuado (Box y Jenkins, (1976)). Sin embargo, dadas las dificultades prácticas de identificación en situaciones concretas, se han difundido otros enfoques, como los presentados por de Gooijer et al (1985) y (Brockwell y Davis, 1991 a). Este último, que seguimos en nuestro trabajo, propone como criterio principal de selección el valor del coeficiente AICC, una versión modificada del criterio AIC de Akaike. El coeficiente AICC es definido, para un modelo ARMA(p, q), por:

$$AICC(\Phi, \Theta) = -2 \ln L(\Phi, \Theta, S(\Phi, \Theta)/n) + 2(p + q + 1)n/(n - p - q - 2),$$

donde

Φ y Θ son vectores de coeficientes,

$L(\Phi, \Theta, \sigma^2)$ es la función de verosimilitud de los datos suponiendo un proceso ARMA gaussiano con parámetros (Φ, Θ, σ^2) y

$S(\Phi, \Theta)$ es la suma de los cuadrados de los residuos.

El coeficiente AICC es la suma de dos términos: el primero depende de la función de verosimilitud, mientras que el segundo penaliza el uso excesivo de parámetros. Por lo tanto, al considerar modelos prácticos alternativos, se debe optar, en principio, por el de menor AICC.

II.3. Estimación. La estimación de parámetros de un modelo ARMA requiere un esfuerzo computacional importante (Box y Jenkins, 1976). Se distinguen, en general, dos etapas: la estimación preliminar y la estimación de máxima verosimilitud. La estimación preliminar es rápida y permite examinar simultáneamente varios modelos alternativos antes de realizar la estimación de máxima verosimilitud. Esta última, por su parte, se ha venido simplificando gracias a los avances en el software de aplicaciones estadísticas generales, como el Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), y los programas específicos como los de Brockwell y Davis (1991 b).

II.4. Verificación y diagnóstico. La verificación busca constatar que los residuos son ruido blanco, es decir, que los datos fueron generados por una serie de *shocks* aleatorios de media nula y varianza constante. En general, se examinan las funciones de autocorrelación y de autocorrelación parcial de los residuos para determinar si existe estructura de autocorrelación; además, a la serie de los residuos se le realiza una serie de pruebas de aleatoriedad, como por ejemplo el test *Portmanteau*, y el test de los puntos de inflexión.

Cuando se determina que los errores no son ruido blanco se procede iterativamente, como indica la Figura A.2, a mejorar el modelo hasta obtener una representación satisfactoria de los datos. En esta tarea, ayuda diagnosticar el tipo de estructura encontrada en los residuos, de modo de incorporar esa estructura en el nuevo modelo (Box y Jenkins, 1976).

II.5. Pronóstico. Contando con un modelo ARIMA el pronóstico se reduce a una tarea mecánica, computacionalmente simple, en la cual el modelo va generando los pronósticos (Box y Jenkins, 1976, Brockwell y Davis, 1991 a y 1991 b, Makridakis y Wheelwright, 1989). Para ello se utilizan los valores históricos de la serie dada y los valores esperados correspondientes de las variables z_t o a_t . El conocimiento de la varianza del ruido blanco y de los pesos ψ de (A.1) permite estimar intervalos de confianza para los valores pronosticados (Box y Jenkins, 1976, Cap. 5).

III. UN EJEMPLO

III.1. Examen de la serie. Para ilustrar los conceptos anteriores mostramos el proceso de modelización de la serie WPSERIEP, desplegada en la Figura A.3. La serie corresponde al número total de artículos vendidos mensualmente por Whirlpool Argentina, modificados por un factor de escala. Se muestran las primeras 72 observaciones, utilizadas en la modelización. Otras tres observaciones que estaban disponibles no se utilizaron en la construcción del modelo para emplearlas como patrón de comparación de la calidad de los pronósticos realizados con modelos alternativos. La serie tiene un valor medio de 30,59 y una varianza de 43,34. La apreciación visual no indica alejamientos importantes de la media ni tendencias marcadas, por lo cual suponemos que la serie es estacionaria.

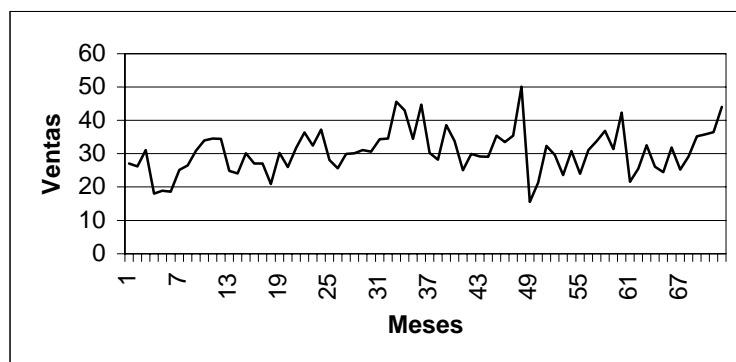


Figura A.3. La serie WPSERIEP.

Otra perspectiva de la serie viene dada por el histograma de la Figura A.4. Se observa una simetría aceptable en los datos y una forma aproximadamente gaussiana.

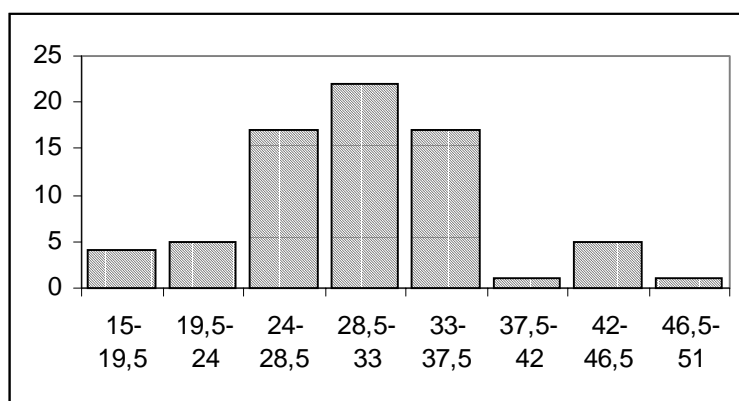


Figura A.4. Histograma de los datos de la serie WPSERIEP.

De la observación de las Figuras A.3 y A.4 se concluye que la serie es aparentemente estacionaria y que sus valores adoptan una distribución quasi-gaussiana. Estas condiciones permiten continuar con el proceso de modelización sin transformar la serie.

III.2. Funciones FAC y FACP. La función de autocorrelación empírica se muestra en la Figura A.5. Las barras verticales representan los coeficientes de autocorrelación y los límites horizontales señalan dos errores standard de los estimadores de los coeficientes, bajo la hipótesis de que los estimadores son esencialmente nulos por encima de un cierto valor del rezago k .

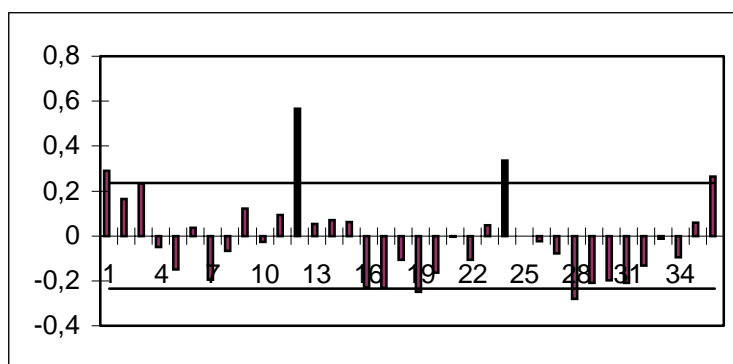


Figura A.5. Función de autocorrelación de la serie WPSERIEP

La Figura A.6, por otra parte, presenta la FACP empírica, con una interpretación gráfica similar a la de la FAC.

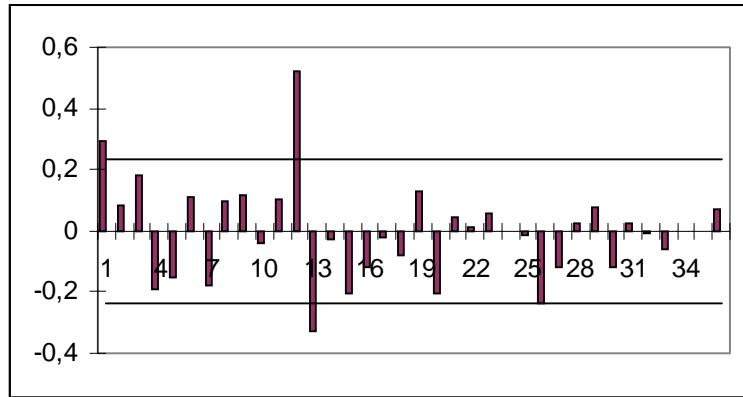


Figura A.6. Función de autocorrelación parcial de la serie WPSERIEP.

La comparación de las funciones FAC y FACP empíricas de las Figuras A.5 y A.6 con las formas teóricas de la Tabla A.1 no es inmediata. Para valores de k bajos la magnitud de los coeficientes es pequeña y las funciones, tomadas como un todo, no muestran un patrón general claro. Con cierta libertad podría suponerse: (a) que la FAC empírica (Figura A.5) decae exponencialmente, aunque la forma de su caída se aparta del patrón de caída exponencial teórica (Tabla A.1) por factores aleatorios; y (b) que la FACP empírica (Figura A.6) se interrumpe abruptamente luego del rezago 1. Por otra parte, en los rezagos $k=12$, 24 y 36 de la FAC empírica se observan coeficientes relativamente altos que caen de modo aproximadamente exponencial, mientras que la FACP solamente tiene un valor importante en $k=12$; esto sugiere la presencia de una componente autorregresiva estacional de 12 meses.

III.3. Estimación preliminar y estimación de máxima verosimilitud. Con el razonamiento inicial de la sección anterior se realizó la estimación preliminar de un modelo AR(14), que contempla tanto la estructura autorregresiva regular (mes a mes) como la estacional (rezagos de 12 meses). Ajustar un modelo de orden $p = 14$ permite capturar ambos tipos de autorregresión en la vecindad de los rezagos $k = 1$ y $k = 12$. A fin de no utilizar un número excesivo de parámetros, calculamos el ratio:

$$(\text{tamaño del coeficiente}) / (1.96 * \text{error standard del coeficiente})$$

y ajustamos un modelo reducido que conserva solamente los coeficientes que, en la estimación preliminar, presentaron un ratio superior a 1 en valor absoluto. El modelo de máxima verosimilitud, finalmente ajustado, es el siguiente:

$$\bar{z}_t = 0.438\bar{z}_{t-1} + 0.699\bar{z}_{t-12} - 0.394\bar{z}_{t-13} + a_t \quad \text{con } \mu = 30.59 \text{ y } \sigma_a^2 = 18.61 \quad (\text{A.14})$$

El modelo indica que la desviación con respecto a la media de la serie en el instante t se obtiene sumando valores ponderados de instantes previos a los cuales se les suma un shock aleatorio cuyo valor esperado es, por definición, nulo. Este modelo contempla las relaciones regulares (mes a mes) y estacionales⁵. Comparando la varianza de z_t (43.34) con la de a_t (18.61) se observa una caída de más del 57%. La reducción de la variabilidad es explicada por los componentes determinísticos del modelo, es decir que la variabilidad no explicada determinísticamente constituye el ruido blanco.

El modelo se estimó utilizando el software de Brockwell (1991 b)⁶. El programa calcula la función de verosimilitud ($-2\ln(L) = 423,527$) y el estadístico AICC (432,134). Tomados aisladamente, estos valores no tienen gran interés práctico, pero resultan muy útiles cuando se comparan modelos alternativos. Los resultados se indican en la Tabla A.2, como modelo 1 (los modelos 2 y 3 se explican en la sección III.6).

	Modelo 1 AR(14)		Modelo 2 MA (14)		Modelo 3 ARMA(14, 14)	
COEFICIENTES	ϕ_1	.44	θ_1	.367	ϕ_1	.35
	ϕ_{12}	.70	θ_3	.079	ϕ_4	-.34
	ϕ_{13}	-.39	θ_{12}	.589	ϕ_8	-.27
					ϕ_{12}	.61
					ϕ_{13}	-.28
					θ_3	.52
					θ_4	.51
					θ_6	.14
					θ_8	1.08
					θ_9	.16
					θ_{12}	.29
	μ	30.5936		30.5936		30.5936
σ_a^2	18.61		23.75		7.92	
$-2 \ln(L)$	423,527		439.833		397.48	
AICC	432.124		448.4303		426.77	

Tabla A.2. Estimadores de máxima verosimilitud y coeficiente AICC para diversos modelos de la serie WPSERIEP.

III.4. Verificación y diagnóstico: Análisis de los residuos

III.4.A. Examen visual. La Figura A.7 muestra la serie cronológica de los residuos. Se destacan los puntos extremos de los meses 33 y 49, también observados en la serie original; la estructura del modelo no logra capturar los impulsos fuertes de estos meses, que pasan a

⁵ Box y Jenkins (1976) y Brockwell (1991 a) presentan los modelos multiplicativos como una forma alternativa de modelizar series estacionales.

⁶ Alternativamente, se empleó en este trabajo el SPSS.

formar parte de los residuos. La Figura A.8 es un histograma de los residuos, que muestra cierta simetría y una forma general gaussiana. Se destacan los valores máximos y mínimos mencionados anteriormente.

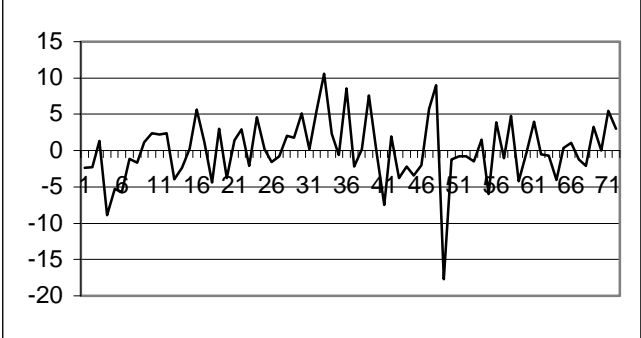


Figura A.7. Residuos del modelo 1 de la serie WPSERIEP.

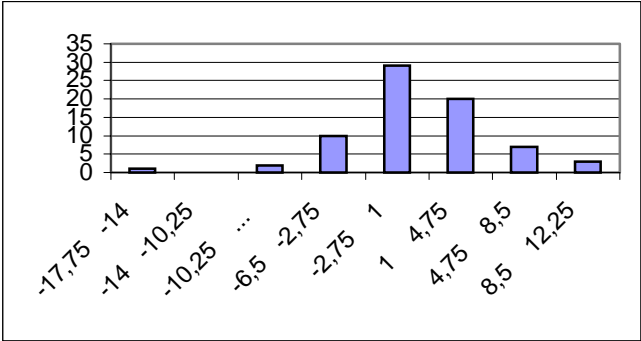


Figura A.8. Histograma de los residuos del modelo 1 de la serie WPSERIEP.

III.4.B. Estructura de autocorrelación de los residuos. Las FAC y FACP de los residuos se muestran en las Figuras A.9 y A.10, respectivamente. Las funciones no presentan coeficientes que superen los dos errores típicos, es decir que, tomando cada coeficiente en forma individual, el modelo no tendría una estructura de autocorrelación significativa.

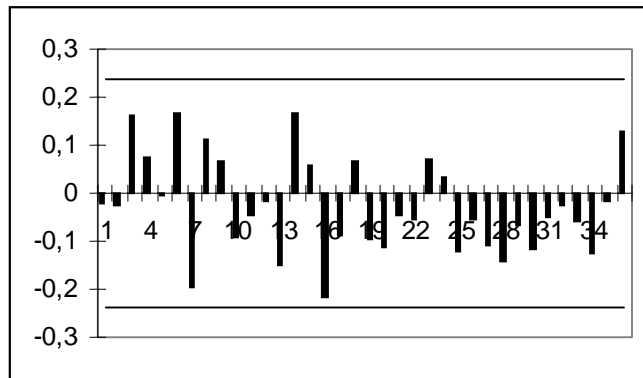


Figura A.9. FAC de los residuos del modelo 1 de la serie WPSERIEP.

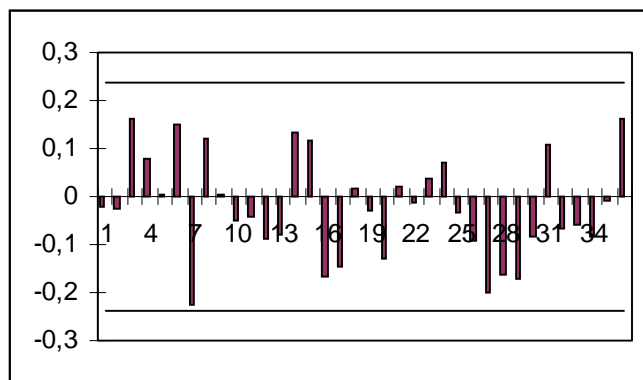


Figura A.10. FACP de los residuos del modelo 1 de la serie WPSERIEP.

Sin embargo, para asegurarse de que el modelo tampoco presenta una estructura inadecuada cuando se toman los coeficientes en su conjunto, se utiliza el *test "portmanteau" de falta de ajuste*. Para realizar el test se obtiene el valor Q, definido como la suma de los cuadrados de las primeras h autocorrelaciones de la serie de los residuos de un proceso ARMA(p,q) multiplicada por el número de observaciones de esta serie, y este valor se compara con el valor de una distribución χ^2 con h-p-q grados de libertad. Para el modelo 1, el valor de Q vale 18.82; después de consultar una tabla de χ^2 no hay razones para dudar de la adecuación del modelo. Los resultados del test se indican en la Tabla A.3.

III.4.C. Tests de aleatoriedad. Otros tests realizados al modelo 1 se indican en la Tabla A.3; los resultados permiten suponer una estructura aleatoria, es decir, que el modelo es adecuado y puede utilizarse para pronosticar⁷.

⁷ Una explicación detallada de estos tests se encuentra en Brockwell, 1991 a.

Test	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
<i>Portmanteau</i> (h=20)	18.8266 (χ^2 con 17 grados de libertad)	19.7226 (χ^2 con 17 grados de libertad)	7.2626 (χ^2 con 9 grados de libertad)
Puntos de inflexión (46.67, 3.53**2)	49	48	51
Diferencia de signo (35.5, 2.47**2)	38	38	38
Rank (1278, 308.56**2)	1393	1428	1402

Tabla A.3. Tests de aleatoriedad de los residuos para tres modelos.

III.5. Pronóstico. El software de Brockwell y Davis (1991 b) permite realizar pronósticos fácilmente. En la Tabla A.4 se presentan los resultados de la tarea de pronóstico. La columna 1 corresponde a los meses pronosticados; la columna 2 es una lista de los datos históricos no utilizados en la construcción del modelo y reservados para evaluar la calidad de los pronósticos; la columna 3 contiene los pronósticos generados; la columna 4 es el error de pronóstico (columna (2) - columna (3)); la columna 5 muestra el error de pronóstico absoluto (ABS(columna(4))); la columna 6 indica el error absoluto porcentual (columna(5)/columna(2)*100); y la columna 7 contiene el error cuadrático (columna (4)²). En la penúltima fila de la tabla se calcula la suma de los diversos errores de pronóstico y en la última se muestran los valores promedio que utilizamos en la comparación con otros modelos.

(1) Mes	(2) Dato histórico	(3) Pronóstico	(4) Error	(5) Error absoluto	(6) Error absoluto %	(7) Error cuadrático
73	27,541	25,556	1,985	1,985	7,21	3,94
74	27,361	28,395	-1,034	1,034	3,78	1,07
75	37,777	32,975	4,802	4,802	12,71	23,06
Suma			5,75	7,82	23,70	28,07
Media			1,92	2,61	7,90	9,36

Tabla A.4. Pronósticos de la serie WPSERIEP realizados con el modelo 1 y cálculo de errores.

III.6. Otros modelos. Según la metodología de Box y Jenkins el proceso de modelización concluye con la obtención de un modelo adecuado (como el (A.14)) y la realización de los pronósticos. Sin embargo, los avances tecnológicos que aceleran el cálculo permiten expandir fácilmente el análisis a modelos alternativos, estudiados a continuación.

III.6.A. Modelo MA(14). Dada las dudas que las FAC y FACP de las Figuras A.5 y A.6 dejan sobre la naturaleza del proceso generador de la serie, construimos un modelo MA(14) y eliminamos los coeficientes poco significativos, con un criterio similar al empleado con el modelo AR(14). El modelo obtenido es el siguiente:

$$\bar{z}_t = a_t - 0.367a_{t-1} - 0.079a_{t-3} - 0.589a_{t-12} \quad \text{con } \mu = 30.59 \text{ y } \sigma_a^2 = 23.75$$

El análisis de los residuos no arroja resultados satisfactorios. Si bien los residuos superan los tests (Tabla A.3, modelo 2), ellos no son ruido blanco pues presentan una estructura autorregresiva estacional: en efecto, las autocorrelaciones en los rezagos 12, 24 y 36 (no graficadas por razones de espacio) son relativamente grandes e indican la presencia de una estructura estacional de orden 12, que no es capturada por el proceso MA. Por otra parte, con su valor de 448.4303, el AICC es significativamente mayor que el del modelo AR(14), circunstancia que lo eliminaría de toda consideración posterior. Para terminar de descartar el modelo, consignemos que los errores de pronóstico (excepto el error medio) son mayores que los de los modelos alternativos (Tabla A.4).

III.6.B. Modelo ARMA(14,14). En el proceso de búsqueda de un modelo adecuado y con bajo AICC ajustamos un proceso ARMA(14,14), en el cual consideramos solamente los coeficientes más significativos. El resultado es el siguiente:

$$\begin{aligned} \bar{z}_t = & 0.35\bar{z}_{t-1} - 0.34\bar{z}_{t-4} - 0.27\bar{z}_{t-8} + 0.61\bar{z}_{t-12} - 0.28\bar{z}_{t-13} \\ & + a_t - 0.52a_{t-3} - 0.51a_{t-4} - 0.14a_{t-6} - 1.08a_{t-8} \\ & - 0.16a_{t-9} - 0.29a_{t-12} \quad \text{con } \mu = 30.59 \text{ y } \sigma_a^2 = 7.92 \end{aligned} \quad (\text{A.15})$$

El valor de AICC de este modelo es 426.77, sensiblemente mejor que el del modelo (A.14). Por este motivo, (A.15) debería ser adoptado como herramienta de pronóstico (Brockwell (1991 a)). Sin embargo, (A.15) contiene un número importante de parámetros –11 coeficientes– cuya razón de ser es difícil de explicar intuitivamente a una audiencia gerencial. Por otra parte, a pesar de la reducida varianza de los residuos ($\sigma_a^2 = 7.92$) y de los valores aceptables de los tests (Tabla A.3, modelo 3), la calidad de los pronósticos realizados con este modelo (Tabla A.5) es inferior a la del (A.14), conceptualmente más simple.

Modelo	Error medio	Error absoluto medio	Error absoluto % medio	Error cuadrático medio
AR(14) con coeficientes seleccionados	1,92	2,61	7,90	9,36
MA (14) con coeficientes seleccionados	-0,841	4,020	13,053	16,941
ARMA(14,14) con coeficientes seleccionados	3,39	3,39	10,56	13,86

Tabla A.5. Errores de pronóstico comparados para tres modelos.

Optamos finalmente por el modelo AR(14), por su simplicidad y porque permite realizar una interpretación razonable de los parámetros.

IV. CONCLUSIONES

El Apéndice presenta el método práctico más utilizado para la construcción de las series en Whirlpool Argentina. Si bien se respetó, como es natural, la teoría y práctica estadística, también se consideró, en la selección de los modelos, la necesidad de explicarlos a profesionales y gerentes de la empresa que no tienen una formación especializada. Así, entre dos modelos aceptables, se optó por el de mayor sentido gerencial. Este enfoque, que requiere la consideración de numerosos procesos alternativos, fue facilitado por la disponibilidad de programas de computación rápidos y de fácil uso.

Tanto en el análisis de los datos como en la difusión de los resultados se dio una gran importancia al uso de los gráficos de las series y de los residuos, así como al análisis de estos y al examen de los pronósticos. Aunque un buen modelo no necesariamente pronostica bien los próximos tres períodos, ni un mal modelo los pronostica mal, hemos observado que un modelo razonablemente bueno que produzca pronósticos relativamente aceptables logra transmitir confianza y aceptación entre los usuarios del sistema de pronóstico.

BIBLIOGRAFÍA

Armstrong, J.S. (1987), "The Forecasting Audit", en Makridakis, Spyros y Steven C. Wheelwright, The Handbook of Forecasting: A Manager's Guide, Segunda Edición, Wiley, New York. Citado en Makridakis y Wheelwright (1989).

Box, G.E.P y G.M. Jenkins (1976), Time Series Analysis: Forecasting and Control, Segunda Edición, Holden-Day, San Francisco.

Brockwell, Peter J. y Richard A. Davis (1991 a), Time Series: Theory and Methods, Segunda Edición, Springer-Verlag, New York.

Brockwell, Peter J. y Richard A. Davis (1991 b), ITSM: An Interactive Time Series Modelling Package for the PC, Springer-Verlag, New York.

de Gooijer, J.G., B. Abraham, A. Gould y L. Robinson (1985). "Methods of determining the order of an autoregressive-moving average process: A survey", *Int. Statist. Review*, 53, 301-329. Citado en Brockwell y Davis (1991 a).

Kendall, Maurice (1976), Time-Series, Segunda Edición, Charles Griffin and Company Ltd, London.

Makridakis, Spyros y Steven C. Wheelwright (1989), Forecasting Methods for Management, Quinta Edición, John Wiley & Sons, New York.

SPSS UK, Ltd., SPSS Training: Time Series Analysis and Forecasting, Chicago, IL (SPSS Inc., 444 North Michigan Avenue, Chicago, IL 60611).

Tukey, John W. (1977), Exploratory Data Analysis, John Wiley and Sons, NY, NY.

NOTAS

ⁱ Los autores agradecen los comentarios del Prof. Rodolfo Aprea, de la Universidad del CEMA, y asumen la responsabilidad por eventuales errores.

ⁱⁱ Este documento de trabajo fue escrito antes de los cambios político-económicos ocurridos en la Argentina en diciembre de 2001 y enero de 2002. La nueva situación, con su volatilidad, obliga a complementar los análisis estadísticos con nuevos enfoques cualitativos, además de los que se venían utilizando en la empresa.

ⁱⁱⁱ Whirlpool Argentina es una subsidiaria de Whirlpool Corporation, una organización dedicada a la producción y comercialización de productos electrodomésticos a nivel mundial. En 1987 Whirlpool Corporation adquirió la mayoría del negocio de grandes aparatos electrodomésticos de Philips en todo el mundo, continuando la actividad de esta empresa en Europa, Asia y América. En 1992 adquirió las dos sociedades que Philips tenía en la Argentina. Actualmente Whirlpool Argentina posee dos plantas, una ubicada en La Tablada y la otra en la provincia de San Luis, donde se producen heladeras y lavarropas semiautomáticos. La comercialización incluye, además de los aparatos producidos en San Luis, otros que completan la oferta y que son importados de otras plantas que la corporación posee en países como Estados Unidos, Italia, Suecia y Brasil.

^{iv} Históricamente, el interés de las organizaciones ha ido virando en su orientación: (a) de la producción al producto, (b) del producto a la venta, (c) de la venta a la mercadotecnia y (d) de la mercadotecnia al cliente. Cada una de estas etapas ha permitido el desarrollo de técnicas nuevas o el redescubrimiento de viejas herramientas. Whirlpool no ha sido ajena a estos patrones de cambio.

^v Algunas técnicas de análisis de series cronológicas se remontan a las primeras décadas del siglo XX. Ver, por ejemplo, Kendall (1976).

^{vi} No es posible imaginar la actividad gerencial sin los pronósticos; los gerentes necesariamente pronostican variables como ventas futuras, niveles de precio, capacidad requerida, tendencias tecnológicas y legales, etc. Ahora bien, mientras que, a pesar de sus ventajas, la mayoría de las empresas no cuenta con sistemas formales de pronóstico, otras sí han desarrollado esquemas para el tratamiento sistemático de los valores que las variables de interés tomarán en el futuro. Ver Makridakis y Wheelwright (1990), especialmente Cap. 1.

^{vii} El Presidente de la empresa participó desde el comienzo en las actividades de organización y capacitación para el sistema de pronóstico, con lo cual aumentó la probabilidad de llevar el proyecto a buen término.

^{viii} En el proceso de pronóstico, en especial, cuando se trabaja con información cualitativa, se presentan limitaciones a la capacidad de procesar información y varios tipos de sesgos y errores de criterio en la toma de decisiones. Es necesario estar conscientes de estas limitaciones para evitar costosos errores. Ver Makridakis y Wheelwright (1989), Cap. 13.

^{ix} A esta altura de la explicación, podría proponerse la formulación de un modelo estadístico integral que incluyera "todas" las variables y que redujera aun más las intervenciones discrecionales de los participantes del proceso. Pero para poder llevar adelante esta idea se requeriría un grado de maduración de la cultura de la organización que sólo se alcanza luego de un tiempo de uso de modelos más simples. Además, la experiencia de los expertos sugiere que, desde un punto de vista meramente práctico, las mejoras que podrían obtenerse con un modelo integral no compensarían de manera concluyente los esfuerzos que sería menester realizar.

^x Cuando se analizan las ventas es usual efectuar diversos cortes que permiten extraer distintos tipos de información. Los cortes típicos son por categoría de producto o modelo, y por área geográfica o zona de venta. También es posible el corte por marcas. Este último es en general derivado hacia empresas especializadas en investigación de mercados, que, por su experiencia y organización, realizan investigaciones de tipo motivacional.

^{xi} Con el método de suavizado exponencial se obtuvieron resultados aceptables para los horizontes de corto plazo. La descomposición clásica no ofreció grandes ventajas, pero debe destacarse su utilidad cuando no se posee un sistema computacional avanzado de pronóstico, ya que puede ser fácilmente realizada en una planilla de cálculo.