



## MODELOS DE PRONÓSTICOS DE SERIES DE TIEMPO: PROPUESTA DE SOPORTE LOGÍSTICO AERONÁUTICO PARA LA FLOTA SÚPER TUCANO.<sup>1</sup>

SERIES DE MODELOS DE PREVISÃO DO TEMPO: PROPOSTA DE SUPORTE LOGÍSTICO AERONÁUTICO PARA A FROTA SUPER TUCANO<sup>2</sup>

MODELS OF PROGNOSIS OF TIME SERIES: PROPOSAL FOR AERONAUTICAL LOGISTIC SUPPORT FOR THE SUPER TUCANO FLEET<sup>3</sup>

María Del Rosario Calle Rodríguez<sup>4</sup>

Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana

---

### CIENCIA Y PODER AÉREO

ISSN 1909-7050 / E- ISSN 2389-2468 / Volumen 11/ Enero-diciembre de 2016/ Colombia/ Pp. 42-56

Recibido: 12/08/2016

Aprobado evaluador interno: 26/08/2016

Aprobado evaluador externo: 05/09/2016

Doi: <http://dx.doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.525>



**Para citar este artículo:**

Calle, M. D. R. (2016). Modelos de pronósticos de series de tiempo. Propuesta de soporte logístico aeronáutico para la flota Súper Tucano. *Ciencia y Poder Aéreo*, 11 (1), 42-56. Doi: <http://dx.doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.525>

<sup>1</sup> Artículo de revisión, generado como opción de grado, el cual le permitió obtener el título de Especialista en Logística Aeronáutica a la autora, en EPFAC.

<sup>2</sup> Artigo de revisão, gerado como uma opção de formatura, o que lhe permitiu obter o título de Especialista em Logística Aeronáutica à autora na EPFAC.

<sup>3</sup> Review article, generated as an option of degree, which allowed the author to obtain the title of Specialist in Aeronautical Logistics, in EPFAC.

<sup>4</sup> Ingeniera industrial, Universidad de Ibagué. Oficial Fuerza Aérea Colombiana, especialidad en abastecimientos aeronáuticos. Actualmente trabaja en la Base Aérea CACOM-2, Escuadrón Abastecimientos Aeronáuticos. Correo electrónico: maria.calle@fac.mil.co

**Resumen:** el pronóstico se hace indispensable en cualquier organización productiva, considerando que se constituye en la base de la planeación a largo plazo en cualquier área funcional, y por tanto, en herramienta vital para la toma de decisiones de la gerencia. El arte de pronosticar pretende predecir la demanda de un producto o servicio de forma tal que el sistema productivo sea eficiente y responda a las necesidades en cantidad, y oportunidad. El presente artículo efectúa en primera instancia un recorrido bibliográfico para describir el contexto del pronóstico, posteriormente se lleva a cabo una revisión documental en cuanto a proyecciones de sectores industriales diversos, y finalmente se presenta la particularidad del pronóstico en la Fuerza Aérea Colombiana específicamente con una propuesta para la proyección de la demanda del soporte logístico aeronáutico de la flota del equipo Súper Tucano A-29 en el Comando Aéreo de Combate No. 2; concluyendo que la metodología sugerida no dista de las tendencias actuales, por el contrario reúne a la mayoría de ellas, seleccionando el mejor modelo de manera independiente para cada componente de la flota, hecho que garantiza una acertada inferencia y que al cumplir las condiciones establecidas puede ser extrapolada y estandarizada para el soporte logístico aeronáutico de la Fuerza Aérea Colombiana, situación que de presentarse generaría un alto impacto presupuestal para la Fuerza Aérea, para el Ministerio de Defensa, y por ende, para las finanzas públicas nacionales, en razón a que los costos de soporte logístico reflejarían una disminución respecto a anteriores vigencias.

**Palabras clave:** demanda; error residual; inventarios; pronóstico; series de tiempo; soporte logístico.

**Resumo:** a previsão torna-se indispensável em qualquer organização produtiva, considerando que é a base do planejamento de longo prazo em qualquer área funcional e, portanto, uma ferramenta vital para a tomada de decisões gerenciais. A arte da previsão visa prever a demanda por um produto ou serviço de tal forma que o sistema produtivo seja eficiente e responda às necessidades em quantidade e oportunidade. Em primeiro lugar, este artigo faz um percurso bibliográfico para descrever o contexto da previsão, então uma revisão documental é realizada em termos de projeções de vários setores industriais e, finalmente, a particularidade da previsão é apresentada na Força Aérea Colombiana, especificamente com uma proposta para a projeção da demanda do suporte logístico aeronáutico da frota da equipe Super Tucano A-29 no Comando Aéreo de Combate Nº 2; concluindo que a metodologia sugerida não está longe das tendências atuais e, pelo contrário, consegue ter maioria deles, selecionando o melhor modelo independentemente para cada componente da frota, fato que garante uma inferência certa e que cumprindo as condições estabelecidas poderia ser extrapolada e padronizada para o apoio logístico aeronáutico da Força Aérea Colombiana, situação essa que, se acontecer, geraria um alto impacto orçamentário para a Força Aérea, para o Ministério da Defesa e, portanto, para as finanças públicas nacionais, porque os custos de apoio logístico refletiriam uma diminuição em relação aos períodos anteriores.

**Palavras-chave:** apoio logístico; demanda; erro residual; inventários; previsão; série temporal.

**Abstract:** the prognosis becomes indispensable in any productive organization, considering that it is the basis of long-term planning in any functional area and therefore a vital tool for management decision-making. The art of forecasting aims to predict the demand for a product or service in such a way that the productive system is efficient and responds to the needs in quantity and opportunity. In the first instance, this article makes a bibliographic tour to describe the context of the forecast, then a documentary revision is carried out in terms of projections of various industrial sectors, and finally the particularity of the forecast is presented in the Colombian Air Force specifically with a proposal for the projection of the demand of the aeronautical logistic support of the fleet of the Super Tucano A-29 team in Combat Air Command No. 2; concluding that the suggested methodology is not far from the current trends and on the contrary brings together most of them, selecting the best model independently for each component of the fleet, a fact that guarantees a correct inference and that when meeting the established conditions can be extrapolated and standardized for the aeronautical logistic support of the Colombian Air Force, a situation that if presented would generate a high budgetary impact for the Air Force, for the Ministry of Defense and therefore for national public finances, because the costs of logistic support would reflect a decrease from previous periods.

**Key Words:** Demand; Forecast; Inventories; Logistic Support; Residual Error; Time Series.

## Introducción

La dinámica económica exige que los líderes empresariales adopten herramientas formales, estadísticas y científicas, para establecer las decisiones que enmarcarán el rumbo de la organización. Es decir, la planeación y el empirismo se distancian hoy por hoy, dado los altos costos, así como la inminente aniquilación del mercado, que este último conlleva. Por tanto, permanecer preparado y con información robusta que permita una rápida adaptación a las fluctuaciones de sucesos económicos, sociales, naturales y demás, se constituye en factor de éxito organizacional; es en este escenario en el que el arte del pronóstico o de la predicción cobra su mayor relevancia en razón a que permitirá desde la actualidad prever comportamientos o hechos que posteriormente pueden ser incorporados al proceso de la planeación. La información que se pretende pronosticar, impacta y permea todas las áreas funcionales de la organización, mercadeo, presupuesto, disponibilidad de talento humano, compras, proveedores, distribución en planta, es decir, los resultados obtenidos permitirán moldear el futuro institucional. Para la gestión de materiales, en la cadena de suministros, el pronóstico, representa el punto de partida para el desarrollo de la información.

Generar un pronóstico acertado garantiza la disminución de costos de adquisición. La adecuada predicción del soporte logístico aeronáutico en la Fuerza Aérea Colombiana, permite el ahorro de recursos económicos, considerando que anualmente una flota de combate requiere repuestos y servicios de mantenimiento por un valor aproximado de US15 millones. Si se logra con antelación obtener un acercamiento a la tendencia de las fallas imprevistas, que implican la utilización de repuestos. Asimismo, es posible adquirir el material necesario, antes de producirse la falla, de forma tal que la cadena de suministros obtiene el tiempo necesario para optimizar los costos de éstos repuestos, implementando prácticas de aprovisionamiento como la economía de escala y en general mejores términos de negociación con proveedores. Situación que implica una repercusión en la dinámica económica nacional, dado que, los recursos ahorrados por el Ministerio de Defensa podrían traspasarse a otros componentes de ámbito nacional como salud, educación o infraestructura vial por ejemplo.

De igual manera, un pronóstico de precisión en la FAC, genera un impacto positivo directamente en el alistamiento aeronáutico, en razón a que la disponibilidad del material en la cantidad y en la oportunidad requerida permite cumplir con los mantenimientos imprevistos, y así tener en línea las aeronaves que cumplirán con la misión encomendada a la FAC.

Ante la importancia manifiesta del tema, el presente artículo pretende contextualizar el pronóstico y las series de tiempo, posteriormente presentar la documentación efectuada al respecto, en diversos sectores industriales, a nivel internacional, reflexionando sobre su aplicabilidad en la FAC, y finalmente presentar la metodología propuesta para la proyección del soporte logístico aeronáutico en la flota Súper Tucano, en la cual se concluye que deben utilizarse diversos métodos para pronosticar cada uno de los componentes o números de parte que constituyen la aeronave, seleccionando el óptimo entre ellos, mediante el cálculo de menor error residual.

## Objetivo general

Analizar casos de utilización de métodos de pronósticos en diversas áreas a nivel mundial y señalar la aplicabilidad en la Fuerza Aérea Colombiana. Describir la metodología propuesta para proyectar el soporte logístico de la flota Súper Tucano.

## Objetivos específicos

Identificar los conceptos de administración de la demanda, tipos de proyección y componentes de la demanda.

Documentar el tema de pronósticos mediante series de tiempo en diversos sectores industriales, de países como Argentina, Eslovenia, Italia, Irán y Grecia; señalando su aplicabilidad en la FAC.

Describir la metodología propuesta para proyectar el soporte logístico de la flota Súper Tucano A-29 en la Fuerza Aérea Colombiana.

## Método

El presente artículo se desarrolla con una metodología de enfoque cualitativo, es decir, mediante la descripción de las características de los pronósticos de series de tiempo en diversos casos industriales y su aplicabilidad en la proyección del soporte logístico aeronáutico en la FAC.

## Administración de la demanda, tipos de proyección y componentes de la demanda

En términos económicos la demanda se encuentra descrita, según Salvatore, (2009) en la cantidad de un satisfactor que una persona desea comprar en un período determinado, es una función del precio del satisfactor, o depende de este, del ingreso monetario de la persona, del precio de otros satisfactores y de los gustos de la persona. Al variar el precio del satisfactor en cuestión, pero manteniendo constantes el ingreso de la persona y sus gustos, así como el precio de otros satisfactores, se obtiene la tabla de la demanda individual del satisfactor. La representación gráfica de la tabla de la demanda individual



da como resultado la curva de demanda de esa persona (Dominick, 2009).

Este concepto extrapolado al contexto de la logística aeronáutica se traduce en los elementos y servicios que permitirán satisfacer el mantenimiento aeronáutico programado e imprevisto de una flota aérea, en un período de tiempo establecido, el cual generalmente es anual, provistos por el proceso de gestión de materiales a través de entes exógenos al mismo, como lo son, los proveedores aeronáuticos y los talleres de nivel II con que cuenta la FAC en el Comando Aéreo de Mantenimiento. En este caso, los ingresos para la adquisición del satisfactor no permanecen constantes, se encuentran asociados a la asignación presupuestal obtenida por la Jefatura de Operaciones Logísticas Aeronáuticas en la Fuerza Aérea Colombiana ante el Ministerio de Defensa, es decir se encuentra afectado por las variables macroeconómicas que afronte en determinado momento el país. En relación a los gustos, que menciona Salvatore, (2009); éstos se refieren, en el ámbito descrito, a las especificidades técnicas de cada solicitud, sea esta un repuesto o un mantenimiento.

El propósito de la administración de la demanda es coordinar y controlar todas las fuentes de la misma, de manera tal que el sistema productivo pueda utilizarse en forma eficiente y que el producto se despache a tiempo. Existen dos fuentes básicas de demanda: la demanda dependiente y la independiente. La dependiente es la demanda de un producto o servicio, causada por la demanda de otros productos o servicios. La demanda independiente no puede derivarse directamente de la de otros productos (Chase Richard B., 2000).

La administración de la demanda para el soporte logístico aeronáutico se establece como los requerimientos que por este concepto deben ser atendidos por la gestión de materiales mediante una cadena de suministros es decir la totalidad de repuestos y servicios de mantenimiento que cada una de las flotas requiere en un período de tiempo establecido para cumplir una cantidad de horas de vuelo determinada. La demanda dependiente se encuentra asociada al soporte logístico requerido por los eventos de mantenimiento programado (boletines técnicos, TBO's Time Between Overhaul, tiempo establecido por manual de la aeronave, entre mantenimiento mayor y *hard time*, tiempo establecido por manual de la aeronave para cambio de componentes) que presente la flota y la demanda independiente se asocia a los requerimientos logísticos para soportar eventos aislados, inesperados, o imprevistos como los surgidos por ejemplo, debido al mayor requerimiento de neumáticos, producido por un mayor desgaste

en los mismos, generado por la falta de habilidad del piloto al aterrizar una aeronave.

Lo anterior, amerita el hecho de concentrarse en la demanda independiente, para intentar con la mayor certeza posible, predecir la utilización de material y/o servicios aeronáuticos para atender aquellos eventos que generarán mantenimientos aeronáuticos.

La proyección se puede clasificar en cuatro tipos básicos: cualitativa, de análisis de series de tiempo, de relaciones causales y de simulación. Las técnicas cualitativas son subjetivas o de juicio y están basadas en cálculos y opiniones. El análisis de las series de tiempo, se basa en la idea de que los datos relacionados con la demanda anterior se pueden utilizar para predecir la demanda futura. La proyección causal, se analiza utilizando la técnica de regresión lineal, supone que la demanda está relacionada con algún factor o factores subyacentes del medio. Los modelos de simulación permiten que quien hace la proyección examine una serie de supuestos sobre la condición de la proyección (Chase Richard B., 2000).

El presente artículo se basa en la proyección mediante las series de tiempo, buscando datos asociados a temporalidades previas que según los análisis establecidos permitirán proponer futuros sucesos de la demanda estudiada. Demanda que específicamente corresponderá en la Fuerza Aérea Colombiana a los repuestos aeronáuticos y sus consumos en un tiempo determinado.

Los componentes de la demanda están constituidos en la demanda promedio para el período, tendencia, estacionalidad, ciclicidad, variación aleatoria y auto correlación.

La tendencia corresponde al desplazamiento o movimiento de la serie de tiempo, a largo plazo observable a través de largos períodos (Anderson David R, 2005). Este componente principalmente exponencial creciente se asocia a los componentes requeridos para el mantenimiento, en los períodos de tiempo, según se incrementa el tiempo de vida útil de una flota, la tendencia se denota en el aumento de mantenimientos, y por ende en el aumento exponencial creciente del material requerido para efectuarlos.

El componente estacional, correspondería en el ámbito de mantenimiento aeronáutico a los materiales requeridos por overhaul denominados TBO's, porque tendrán una repetición periódica como lo citan Anderson, Sweeney & Williams (2005) al mencionar el concepto de componente estacional en una serie de tiempo: componente del modelo que muestra un patrón periódico de un año o menos.

Chase Richard, B. (2000) menciona que los factores cíclicos presentan mayor dificultad para su determinación puesto que el lapso de tiempo puede ser desconocido o la causa del ciclo puede no considerarse. Esta influencia puede generarse por agentes exógenos al modelo de estudio, como por ejemplo las contiendas políticas, guerra, indicadores macroeconómicos. En la verificación de este componente para el material aeronáutico se encuentra implícito en hechos tales como la asignación presupuestal al ministerio de defensa, impulsada por políticas de Estado, para proyectos de inversión en un cuatrienio, lo cual conlleva a la adquisición de soporte logístico concatenado con la recepción de aeronaves o sistemas nuevos.

La aleatoriedad es producida como lo cita Chase Richard, B. (2000) por hechos al azar. Estadísticamente cuando todas las causas conocidas de la demanda se sustraen de la demanda total, lo que queda es la porción inexplicada de la misma. Si no se puede identificar la causa de este remanente, se supone que es puramente cuestión del azar. Indudablemente las series de tiempo a analizar en lo relacionado con el soporte logístico aeronáutico tampoco se encuentran exentas de este tipo de componente. Sin embargo, se pretende que esa porción sin identificación, pueda minimizarse en el resultado de la predicción, hecho que se efectúa con la correlación de los datos históricos y los pronosticados, al analizar tanto su correlación como su diferencia, concepto establecido en el error residual.

Según lo explicado por Chase Richard, B. (2000), la auto correlación denota la persistencia del evento. Más específicamente, el valor esperado en cualquier punto está muy correlacionado con sus propios valores anteriores. Este concepto amplía lo mencionado previamente, donde esta persistencia de información es la que finalmente garantizará la eficacia del método de pronóstico utilizado, entendiéndose como el método que óptimamente delinea el comportamiento de los datos analizados como demanda de materia. De igual manera, la auto correlación propende por la disminución del error, así como la relación directa de los datos previos con los pronosticados.

Las series de tiempo corresponderán en el presente caso de análisis a los datos consolidados que como demanda observada, se obtienen de las salidas, de los almacenes aeronáuticos y reparables en un período de tiempo en lo posible mayor a cinco años con el fin de garantizar certeza y robustez en la predicción efectuada. La recurrencia citada por los anteriores autores debe evidenciarse a través de alguno de los métodos que a continuación serán descritos.

## Revisión de pronósticos que utilizan series de tiempo en diversos sectores industriales de países como Argentina, Eslovenia, Italia, Irán y Grecia, señalando su aplicabilidad en la Fuerza Aérea Colombiana (FAC)

### Modelo Bayesiano alternativo de pronóstico. Caso exportaciones argentinas

En Argentina dadas las crisis que han afectado su economía, que según Lanteri (2010) se produjeron por la liberación comercial y financiera generadas por el Gobierno Nacional en conjunto con la aplicación de un sistema de tipo de cambio fijo; reviste de importancia realizar pronósticos acertados de una de sus variables macroeconómicas, las exportaciones, cuya oscilación afecta considerablemente la balanza comercial.

Para el efecto, Lanteri (2010) propone los modelos de VAR (Valor del Riesgo) sin restricciones y de sistemas de VAR bayesianos (BVAR), así como los modelos FAVAR (Factor Aumentado VAR). En contraposición a que generalmente las variables macroeconómicas son formuladas y pronosticadas mediante ecuaciones estructurales simultáneas, los economistas asociados a la nueva macroeconomía clásica han criticado la forma de identificar estos modelos y su uso como herramientas de evaluación cuantitativa de las políticas económicas (Lucas, R, 1976; Prescott, 1977; Lucas & S, 1979; citado en Lanteri, 2010).

El modelo bayesiano propone utilizar un conjunto de supuestos *a priori* alrededor de los parámetros a ser estimados. Luego se revisarían estos prior a partir de la evidencia de las series de tiempo de los datos (la hipótesis *a priori* sobre los parámetros podría ser confirmada por las observaciones). De esta forma, el objetivo de la propuesta bayesiana sería estimar los coeficientes del modelo, combinando la evidencia de los datos de la muestra con la información prior. Por ejemplo, podría sugerirse como prior que el primer coeficiente auto regresivo de un modelo AR (L) para una determinada variable es igual a la unidad y que todos los demás coeficientes son cero. Este prior sería consistente con la creencia de que la variable en cuestión sigue un camino aleatorio, o que sus variaciones son completamente impredecibles. Luego la estimación bayesiana de los parámetros del AR (L) revisarían los valores prior a partir de la evidencia que muestran los datos. La información de los datos de la muestra puede resumirse en la función de verosimilitud muestral, la cual puede pensarse como la función de verosimilitud de la variable aleatoria, condicional al valor tomado por el parámetro. Los dos tipos de información (prior y muestral) se combinan en la función de verosimilitud posterior, o ponderación bayesiana, que representa la probabilidad del mode-



lo condicional a los datos observados. La estimación de los parámetros del VAR bajo este enfoque se conoce en la literatura como VAR bayesianos (BVAR). (Lanteri, 2010).

Para la estimación de los modelos de BVAR, se utiliza la técnica mixta de Theil (1971) en (Lanteri, 2010), combinando la información de los datos (muestra) con la información prior estocástica. Si se dispusiera de  $m$  prior para la estimación de los parámetros del BVAR, esta propuesta estimaría un modelo con  $N+m$  observaciones, donde  $N$  corresponde a la información de la muestra y  $m$  a las restricciones. Las  $m$  observaciones correspondientes a las restricciones se ponderan de acuerdo al grado de ajuste en cada prior. Para un prior difuso extremo (la cantidad de información del prior tiende a cero), la estimación de BVAR se aproximaría a la de mínimos cuadrados de un VAR sin restricciones, mientras que para un prior extremadamente informativo, o preciso, la estimación mixta tendería hacia un conjunto de parámetros que satisfacen las restricciones del prior (Lanteri, 2010).

Cada ecuación del VAR puede expresarse de la siguiente manera, (Lanteri, 2010):

$$Y_{i,t} = d_i + \sum_j \phi_{ij} Y_{j,t-s} + e_{i,t}$$

Para evitar los problemas de sobre parametrización propios de los modelos de VAR (Litterman, 1985; Sims, 1992 citados en Lanteri, 2010) sugieren incluir en la estimación información previa sobre los parámetros, es decir supuestos acerca de los posibles valores de los parámetros independientemente de la información que proviene de la muestra.

La segunda propuesta descansa en los modelos FAVAR (Factor aumentado VAR), que combinan los VAR con el análisis de factores, de acuerdo con los trabajos pioneros de Bermanke & Boivin, 2003; Bermanke, Boivin & Eliasz, 2005; citados en Lanteri, 2010.

Estos factores se estiman por el método de componentes principales, a partir de una mayor cantidad de series de tiempo, entre las que se incluyen variables externas (precios al productor de los Estados Unidos, LIBOR a tres meses, nivel de actividad industrial de las economías avanzadas, índice de precios en dólares de las materias primas) y domésticas (series de la oferta y demanda globales a precios constantes y tipo de cambio real multilateral) (Lanteri, 2010).

Los métodos anteriormente descritos son de aplicabilidad en la FAC, considerando que las variables macroeconómicas se encuentran inmersas en la planeación de presupuestos de inversión y funcionamiento. Específicamente

en la logística aeronáutica se requiere efectuar proyecciones de la Tasa de Cambio TRM del dólar americano, considerando que un alto porcentaje de las adquisiciones se efectúan en esta moneda a través de la Agencia de Compras, es una constante proyectar este valor para establecer las previsiones presupuestales, por ende los flujos de caja requeridos por el área funcional y la Fuerza. Actualmente, estas inferencias se ciñen a las establecidas por el Banco de la República, que sin lugar a dudas se constituyen en un aporte valioso al proceso. Sin embargo, la elaboración del propio pronóstico sería interesante y enriquecedor.

### **Pronóstico de la demanda de una marca de cerveza eslovena utilizando análisis de series de tiempo**

La demanda primaria de cerveza ha sido investigada ampliamente (Bourgeois & Barnes, 1979; Franke & Wilcox, 1987; Leeflang & Van Duijn, 1982; Franses, 1991; citados en Bratina & Faganel, 2008). Los autores antes referidos usan las siguientes variables exógenas: precios de la cerveza, temperatura exterior, gastos en publicidad y el índice de precios al consumidor.

De acuerdo con Bourgeois & Barnes, 1979 (citado en Bratina & Faganel, 2008), la publicidad tiene un pequeño efecto en las ventas. La publicidad de bebidas alcohólicas está estrictamente regulada en la mayoría de los países de la Unión Europea, disminuyendo sus efectos en las ventas.

La utilización de series de tiempo en contraposición de la clásica regresión, que omite tendencias como lo aseguran (Bratina & Faganel, 2008), ha demostrado que aumenta la capacidad de pronóstico. Como resultado de su análisis se evidenció que la demanda de cerveza en el mercado de Eslovenia, es dependiente de la estacionalidad (fechas como año nuevo y temperatura exterior) y los precios promocionales. A pesar de ser una herramienta poderosa, el análisis de series de tiempo (Dekimpe & Hannses, 1995, citado en Bratina & Faganel, 2008), es raramente utilizado en investigación de mercados.

El análisis de auto regresión muestra estacionalidad semanal típica, así como la dependencia de la serie en las ventas del día anterior, que es de esperar. El intento de mostrar los efectos a largo plazo de las ventas promocionales falla, lo que confirma la evidencia de otros empíricos estudios sobre estos efectos. Tradicionalmente, los efectos de una promoción de ventas se miden en un panel de hogares utilizando la teoría del comportamiento para evaluar los efectos de la comercialización, acciones sobre la elección de marca de los consumidores (Keane, 1997; Seetharaman, 1999; citados en Bratina & Faganel, 2008).

La mayoría de los modelos no muestran efectos a largo plazo de las promociones de ventas. Los modelos más nuevos (usando semanal, mensual, trimestral o datos anuales) y nuestro estudio (utilizando datos diarios) utiliza los datos de punto de venta en las tiendas en un marco de series de tiempo. Los datos diarios son particularmente útiles para estudiar la dinámica de las ventas y funciona, cuando un factor que afecta, cambia rápidamente. (Bratina & Faganel, 2008).

Es de resaltar que esta investigación fue adelantada con recolección de datos diarios utilizando dos grandes tiendas minoristas y mediante los modelos de series de tiempo de promedios móviles, Box Jenkis y Arima. Acercar estas evidencias a la FAC será de gran aplicabilidad, toda vez que sólo el hecho aquí demostrado de utilizar datos diarios, conduce a incrementar la certidumbre de las inferencias, si las mismas se basan en, por ejemplo, los movimientos diarios de almacenes, entradas y salidas que permitan proyectar la demanda de un reparable o un consumible; de igual forma, la consolidación diaria de fallas asociadas a los requerimientos de materiales, también podría contribuir a obtener pronósticos acertados en la logística aeronáutica.

### **Evaluación del pronóstico efectuado por el sistema de pronósticos del océano en el Mar Mediterráneo**

Este artículo desarrollado en el Instituto Nacional de Geofísica y Vulcanología de Bolognia Italia y la Universidad de Bolognia en el curso de ciencias ambientales en Ravena Italia, según (Tonani, Pinardi, Fratianni, & Dobricic, 2007) pretende evaluar la exactitud de la previsión oceánica producida por el Sistema de Pronóstico del Océano en el Mediterráneo. Cada semana este sistema genera diez días de pronóstico, efectuados los martes y lanzados los miércoles en la mañana con un retraso inferior a 24 horas. Esta estadística se lleva a cabo para la cuenca del Mediterráneo en dos productos: la temperatura media y la salinidad del océano a diferentes profundidades, entre los meses de agosto del 2005 a enero del 2006.

De acuerdo con Murphy, A., (1993, citado por Tonani, *et al.*, 2007), la calidad del pronóstico se define como una función de la precisión que puede estimarse comparando las previsiones con las observaciones. Es decir, el acercamiento que el pronóstico efectúa con respecto a los valores reales u observaciones dadas. En la medida que esta diferencia sea menor, se encuentran pronósticos más acertados, lo que otros autores denominan cálculo del error residual.

La evaluación de previsión se da aquí en términos de valor eficaz (rms) valores cuadrados. La puntuación de la principal habilidad se calcula como la raíz cuadrada media de la diferencia entre pronóstico y análisis (FA) y el

pronóstico y la persistencia (FP), donde la persistencia, se define como la media de los días del análisis correspondiente a las observaciones desde el primer día del pronóstico. Un segundo puntaje de habilidad (SSP) se define como la relación entre rms de FA y FP, dando el porcentaje de exactitud de la previsión con respecto a la persistencia. (Murphy, A., 1993, citado en Tonani, *et al.*, 2007) En la literatura es posible encontrar una amplia gama de posibles cálculos básicos, habilidades e índices para determinar la exactitud de un pronóstico. Sin embargo, se optó por la más sencilla como lo menciona Murphy, A., (1988 citado por Tonani, *et al.*, 2007)

Los productos de predicción del Sistema de Pronóstico del Océano en el Mediterráneo son los valores medios diarios de temperatura y nivel de salinidad en el mar. La proyección de producción consiste en la recolección de datos *in situ* y satelitales adecuadamente procesados, un modelo numérico y la asimilación del esquema. El modelo numérico es de diferencias finitas y se considera una superficie libre implícita (Tonani, M., 2007; citado en Tonani, *et al.*, 2007). El esquema de asimilación utilizado es un sistema de interpolación óptima de orden reducido implementado en el Mar Mediterráneo en diferentes niveles de complejidad para los últimos cinco años (Dobricic, 2006; citado en Tonani, *et al.*, 2007).

Los datos se recogen y se preparan cada semana, los días martes, y el sistema se ejecuta durante la noche entre el martes y miércoles. El sistema produce los análisis para quince días y diez días de pronóstico. Todos los conjuntos de datos son asimilados una vez en un sólo análisis con el uso de la misma matriz de covarianza de error de fondo. Esta es una de las principales diferencias respecto, a sistemas anteriores descrito por (Demirov & Pinardi, 2002; citado en Tonani, *et al.*, 2007). Los datos satelitales de temperatura superficial del mar se utilizan para corregir los flujos de calor de superficie del modelo a través de una fórmula de corrección de relajación (Pinardi, 2003; citado en Tonani, *et al.*, 2007). El pronóstico se produce a una hora de inicio, J, que es el martes mediodía todas las semanas. La preparación y realización de la previsión se hace a través de un procedimiento automático que ha sido creado y probado durante el proyecto.

La relevancia que genera para los inferencistas la verificación del artículo en mención, consiste en que trae a colación uno de los importantes retos, al cual deben enfrentarse, y es la determinación del modelo estadístico de pronóstico de mayor índice de confiabilidad para el tratamiento de los datos que tenga a cargo, no óptimo, puesto que una proyección es tan solo el acercamiento de un comportamiento futuro basado en datos previos. Estable-



cer el modelo que mejor se adapte a la información que de antemano se tiene y que conduzca a un buen pronóstico de la misma, se obtiene de forma concreta y sencilla, según lo plantea (Tonani, *et al.*, 2007), mediante la siguiente ecuación, la raíz cuadrada media de la diferencia entre la previsión y el análisis FA:

$$rms(t) = \sqrt{\frac{\sum_1^N (Xf(t) - Xa(t))^2}{N}}$$

Donde  $Xf(t)$  es la media diaria del campo de temperatura o la salinidad de las previsiones para el  $t$  días a una profundidad seleccionada, mientras que  $Xa(t)$  es la media diaria de la temperatura o la salinidad campo del análisis para el mismo día y profundidad.  $N$  es el número total de puntos océano a la profundidad seleccionada (Tonani, *et al.*, 2007)

Es preciso aclarar que la utilización de esta fórmula puede darse, como lo proponen los autores del artículo, para evaluar la eficiencia de un pronóstico efectuado, en este caso por parte del Sistema de Pronósticos del Océano en el Mediterráneo, a posteriori, o para evaluar los resultados presentados por diferentes modelos de pronósticos, con el fin de compararlos, mediante la ecuación y seleccionar el conveniente para un grupo de datos.

Es ésta, la segunda forma de utilización de la igualdad numérica presentada, la que representa para la Fuerza Aérea Colombiana la de mayor aplicabilidad, puesto que se requiere definir el modelo de mayor proximidad a la realidad, de una agrupación de datos específica. Es decir, el soporte logístico aeronáutico de cualquier flota (cantidad de repuestos y servicios de mantenimiento), deberá pronosticarse considerándose no la globalidad de la flota, si no por el contrario con un análisis particular para cada componente. Así las cosas, por ejemplo, el modelado estadístico de inferencia para la Hélice diferirá del correspondiente a un equipo de aviónica como lo es el BFI (Basic Flight Instrument), y esa diferenciación es posible hallarla con el resultado de la ecuación mencionada, la cual seguramente señalará que el modelo de pronóstico de menor error para la hélice es diferente al del BFI. Finalmente, cada componente de la aeronave tendrá asignado un único modelo estadístico de pronóstico, que representa el de menor error frente al resto de modelos estadísticos.

### **Análisis de series de tiempo de la contaminación del aire diaria de la ciudad de Isfahán**

El artículo fue elaborado por R.Modarres y A. Khosravi Dehkordi pertenecientes a la Universidad Isfahán de la Tecnología, en la Facultad de Ciencias Naturales y al Departamento de ciencias medio ambientales, respecti-

vamente. Su finalidad de acuerdo con los autores, (Modarres & Khosravi Dehkordi, 2005) fue examinar el análisis de series de tiempo de las observaciones diarias de aire contaminado en la ciudad de Isfahán en Irán entre marzo de 2003 a marzo de 2004. Isfahán es la tercera ciudad más grande de Irán, con una cantidad aproximada de 1'540.000 habitantes, se destaca por su arte arquitectónico de la era islámica, actualmente es patrimonio mundial de la UNESCO, atractiva turísticamente, se le adhiere el título de Isfahán, la mitad del mundo.<sup>5</sup> (), según información obtenida en [www.es.irna.ir](http://www.es.irna.ir)

La contaminación ambiental y su legislación, así como la afectación para la salud pública que ella implica, se constituyen en factores que obligan a la medición y control de las emisiones atmosféricas, las cuales sin lugar a dudas convergen en estimaciones y reportes numéricos, como lo indica Herzberg & Frew (2003, citado en Modarres & Khosravi Dehkordi, 2005) el desarrollo y uso de estadísticas y otros métodos cuantitativos en las ciencias ambientales han sido una importante comunicación entre científicos y estadísticos ambientales.

Diferentes técnicas han sido utilizadas para los sistemas de monitoreo de calidad del aire (Voigt & Bruggemann, 2004 citado en Modarres, *et al.*, 2005), aplicando el análisis a los componentes principales de éste, con el fin de evaluar los diferentes contaminantes, como lo son el ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y el monóxido de carbono (CO), en 15 países europeos. Sin embargo, el análisis de series de tiempo se presenta como una herramienta útil para la mejor comprensión de relación causa-efecto en la contaminación del medio ambiente (Schwartz & Marcus, 1990; Salceso, Alvim Ferraz, Alves, & Martins, 1999; Kyriakidis, 2001; citados en Modarres *et al.*, 2005)

Este enfoque es llamado de arriba hacia abajo, enfoque que comienza con el análisis estadístico de datos sobre la contaminación del aire recogido (Lee, 2002; citado en Modarres, *et al.*, 2005), llamado así seguramente por las deducciones y las inferencias particulares que genera la información en cifras evaluadas.

Este estudio se efectuó mediante un análisis descriptivo y de series de tiempo. En el primero se logró identificar previamente el comportamiento de las variables, que para el caso corresponde a las proporciones de agentes contaminantes en cada porción de aire observada, se utilizaron el cálculo de la media, desviación estándar y de los

<sup>5</sup> Para ampliar información se exhorta revisar el siguiente enlace [www.es.irna.ir/turismo-en-iran/ostan/Isfahan/isfahan\\_atractivos.htm](http://www.es.irna.ir/turismo-en-iran/ostan/Isfahan/isfahan_atractivos.htm)

Coefficientes de Variación (Cv), de Asimetría (Cs) y de Curtosis (Ck). En el análisis de series de tiempo se verificaron los componentes que la misma pudiese presentar como lo son la ciclicidad, estacionalidad y tendencia como lo mencionan Klemm & Lange (1999); Lee (2002); citado en Modarres, *et al.*, (2005).

Mediante el coeficiente de auto correlación se estableció la dependencia o relación entre los eventos (agentes contaminantes) y el tiempo.

El aporte diferenciador y por ende significativo del documento se encuentra en presentar el análisis de series de tiempo del aire contaminado asociado a la búsqueda de períodos de tiempo con el mayor riesgo de contaminación del aire, hecho que se relaciona en la ecuación SAPI, por sus iniciales en inglés (Standardized Air Pollution Index), índice de contaminación del aire estandarizado, de acuerdo con lo establecido por Modarres & Khosravi Dehkordi (2005):

$$SAPI = \frac{Pi - \Upsilon}{\sigma}$$

Donde Pi es la concentración de contaminantes en el tiempo i,  $\Upsilon$  y  $\sigma$  son la media y la desviación estándar de la serie. El índice de contaminación del aire estandarizado no es sólo útil para determinar las características de la calidad del aire en los periodos más riesgosos, también para definir los períodos de mayor riesgo (Modarres & Khosravi Dehkordi, 2005).

Los resultados obtenidos en el estudio no se constituyen en cifras aisladas, por el contrario intrínseco a ellos, se encuentra un significativo contenido de salud pública y responsabilidad social, dadas las consecuencias negativas que para la población representan (Gouviea, N., & Fletcher, T., 2000; McKee, 1993; citado en Modarres, *et al.*, 2005), inclusive durante los períodos en lo que se consideran, existen mínimos niveles de polución ambiental, (Touloumi, G., 2004; citado en Modarres, *et al.*, 2005). Este apoyo y asociación de las inferencias estadísticas generadas por el análisis de las series de tiempo de la polución atmosférica, con la salud humana ya han sido abordadas previamente por otros autores (Gouviea, N., & Flethcer, T., 2000; Roberts, 2003, citado en Modarres, *et al.*, 2005).

Con estas premisas, se tiene que rescatar el destacado valor que representa el documento analizado, tanto por su forma como por su contenido, denominándole forma a la estructura que sugiere para establecer los periodos de mayor riesgo de contaminación medio ambiental, sin limitarse a describir los agentes contaminantes y sus proporciones en unas unidades cronológicas. El hecho de presentar

esas etapas críticas de contaminación conduce a encender alarmas tanto en las entidades gubernamentales y sectores industriales privados, para iniciar planes de mitigación, soportado todo esto en una igualdad matemática denominada SAPI. Este planteamiento es de total adaptabilidad en la Fuerza Aérea Colombiana, debido a que quienes se encuentran liderando la logística aeronáutica requieren no sólo de pronósticos acertados, también como la propuesta lo describe, conocer los períodos de mayor riesgo de desabastecimiento, o contrariamente de sobre stock, con el fin de tomar acciones que prevengan la ocurrencia de estos hechos que consecuentemente paralizarían una flota de aeronaves o se constituiría en una pérdida del costo de oportunidad del presupuesto para el Sector Defensa, al dejarlo acumulado en las estanterías de un almacén aeronáutico.

De otra parte, el contenido citado por el artículo no podría ser de mayor oportunidad teniendo en cuenta el tratamiento concreto, soportado en una minería de datos, que se brinda a un tema de salud pública como puede ser catalogada la contaminación medio ambiental. Esta presentación basada en cifras permite generar determinación de los hechos analizados y coloca de manifiesto una vez más la amplia demanda que representa un apropiado análisis de series de tiempo. Situación que inclusive con la estandarización ISO14000 ya se ha develado con el ánimo de controlar la emisión de agentes contaminantes que perjudican a la población hoy y a las futuras generaciones. La Fuerza Aérea Colombiana no se encuentra aislada de estos sucesos mencionados y particularmente por la combustión requerida para el vuelo de las aeronaves, la cual resulta en emisión de gases con altos contenidos de metales pesados, por lo cual un estudio similar al sugerido por el autor, en una población, donde se ubique una base aérea, sería recomendable.

### Método de estimación de costos para superestructuras de puentes mediante análisis de regresión

Este artículo adelantado por docentes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica Nacional de Atenas en Grecia, presenta una propuesta de proyección de costos específicamente para la superestructura. Es decir, el componente más costoso del puente, (Fragkakis, Lambropoulos, & Pantouvakis, 2010). Esto considerándose que las inferencias en costos se hacen necesarias a lo largo de todo el desarrollo de un proyecto, desde su diseño, viabilidad, determinación de recursos económicos, así como la verificación de factibilidad respecto a otras propuestas a desarrollar; por tanto, se requiere de un método sencillo y de mínima inversión que genere estas predicciones y en especial para proyectos a gran escala como lo son los de infraestructura de transporte, que



generalmente presentan sobrecostos, en un 50 y hasta 100% en muchos de los casos (Skamris, & Flyvbjerg, 1997, citado por Fragkakis, *et al.*, 2010)

En razón a que la superestructura representa un significativo impacto en el costo de construcción de un puente de hormigón moderno, (Konstantinidis & Maravas, 2003) en (Fragkakis, Lambropoulos, & Pantouvakis, 2010) su costo varía de 35% a 53% del costo total, de la construcción del puente, dependiendo del método de construcción utilizado y el sistema de diseño. El artículo sugiere según Fragkakis, Lambropoulos, & Pantouvakis (2010), utilizar el Análisis de Regresión (RA) por sus iniciales en inglés (*Regression Analysis*) el cual representa uno de los métodos más utilizados para la estimación de costos paramétricos durante las etapas tempranas del proyecto. Las principales ventajas del análisis de regresión, se encuentran en la sencillez de su uso, el nivel de precisión proporcionado, y el uso parsimonioso de parámetros. Sus principales desventajas son el requisito para una forma matemática definida que mejor se ajuste a la disposición histórica de datos, la dificultad en la contabilización de un gran número de variables presentes en un proyecto de construcción, y las numerosas interacciones entre ellos (Hegazy & Ayed, 1998; citado en Fragkakis, *et al.*, 2010).

Los autores Fragkakis, Lambropoulos, & Pantouvakis (2010) utilizaron un enfoque en el análisis que incluye una prueba de hipótesis estadística para determinar el significado de cada variable independiente junto con la comprobación de la racionalidad de las relaciones de causa y efecto, de acuerdo a lo que así mismo ha sido establecido por Brubaker & MacCuen (1990; citado en Fragkakis, Lambropoulos, & Pantouvakis, 2010). Considerando de igual manera la literatura que al respecto existe en la determinación de la apropiada aplicación del modelo de regresión lineal con una variable independiente y son tres supuestos básicos: el modelo debe corresponder a una distribución normal, tener un valor medio de cero, y tener una varianza constante (Gujarati, 1999; citado en Fragkakis, *et al.*, 2010).

El método de estimación de costos presentado en el artículo incluye unos datos de entrada, es decir parámetros básicos identificados durante el estudio preliminar de un puente de concreto. La regresión lineal se aplicó con el fin de estimar los costos de los materiales. El rendimiento del modelo de estimación de material fue evaluado mediante validación durante 10 veces. El error de predicción del modelo se consideró aceptable para la viabilidad estimada. También se implementó un método de arranque en combinación con el análisis de regresión a fin de obtener la estimación de rangos en los cuales os-

cilarían los costos para la superestructura. Esta técnica de estimación probabilística se utilizó con el fin de reducir el nivel de incertidumbre inherente a la estimación (Fragkakis, *et al.*, 2010)

La modelación sugerida en el artículo indicado es consecuente con los requerimientos de cálculo y proyección de costos necesarios en la Fuerza Aérea Colombiana, dado que en éstos, se sustentan las erogaciones efectuadas por la Institución bajo los conceptos de funcionamiento e inversión y aún más en este último, en razón a que como ocurre en el artículo este tipo de costos no cuentan con la suficiente o total información histórica dificultando el desarrollo del ejercicio, es el caso que enfrenta la logística aeronáutica cuando se desea adquirir una flota de aeronaves o tan solo una de ellas, puesto que debe prever la destinación de recursos que soportaran su operación aérea, posterior a la compra; y es por ello, que surgen opciones como atender las propuestas efectuadas por el proveedor en cuanto a material aeronáutico, hecho que no garantiza el consumo total de los bienes adquiridos, generando el incremento en el valor de los almacenes aeronáuticos de la FAC.

Por tanto, atender esta falencia con un método parsimonioso, el análisis de regresión lineal, como lo ha indicado el autor, para este tipo de inferencias, es una oportunidad que se crea para la Institución, que puede continuar apoyándose en las bondades del método una vez más, toda vez que este análisis de regresión lineal viene implementándose como uno de los más atractivos por su efectividad y sencillez en las proyecciones requeridas del Programa Anual de Soporte Logístico Operacional (PASLO).

### **Propuesta de modelo de pronóstico para la flota de A-29 en la Fuerza Aérea Colombiana**

A continuación se describe la metodología para la elaboración del Programa Anual de Soporte Logístico Operacional (PASLO) para la flota de 24 aeronaves tipo EMB-314, Súper Tucano, A-29 la cual permite establecer y cuantificar los requerimientos de materiales aeronáuticos y reparaciones, que garantiza el alistamiento de las aeronaves asignadas logísticamente al Comando Aéreo de Combate No. 2 y al Comando Aéreo de Combate No 3, dando cumplimiento al requerimiento de horas de vuelo solicitadas por la Jefatura de Operaciones Aéreas, para el desarrollo de las operaciones aéreas, buscando así mismo mejorar el desempeño en la gestión de los recursos económicos.

### **Diagnóstico**

La flota A-29 de 25 aeronaves, fue adquirida por la Fuerza Aérea Colombiana a la Empresa Brasileira Aeronáuti-

ca EMBRAER en el año 2007, desde esta fecha se ha contado con un material de repuestos consumibles que se entregaron a la FAC como parte de la negociación de compra, lo cual se constituyó en el stock del equipo A-29. Los mantenimientos de los componentes se encuentran respaldados bajo un contrato que ha sido renovado desde la llegada de los aviones cada cuatro años denominado actualmente PSI (Programa de Soporte Integrado). El equipo A-29 ha mantenido en los últimos cinco años un alistamiento promedio del 75 %, lo cual es aceptable para el cumplimiento de las más de 20.000 horas que se han volado en el desarrollo del conflicto interno que afronta la nación (ver Figura 1), donde se da a conocer el porcentaje de alistamiento en aeronaves A-29 durante los años 2009-2014. No obstante, este alistamiento obtenido, ha sido fruto de los innumerables esfuerzos del área logística aeronáutica, en razón a que el material aeronáutico entregado inicialmente por el proveedor no ha contado con la rotación esperada y por el contrario ha incrementado el valor de los almacenes del CACOM-2, ver Figura 2. donde se ilustra la rotación del material aeronáutico -equipo A-29 2009-2014, también, Figura 3. valor almacenes aeronáutico CACOM-2 2009-2014, y Figura 4. valor almacenes reparables CACOM-2 2009-2014. Asimismo, y considerando los extensos tiempos de entrega que el contrato de PSI presenta para las reparaciones, ha conducido a optar por estrategias como la remoción controlada de partes entre aeronaves, con el fin de mantener el alistamiento mencionado. Situación que tiende a agravarse, es de reconocer que más del 90% de los componentes de la flota no presentan un mantenimiento por tiempo *Time Between Overhaul* (TBO), por el contrario se efectúa según la condición del mismo (*On Condition*). Por las razones expuestas, se hace necesario obtener una metodología lo suficientemente robusta que permita minimizar los efectos generados por estos hechos y contribuya tanto al alistamiento aeronáutico como a la optimización de recursos presupuestales.



Figura 1. Porcentaje de Alistamiento Aeronaves A-29 2009-2014. Fuente: Hoyos Gomez, F. (mayo, 2014). Presentación PASLO CACOM-2 2014. Apiay, Meta, Colombia.

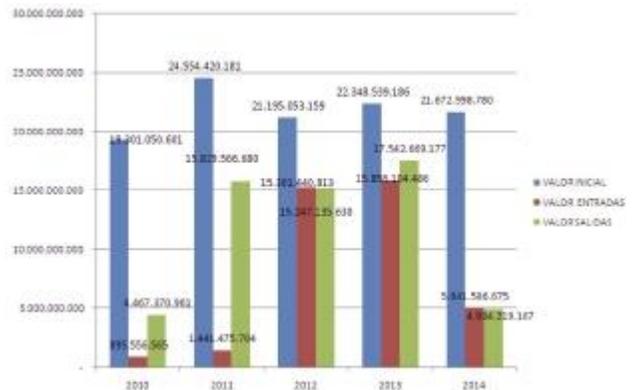


Figura 2. Valor Rotación Material Aeronáutico 2009-2014. Fuente: Hoyos Gomez, F. (mayo, 2014). Presentación PASLO CACOM-2 2014. Apiay, Meta, Colombia.

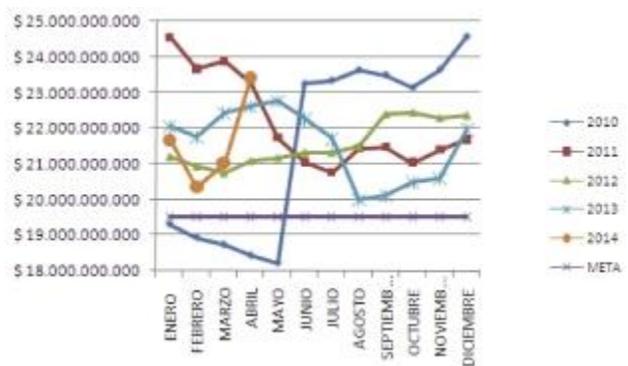


Figura 3. Valor Almacén Aeronáutico 2010-2014. Fuente: Hoyos Gomez, F. (mayo, 2014). Presentación PASLO CACOM-2 2014. Apiay, Meta, Colombia.

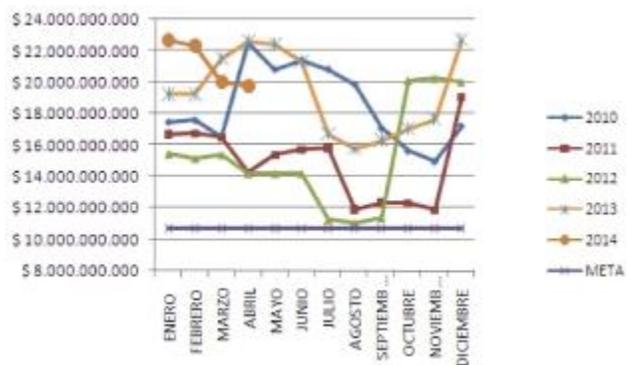


Figura 4. Valor Almacén Reparables 2010-2014. Fuente: Hoyos Gomez, F. (mayo, 2014). Presentación PASLO CACOM-2 2014. Apiay, Meta, Colombia.

### Metodología de la Propuesta del Modelo de Pronóstico para la Flota de A-29 en la Fuerza Aérea Colombiana

La metodología se sustenta en el ciclo Deming iniciando con la planeación, basada en las horas a volar del equipo en la vigencia, ello conduce al establecimiento de un cronograma de mantenimiento que arroja unos requerimientos



tos de materiales y servicios; los cuales se constituyen en el mantenimiento programado. Las inferencias se efectúan principalmente para el mantenimiento imprevisto. Sin embargo, también el material requerido para el mantenimiento programado (listas maestras) puede llegar a reevaluarse con la verificación de los consumos, según datos históricos, y comparándolos con las proyecciones efectuadas. Esta labor es adelantada en el Escuadrón abastecimientos del Grupo Técnico, en el Comando Aéreo de Combate No. 2, por el jefe de la sección pronósticos, quien con su experiencia y profesionalismo ha logrado el desarrollo aquí citado.

Posteriormente, para la búsqueda de datos y minería de los mismos se requiere disponer de los movimientos de almacenes aeronáutico, reparable e inclusive de herramientas, consolidados en la plataforma SAP: entradas y salidas de mínimo cinco vigencias previas al periodo a pronosticar, esto con el fin de asegurar la fiabilidad del tratamiento para la serie de tiempo. La minería de datos se refiere a la organización e identificación de la información, esta fase puede llegar a ser la más dispendiosa y por ello la más extensa, en razón a que de la calidad de la información analizada dependerá la efectividad de la inferencia. En esta etapa, se requiere estandarizar por ejemplo, la asociación de un único código de material en SAP con un único número de parte de la aeronave. La fase que seguidamente debe desarrollarse es el tratamiento estadístico, en el cual a cada uno de los números de parte de la aeronave se les debe realizar la inferencia estadística bajo seis modelos estadísticos, a saber: media, mediana aritmética, promedio móvil doble, suavización exponencial, regresión lineal por horas y por años y *Holt Winters*. Los resultados o inferencias obtenidas con cada uno de estos modelos serán comparados mediante la medición de la magnitud del error, a fin de seleccionar el modelo que más se acerque a los datos originales, es decir cuyo error sea más próximo a cero. De igual forma, se aplica el principio de la *parsimonia*, el cual señala que debe utilizarse el modelo más sencillo que se ajuste de manera adecuada (Hoyos Gomez, 2014).

La magnitud del error se calcula mediante la desviación absoluta media:

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - Y_i)}{N}$$

Donde  $y_i$  corresponde a las observaciones reales de un ítem,  $Y_i$  el pronóstico o inferencia obtenido en cada uno de los modelos, y  $N$  la cantidad de datos totales analizados.

Y finalmente la cantidad a pedir de cada uno de los ítems se establece de la siguiente manera:

$$\text{Cantidad a pedir: } Ft - (A+B+C-D)$$

Donde  $Ft$  corresponde al pronóstico seleccionado como el de menor error residual,  $A$ , es el inventario del almacén correspondiente al ítem evaluado,  $B$  inventario en trámite,  $C$  cantidad esperada a utilizar en la vigencia inmediatamente anterior a la vigencia pronosticada, esto considerándose que generalmente el pronóstico se efectúa durante una vigencia que aún no ha finalizado y  $D$  indica el stock de seguridad, que es la variación no explicada por el modelo. (Hoyos Gomez, 2014)

La metodología previamente descrita puede apreciarse en la Figura 5. Metodología General PASLO.



Figura 5. Metodología General PASLO.

Fuente: PHVA. (2014). (En línea) Disponible en <http://trade2net.com/genlogi/> (2014)

La metodología de pronóstico de materiales para la flota obtiene mayor precisión al generar recolección de datos previos, apoyándose en la confiabilidad aeronáutica, como lo cita (Mobley, 1999) en su descripción de confiabilidad y alcance en el mantenimiento: la ingeniería de confiabilidad y mantenimiento predictivo tienen dos objetivos principales: la prevención de fallas catastróficas de los sistemas de producción críticos de la planta y evitar desviaciones de los niveles de rendimiento aceptables que resultan en lesiones personales, el impacto ambiental, la pérdida de la capacidad, o la mala calidad de los productos. Por desgracia, estos eventos ocurrirán sin importar cuán efectivo es el programa de confiabilidad. Por lo tanto, un programa viable también debe incluir un proceso para entender completamente y corregir las causas fundamentales que conducen a eventos que tienen un impacto en el rendimiento de la planta.

Lo anterior, considerando que la confiabilidad aeronáutica mediante su análisis emite una serie de recomendaciones y entre ellas, un gran porcentaje asociadas a requerimientos de material, para corregir las fallas en un sistema de la aeronave durante un período. Esta vincula-

ción entre la gestión de materiales y la confiabilidad es una herramienta que aún no se ha establecido formalmente. Sin embargo ambas, aisladamente se han fortalecido al interior de la Jefatura de Operaciones Logísticas Aeronáuticas y su interacción permitiría robustecer el pronóstico generado para cada uno de los componentes de la flota.

Los resultados obtenidos por los análisis efectuados en confiabilidad suministran datos, que al ser confrontados con las salidas de cada uno de los almacenes, aeronáutico, reparables y herramientas (que son la materia prima del pronosticador en la FAC), podrían llegar a diferir y es allí en donde radica la pertinencia de considerar la confiabilidad en el estudio de pronósticos. Estos datos que integra confiabilidad no corresponderían exactamente a las salidas de almacén, sencillamente porque contienen todas las necesidades o requerimientos generados por las fallas en el mantenimiento, es decir, inclusive la demanda no atendida de cada uno de los almacenes.

## Conclusiones y recomendaciones

El presente artículo desarrolló la revisión de cinco casos de utilización de pronósticos en series de tiempo en diversos países tales como Argentina, Eslovenia, Italia, Irán y Grecia; ratificándose la aplicabilidad de modelos como el bayesiano, la regresión lineal, la media, y en general, el análisis de la serie de tiempo en sí misma. De igual forma, en uno de los casos se observó la verificación de los pronósticos efectuados por el sistema oceanográfico, mediante el cálculo del error residual a través de la desviación estándar. Estos casos fueron abordados realizándose previamente una verificación de la literatura estadística en general que prepara y ambienta al lector en los contenidos de cada caso.

La observancia de los casos internacionales pone de manifiesto la utilización de modelos estadísticos similares o idénticos a los que se encuentran en implementación en CACOM-2 para efectuar el pronóstico de los materiales y servicios que se constituirán en el soporte logístico aeronáutico específicamente del equipo A-29. Es decir, esto se interpreta como una alta profesionalización de la Fuerza Aérea Colombiana, que ha transformado sus procesos y cálculos del empirismo a la sustentación estadística, con el fin de garantizar un alistamiento aeronáutico y brindar una mejor utilización del presupuesto asignado.

La propuesta metodológica del modelo de pronóstico para la flota A-29 en la Fuerza Aérea Colombiana, señalada es atractiva e innovadora en razón a que se efectúa un pronóstico individual para cada uno de los componentes de la flota y se selecciona parsimoniosamente el mejor. Esta modelación permitirá establecer y cuantificar los requere-

mientos de materiales aeronáuticos y reparaciones, que garantizarán el alistamiento de las aeronaves asignadas logísticamente al Comando Aéreo de Combate No. 2 y al Comando Aéreo de Combate No 3.

Asimismo, permitirá obtener un mejor desempeño en la gestión de los recursos durante los periodos en los que se pretenda aplicar, generando rotación de inventarios, dada por el incremento en el consumo respecto a vigen- cias anteriores, y por ende, visibilidad de inventarios.

Esta metodología imperativamente debe incluir la depuración anual de las listas maestras de cada uno de los equipos verificando la rotación individual de cada ítem, en el caso de detectar elementos que no rotan adecuadamente en la lista, se debe transferir inmediatamente a la lista tipo A. Esta medición se efectúa para un ciclo anual, por tanto, la depuración consolidada del material se obtendrá posterior a mínimo tres periodos de análisis, tiempo en el que podrán observarse los resultados de la implementación de esta metodología.

Como recomendación se propone llevar a cabo la implementación de la metodología en la totalidad de las flotas de la Fuerza Aérea Colombiana, de igual manera en las demás Fuerzas que cuenten con flotas comunes a la FAC, y finalmente extrapolar y socializar el presente diseño a la Jefatura de Apoyo Logístico, quien también requiere efectuar este tipo de inferencias y aún no cuenta con una estandarización de sus requerimientos en todas las Unidades. Asimismo, porque la logística de los servicios también comprende un alto valor de asignación presupuestal y es propicio generar estrategias que conduzcan a la optimización de los recursos.

## Referencias

- Anderson David R, S. D. (2005). *Estadística para Administración y Economía*. México DF: Thomson.
- Bernanke, & Boivin. (2003). Monetary Policy in a Data-rich Environment. *Journal of Monetary Economics*, 525-546.
- Bernanke, B., Boivin, J., & Eliasz, P. (2005). *The Quarterly Journal of Economics*, 387-422.
- Bourgeois, J., & Barnes, J. (1979). Does Advertising Increase Alcohol Consumption? *Journal of Advertising Research*, 19-29.
- Bratina, D., & Faganel, A. (2008). Forecasting the Primary Demand for a Beer Brand Using Time Series Analysis. *Organizacija, Volume 41*, Number 3.



- Brubaker, K., & McCuen, R. (1990). Level of significance selection in engineering analysis. *Journal of Professional Issues in Engineering ASCE Vol. 116 No. 4*, 375-387.
- Chase Richard B., A. N. (2000). *Administración de Producción*. Santa Fe De Bogotá: Mc Graw Hill.
- Dekimpe, M., & Hannsens, D. (1995). The Persistence of Marketing Effects on Sales. *Marketing Science*, 1-21.
- Demirov, E., & Pinardi, N. (2002). Simulation of the Mediterranean Sea circulation from 1979 to 1993: Part I. *The interannual variability*, 33-34, 23-50.
- Dobricic, S. P. (2006). Daily oceanographic analyses by the Mediterranean basin scale assimilation system. *Ocean Sci. Discuss.*, 3, 1977-1998.
- Dominick, S. (2009). *Microeconomía*. Mexico DF: Mc Graw Hill.
- Fragkakis, N., Lambropoulos, S., & Pantouvakis, J. (2010). A cost estimate method for bridge superstructures using regression analysis and bootstrap. Organization, technology and management in construction. *An international journal*, 182-190.
- Franko, G., & Wilcox, G. (1987). Alcoholic Beverage Advertising & Its Impact on Model Selection. *Applied Mathematics & Computation* 34 (November), 22-30.
- Franses, P. (1991). Primary Demand for Beer in The Netherlands: An Application of ARMAX Model Specification. *Journal of Market research* 28, 240-245.
- Gouveia N., & Fletcher T. (2000). Time series analysis of air pollution and mortality: Effects by cause, age and socioeconomic status. *J. Epidemiol. Commun. H.*, 54, 750-755.
- Gujarati, D. (1999). *Essentials of Econometrics*. New York: Irwin Mc Graw Hill.
- Hegazy, T., & Ayed, A. (1998). Neural network model for parametric cost estimation of highway projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 124 No.3, 210-218.
- Herzberg, A., & Frew, L. (2003). Can public policy be influenced? *Environmetrics*, 14, 1-10.
- Hoyos Gomez, F. (mayo, 2014). Presentación PASLO CACOM-2 2014. Apiay, Meta, Colombia.
- Keane, M. (1997). Modeling Heterogeneity & State Dependence in Consumer Choice Behaviour. *Journal of Business & Economic Statistics*, 310-327.
- Klemm, O., & Lange, H. (1999). Trends of air pollution in the Fichtelgebirge Mountains, Bavaria. *Environ Sci. & Pollut*, 193-199.
- Konstantinidis, D., & Maravas, A. (2003). Egnatia Motorway concrete bridges statistics. *ASECAP Study and Information Days proceedings of the international conference in Portoroz Slovenia*, 92-109.
- Kyriakidis, J. (2001). Stochastic modeling of atmospheric pollution: a spatial time series framework. Part II: application to monitoring monthly sulfate deposition over Europe. *Atmos Environ* 35, 2339-2348.
- Lanteri, L. (2010). *Economía Vol XXXIII*, No. 66.
- Lee, C. K. (2002). Multifractal characteristics in air pollutant concentration time series. *Water Air Soil Poll.* 135, 389-409.
- Leeflang, & Van Duijn, J. (1982). The Use of Regional Data in Marketing Models: The Demand for Beer in The Netherlands. *European Research* 10, (January): 29-40.
- Litterman, R. (1985). *Forecasting with Bayesian Vector Autoregressions-five Years of Experience*. Minneapolis: Federal Reserve Bank of Minneapolis.
- Lucas, R. (1976). *Econometric Policy Evaluation: a critique*. New York: En Brunner K., & A. Meltzer.
- Lucas, Y. S. (1979). *After Keynesian Macroeconomics*. Minneapolis: Federal Reserve Bank of Minneapolis.
- McKee, D. (1993). Health effects associated with ozone and nitrogen dioxide exposure. *Water Air Soil Poll.* 11, 3-5.
- Mobley, K. (1999). *Root Cause and failure analysis*. United States of America: Butterworth-Heinemann.
- Modarres, R., & Khosravi Dehkordi, A. (2005). Daily air pollution time series analysis of Isfahan City. *Int. J. Environ. Sci Tech*, 259-267.
- Murphy, A. (1988). Skill score based on the mean square error and their relation to the correlation coefficient. *Monthly weather review*, 2417-2424.
- Murphy, A. (1993). What is a good forecast? *Weather forecasting*, 281-293.
- Pinardi, N. A. (2003). The Mediterranean ocean Forecasting System: First Phase of implementation (1998-2000). *Geophysicae*, vol 21, 189-204.
- Prescott, E. (1977). *Should Control Theory be used for Economic Stabilization*. New York: Brunner, K y A Meltzer.
- Roberts, S. (2003). Combining data from multiple monitors in air pollution mortality time series studies. *Atmos. Environ.*, 37, 3317-3322.
- Salcedo, R., Alvim Ferraz, M., Alves, C., & Martins. (1999). Time series analysis of air pollution data. *Atmos. Environ.*, 33, 2361-2372.
- Schwartz, J., & Marcus, A. (1990). Mortality and air pollution in London: a time series analysis. *Am. J. Epidem.*, 131, 85-194.
- Seetharaman, P. (1999). Investigating Household State Dependence Effects across categories. *Journal Of Market Research*, 488-500.
- Sims, C. (1992). Interpreting the Macroeconomic Time Series Facts: the effects of monetary policy. *European Economic Review*, 975-1000.

- Skamris, M., & Flyvbjerg, B. (1997). Inaccuracy of traffic forecasts and cost estimates on large transport projects. *Transport Policy*, Vol 4 No. 3, 141-146.
- Theil, H. (1971). *Principles of Econometrics*. Nueva York: J. Wiley.
- Tonani, M. (2007). A high resolution free surface model on the Mediterranean Sea. *Ocean Sci. Discuss.*
- Tonani, M., Pinardi, N., Fratianni, C., & Dobricic, S. (2007). Forecast and analysis assessment through skill scores. *Oceans Science Discussions*, 189-212.
- Touloumi G., A. R. (2004). Analysis of health outcome time series data in epidemiological studies. *Environmetrics*, 101-117.
- Voigt, K., & Bruggemann, R. (2004). Data analysis of environmental air pollutant monitoring systems in Europe. *Environmetrics*, 15, 577-596.

