

Un Modelo Estructural de Series de Tiempo para la Predicción de la Demanda de Atención Médica en el Sistema Municipal de Salud

Parra, Richard; Ramírez, John
Instituto de Ciencias Matemáticas
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
rparra@espol.edu.ec; jramirez@espol.edu.ec

Resumen

El objetivo del presente trabajo es el de buscar un modelo estructural de series de tiempo para la predicción de la demanda de pacientes que pueden asistir a un centro de salud ubicado en la ciudad de Guayaquil, utilizando el filtro de Kalman. La tesis está conformada por cuatro capítulos. En el primer capítulo se describe en breves rasgos el tipo de atención médica que debe de tener un paciente, y la importancia de ser atendido a tiempo. En el capítulo dos se describen los antecedentes e importancia de tener una buena atención en el centro de salud, dado las dificultades que existen para tener un cupo y ser atendido, además se describen las metodologías a utilizarse por medio de estadísticos de pruebas para determinar un modelo adecuado. En el tercer capítulo se determinara el modelo adecuado, mediante pruebas estadísticas y análisis de predicción, para medir la demanda de pacientes que asisten al centro de salud en el área de consulta general y odontología, para lo cual se usara el software ox metric versión 4.10 y Excel. En el capítulo cuatro se describen los resultados del proyecto mediante las conclusiones obtenidas.

Palabras Claves: *Demanda de pacientes, centros de salud, mejorar atención médica.*

Abstract

The objective this work consists in seeking a structural model of time series for forecasting demand for patients who are unable to attend a health center in the city of Guayaquil, using the Kalman filter. The thesis consists of four chapters. The first chapter describes in brief features the kind of medical care that should have a patient, and the importance of time served. Chapter two describes the background and the importance of having good care at the health center, given the difficulties that exist to have a quota and be cared for, also describes the methodologies used by statistical tests to determine an appropriate model. In the third chapter identify the appropriate model, using statistical tests and prediction analysis, to measure the demand for patients attending the health centre in the area of general consultation and dentistry, which used the ox metric software version 4.10 and Excel. Chapter four describes the results of the project through the obtained conclusions.

Keywords: *Demand for patients, health centers, improves medical care.*

1. Antecedentes de la Salud.

En algunas ciudades del País, los Centros Médicos, efectúan campañas de emergencia, brindando atención primaria a las personas más vulnerable, personas de escasos recursos, brindando atención médica y medicina gratuita.

1.1. Política de la Salud.

Una política de Salud resulta del esfuerzo organizado y disciplinario de un conjunto de personas que, con experiencia y conocimiento le han dado buenos resultados el programa de ATENCIÓN PRIMARIA.

1.2. Salud Basada en la Atención Primaria.

Como atención primaria a los pacientes podemos encontrar algunos departamentos de suma importancia como el departamento médico, departamento de atención Gineco-Obstétrica, médicos especializados, Pediatría, Cardiología, Quirúrgica; laboratorio de patología; odontología y medicina veterinaria.

2. Descripción del Problema y Marco Teórico.

2.1. Antecedentes del Problema.

Numerosos pacientes podrían estar siendo atendidos en estos momentos en cualquier centro médico, haciendo innumerables filas, sin saber si serán atendidos o ingresados a consulta o no.

Como resultado de estas algunos pacientes no son atendidos, ya que en todo centro médico o dispensario de salud existe un horario de atención y no logran abastecerse para la cantidad de personas o pacientes que llegan a este lugar.

2.2. Descripción del Problema.

En los centros de salud y dispensarios médicos, tienen un sistema informático para el manejo de historias clínicas e ingresos de atención a pacientes pero no manejan el número de pacientes que van día a día. Por esta razón; surge la idea de implementar un sistema que ayude a saber cuántos pacientes pueden ser atendidos en un día, mes o año y así de esta manera se logrará dar mejores resultados y satisfacer la demanda de pacientes en el Centro Municipal de Salud.

2.3. Objetivo General y Descripción de los Datos en Estudio.

El objetivo general de este estudio es realizar un modelo estructural basado en series de tiempo que ayuden a predecir la demanda de atención médica en el sistema Municipal de Salud.

2.4. Determinación y Descripción de los Métodos de Solución.

2.4.1. Levantamiento de Información.

Para realizar el levantamiento de la información se realizaron varias visitas a la Dirección de Salud e Higiene con la finalidad de obtener los datos específicos de los meses y años en particular como objeto de nuestro estudio.

Además se recopilaron datos del año 2010, como objeto de comparación; para determinar el modelo que mejor se ajuste a los datos reales.

2.5. Marco Teórico.

En el presente apartado se dará a conocer las diferentes técnicas estadísticas a utilizarse en el estudio, definiciones y descripciones que ayudarán a la obtención de los resultados y la realización del análisis en los capítulos posteriores.

3. Aplicación Estadística.

3.1. Introducción.

A continuación se detalla una estimación de los componentes no observables de la serie de tiempo correspondiente a la medición de la variación del número de personas en ser atendidos, en Consulta General y Odontología.

Estas series serán designadas con sus variables respectivas siendo estas **Y**, **X**. Se utilizará el enfoque de los modelos estructurales, descomponiendo dicha serie en elementos tales como tendencia, estacionalidad, ciclo y componente irregular, elementos que permitirán hacer un análisis de la situación actual de la cantidad de pacientes atendidos mes a mes. Los resultados obtenidos pueden ser utilizados por los diferentes Hospitales del Día. Además; se podrá determinar la cantidad de pacientes que se acercan a atender mes a mes en los siguientes años para poder brindar una mejor atención contratando o disminuyendo el personal de acuerdo a la demanda de pacientes que asisten a estos Hospitales.

3.2. Variable Consulta General.

La serie original, objeto del análisis es la correspondiente a la variable “Y” que son las personas que se atienden en Consulta General. El período de muestra abarca desde enero de 2007 hasta diciembre de 2009, tal como se observa en la figura 1.

Tabla 1. Estadística Descriptiva

Mínimo	1226 Dic-07
Máximo	2729 Mar-07
Mediana	1897,5
Media	1917,36111

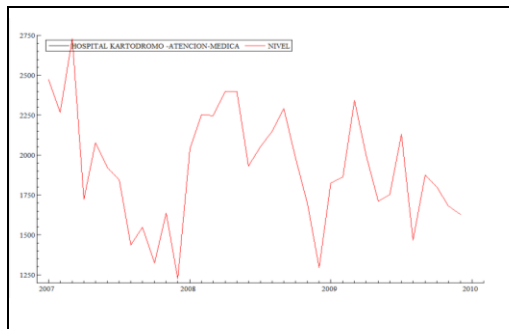


Figura 1. Serie de los Datos de consulta General.

3.2.1. Primera Etapa.

Modelo 4

En este modelo utilizaremos todos los componentes para su análisis: **nivel, pendiente, tendencia, estacionalidad, ciclo y componente irregular:**

$$y_t = \mu_t + \beta_t + \gamma_t + \Psi_t + \varepsilon_t$$

Donde

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \Psi_{t-1} + \beta_{t-1} + \eta_t$$

$$\beta_t = \beta_{t-1} + \zeta_t$$

para $t=1, \dots, n$

Las estimaciones para el modelo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2. Datos del Modelo.

UC(4) MODELIZANDO HOSPITAL KARTODROMO -ATENCION-MEDICA POR MAXIMA VEROSIMILITUD.

The selection sample is: 2007(1) - 2009(12)
The model is: $Y = \text{Trend} + \text{Seasonal} + \text{Cycle} + \text{Irregular}$
Log-Likelihood is -146.48 (-2 LogL = 292.959).
Prediction error variance is 25895.6

Summary statistics

std.error	160.92
Normality	1.4895
H(7)	0.35868 (0.9002)
r(1)	-0.073880
r(2)	-0.20983
DW	2.0662
Q(2,-2)	1.3482 (0.5096)

Variances of disturbances.

Component	Value	(q-ratio)
Level	0.00000	(0.0000)
Slope	0.00000	(0.0000)
Seasonal	0.00000	(0.0000)
Cycle	0.061282	(0.0000)
Irregular	39655	(1.0000)

Parameters in Cycle

Variance	30641.
Period	19.398
Period in years	1.6165
Frequency	0.32392
Damping factor	1.0000
State vector analysis at period 2009(12)	
level is 1939.48 with stand.err 71.7177.	
slope is 0.243858 with stand.err 3.62717.	

Tal como se observa en la tabla 2, el valor del estadístico de Bowman-Shenton con un valor de (0.97728) y con 95 % de confianza, indica que los datos son normales mientras que el estadístico H(7) sigue manteniéndose bajo con (0.41963) y un valor $p=0.8627$, por lo que se prueba que no existe heteroscedasticidad en los residuos es decir la varianza no se incrementa se mantiene constante.

También tenemos el estadístico de Ljung-Box con un valor de 0.3487 asociado a $p=0.5548$ dado que este cae en la región de aceptación se acepta la hipótesis nula de no correlación en los residuos.

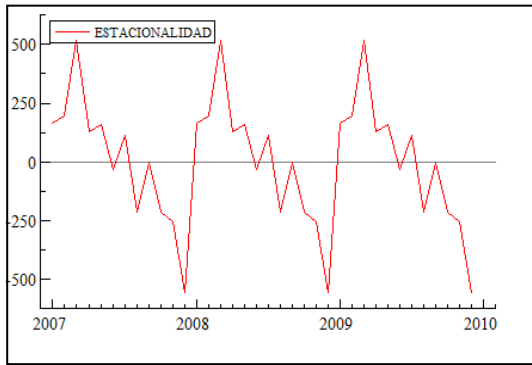


Figura 2. Estacionalidad de los datos.

Tabla 3. Estacionalidad de los datos

COEFICIENTE DEL COMPONENTE ESTACIONAL CON UNA DISTRIBUCION CHI CUADRADO CON 11GL Y SU ESTADISTICO DE 59.6174		
period	value	stand.err
Enero	166.811880	111.760203
Febrero	193.451219	111.172414
Marzo	517.066466	110.736900
Abril	129.090873	110.434274
Mayo	159.088479	110.245396
Junio	-31.131207	110.155121
Julio	112.242604	110.155121
Agosto	-215.590332	110.245396
Septiembre	-2.694070	110.434274
Octubre	-213.424480	110.736900
Noviembre	-257.496242	111.172414
Diciembre	-557.415190	111.760203
- amplitude of Cycle 1 is 238.255		

Obsérvese en la tabla 3 y la figura 2 del componente estacional del modelo 4 el cual muestra algo similar que el componente estacional en el modelo 3 donde tenemos como el número de pacientes asiste al Hospital del Día en una forma constante cada año, de donde se muestra un crecimiento desde el mes Enero, llegando a su máximo valor en el mes de Marzo, mientras que desde ese mes comienza a decrecer paulatinamente con unos pequeños repuntes en los meses de Mayo y Julio hasta llegar a su valor más bajo en el mes de Diciembre.

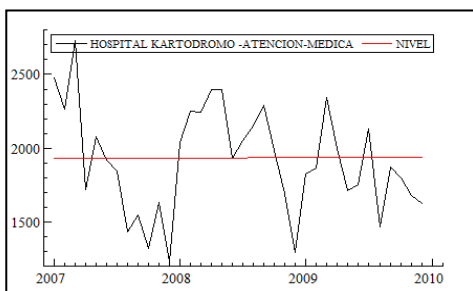


Figura 3. Nivel de los datos

Se observa en la figura 3 que con una desviación estándar de 71.7177 aproximándose al valor inicial calculado en la media de la tabla 1 que es 1917.3611 indica que éste es un buen modelo. También tenemos una pendiente igual a 0.243858 con una desviación estándar 3.62717.

En la figura 4 se observan los ciclos del modelo 4 donde en el mes de enero de 2007 existe una alta demanda de pacientes para “consulta general” disminuyendo gradualmente hasta llegar a un número mínimo de pacientes en ser atendidos en el mes de Octubre donde comienza a aumentar el número de pacientes hasta obtener nuevamente un valor máximo en los meses de Abril y Mayo de 2008. Así el componente cíclico indica una fase de oscilaciones constante el cual varía de acuerdo a la época estacional con respecto al cambio de clima.

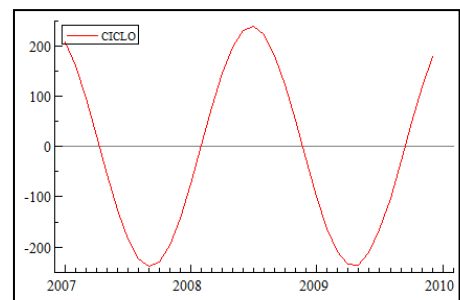


Figura 4. Ciclos del Modelo

3.2.2. Tercera Etapa

Análisis de Predicción del Modelo 4

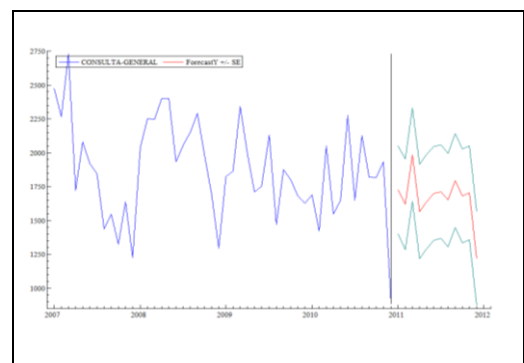


Figura 5. Predicción de los datos

Observando la figura 5 notamos que las predicciones del modelo, con proyecciones del 2011 se ajustan a los datos reales del mismo año manteniendo la tendencia de los datos de años anteriores

Por medio del análisis realizado en este estudio, se determina que el modelo adecuado para realizar predicciones en el Hospital del día para "Atención en consulta General" es el modelo 4, el cual muestra una mejor aproximación a los datos reales, además de tener un valor PEV adecuado dado que el modelo 4 tiene mejor bondad de ajuste siendo este el menor valor entre los 4 modelos.

$$y_t = \mu_t + \beta_t + \gamma_t + \Psi_t + \varepsilon_t$$

Donde

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \Psi_{t-1} + \beta_{t-1} + \eta_t$$

$$\beta_t = \beta_{t-1} + \zeta_t$$

para $t=1, \dots, n$

Las estimaciones para el modelo se muestran en la siguiente tabla.

3.3. Variable Odontología

La serie original, objeto del análisis es la correspondiente a la variable "X", personas que se atienden en el área Odontología del Hospital Municipal. El período muestral abarca desde enero de 2007 hasta diciembre de 2009, tal como se muestra en la figura 6.

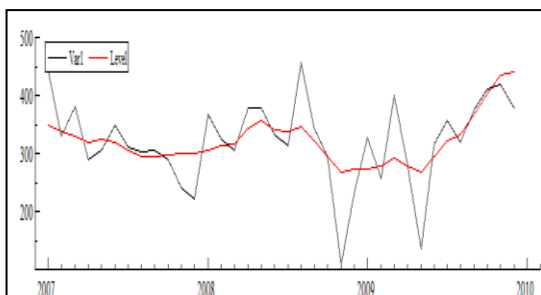


Figura 6. Serie de los datos de Odontología.

Tabla 4. Estadística Descriptiva.

Mínimo	109
	Nov-08
Máximo	458
	Ago-08
Mediana	322.5
Media	321.83

Notemos en la tabla 4, la cantidad de pacientes que se atienden en el mes de noviembre 109 y agosto 458 dando una media de 321,83.

3.3.1. Primera Etapa

Modelo 3

En este modelo utilizaremos todos los componentes para su análisis: **nivel, pendiente, tendencia, estacionalidad, ciclo y componente irregular:**

Tabla 5. Datos del Modelo.

UC(4) MODELIZANDO HOSPITAL	
KARTODROMO	
ODONTOLOGIA POR MAXIMA	
VEROSIMILITUD.	
The selection sample is: 2007(1) - 2009(12)	
The model is: Y = Trend + Seasonal + Irregular + Cycle 1	
Log-Likelihood is -119.271 (-2 LogL = 238.541).	
Prediction error variance is 3349.79	
Summary statistics	
std.error	57.877
Normality	1.0476
H(7)	1.8391 (0.22001)
r(1)	0.029683
r(2)	-0.28178
DW	1.8351
Q(2,-2)	2.1970 (0.3333)
Variances of disturbances.	
Component	Value (q-ratio)
Level	2.2821 (0.0006)
Slope	6.1103 (0.0017)
Seasonal	0.00000 (0.0000)
Cycle	22.903 (0.0064)
Irregular	3555 (1.0000)
Parameters in Cycle	
Variance	1293.7
Period	19.189
Period in years	1.5991
Frequency	0.32743
Damping factor	0.99111
State vector analysis at period 2009(12)	
- level is 382.402 with stand.err 36.7004.	
- slope is 8.75828 with stand.err 7.10283.	

Tal como se observa en la tabla 5, el valor del estadístico de Bowman-Shenton el cual con un valor de (1.0476) con 95 % de confianza indica que los residuos son normales mientras que el estadístico H(7) es igual a 1.8391 con un valor $p=0.22001$, por lo que se prueba que existe homoscedasticidad en los residuos es decir la varianza no se incrementa, se mantiene constante.

También tenemos el estadístico de Ljung-Box con un valor de 2.197 asociado a $p=0.3333$

dado que este cae en la región de aceptación se acepta la hipótesis nula de no correlación en los residuos.

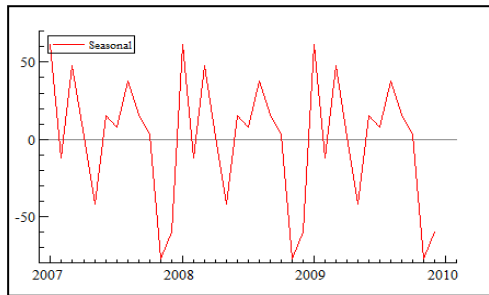


Figura 7. Estacionalidad del modelo.

Obsérvese en la figura 7. El componente estacional del modelo 3 muestra algo similar que el componente estacional en el modelo 2 así tenemos como el número de pacientes del área de Odontología del Hospital del Día asiste en forma constante cada año, además podemos notar como en los meses de febrero, mayo, noviembre y diciembre baja el número de pacientes en ser atendidos, para luego en los meses de enero, marzo y agosto aumentar el número de pacientes.

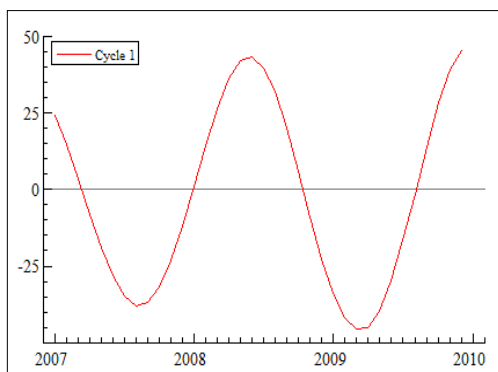


Figura 8. Ciclos del modelo.

En la figura 8 se observan los ciclos del modelo 3 donde en el mes de enero de 2007 existe una alta demanda de pacientes para el área de “Odontología” disminuyendo gradualmente hasta llegar a un número mínimo de pacientes en ser atendidos en el mes de Mayo y Noviembre donde comienza a aumentar el número de pacientes hasta obtener nuevamente un valor máximo en los meses de Enero y Marzo de 2008. Así el componente cíclico indica una fase de oscilaciones constante cada año.

3.3.2. Tercera Etapa

Análisis de Predicción del Modelo 3

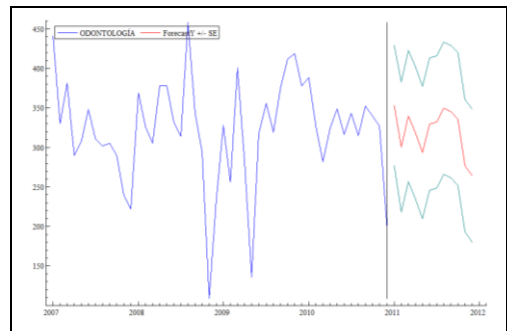


Figura 9. Predicción de los Datos.

Observando la figura 9 del modelo 3 notamos que las predicciones del modelo, con proyecciones del 2011 se ajustan en su totalidad a los datos reales dado que se mantiene la tendencia de los datos de años anteriores.

Según los análisis realizados en las predicciones de los modelos 1, 2 y 3 se ha logrado establecer que el modelo adecuado para realizar predicciones en el Hospital Municipal para atención en el área de Odontología es el del modelo 3 el cual muestra una mejor aproximación a los datos reales, además el PEV del modelo es bajo en comparación a los otras predicciones.

4. Conclusiones y Recomendaciones

En el presente capítulo se dará a conocer las conclusiones del estudio de las variables (consulta general y odontología) que se usaron para poder determinar el modelo estructural que mejor se ajustó para predecir la demanda de atención médica en el sistema municipal de salud.

4.1. Variable de Consulta General.

Para determinar el modelo adecuado se analizaron los siguientes parámetros; estadísticos de Bowman - Shenton con un valor de (0.97728) y con 5 % de significancia, el cual indica que los datos son normales mientras que el estadístico $H(7)$ tiene un valor bajo con (0.41963) y un valor $p = 0.8627$, por lo que se prueba que no existe heteroscedasticidad en los

residuos es decir la varianza no se incrementa se mantiene constante.

También tenemos el estadístico de Llung-Box con un valor de 0.3487 asociado a $p=0.5548$ dado que este cae en la región de aceptación con un nivel de confianza del 95% se acepta la hipótesis nula de no correlación en los residuos.

En el mes de enero de 2007 existe una alta demanda de pacientes para “consulta general” disminuyendo gradualmente hasta llegar a un número mínimo de pacientes en ser atendidos en el mes de Octubre donde comienza a aumentar el número de pacientes hasta obtener nuevamente un valor máximo en los meses de Abril y Mayo de 2008. Así el componente cíclico indica una fase de oscilaciones constante el cual varía de acuerdo a la época estacional con respecto al cambio de clima en la ciudad de Guayaquil.

Nótese que las predicciones del modelo, con proyecciones del 2011 se ajustan a los datos de años anteriores manteniendo la tendencia.

Dado al análisis realizado se determina que el modelo adecuado para realizar predicciones en el Hospital del día para atención en consulta General es este modelo, el cual muestra una mejor aproximación a los datos reales, además de tener un valor PEV adecuado dado que el modelo 4 tiene mejor bondad de ajuste siendo este, el menor valor entre los 4 modelos.

4.2. Variable de Odontología

Para determinar que este modelo es el adecuado se analizan los valores de los estadísticos de Bowman-Shenton el cual muestra un valor de (1.0476) con 95 % de confianza indicando que los residuos son normales, mientras que el estadístico $H(7)$ es igual a 1.8391 con un valor $p=0.22001$, por lo que se prueba que existe homoscedasticidad en los residuos es decir la varianza no se incrementa, se mantiene constante.

También tenemos el estadístico de Llung-Box con un valor de 2.197 asociado a $p=0.3333$ dado que este cae en la región de aceptación se acepta la hipótesis nula de no correlación en los residuos.

En el mes de enero de 2007 existe una alta demanda de pacientes para el área de “Odontología” disminuyendo gradualmente hasta llegar a un número mínimo de pacientes en ser atendidos en el mes de Mayo y Noviembre para lo cual desde este mes empieza a aumentar el número de pacientes hasta obtener nuevamente un valor máximo en los meses de Enero y Marzo de 2008. Así el componente cíclico indica una fase de oscilaciones constante cada año.

Las predicciones del modelo, con proyecciones del año 2011 se ajustan en su totalidad a los datos de los años anteriores manteniendo la tendencia en sus datos.

Según los análisis realizados en las predicciones de los modelos 1, 2 y 3 se ha logrado establecer que el modelo adecuado para realizar predicciones en el Hospital Municipal para atención en el área de Odontología es el del modelo 3 el cual muestra una mejor aproximación a los datos reales, además el PEV del modelo es bajo en comparación a los otras predicciones.

4.3. Recomendaciones

Para poder llevar a cabo un estudio adecuado en el que se pueda predecir la demanda de pacientes que se hacen atender en un centro de Salud; se recomienda los siguientes puntos:

- Determinar la Variable a estudiar con datos cuantitativos (numéricos).
- Tomar datos de por lo menos 4 años consecutivos, mensuales para un mejor análisis.
- De los 4 años que se toman, realizar el estudio con los 3 primeros años, para determinar un modelo de series temporales, el cual se ajustara a los datos reales del 4to año. El modelo que mejor

se aproxime a los datos reales se lo tomara para predecir datos futuros.

- Actualizar el modelo de predicción cada año, dado que los datos evolucionan en el tiempo y este puede variar dependiendo de la demanda de pacientes que se hacen atender en años posteriores al actual.
- Finalmente, determinar el modelo adecuado, considerando todas las pruebas estadísticas que se dan en el análisis.

5. Agradecimiento

Primeramente agradezco a Dios por haberme dado la fortaleza suficiente de estar con vida, y por permitirme alcanzar mi meta propuesta con salud.

A mi madre y padre quienes me apoyaron desde el principio con mi preparación académica dándome buenos consejos cada día.

A mi esposa e hijas que me han dado fuerza para seguir adelante en mis estudios.

Al Matemático John Ramírez, director de mi tesis de grado, por haberme dado la oportunidad de realizarla, con su ayuda y guía durante la elaboración de la misma.

6. Bibliografías y Referencias

- [1]. Dirección de Salud e Higiene Municipal - Revista Más Salud 2000 -2006.
- [2]. Hamilton, J. D. Time series Analysis. Princeton, New Jersey: Princeton University Press. 1994.
- [3]. Harvey A. Forecasting, structural time series models and the Kalman filter. Cambridge University Press. Reino Unido. 2003.
Harvey A. y Shephard N. Structural Time Series Models. Handbook of Statistics, Vol. 11. Pág. 261-302. 1993.
- [4]. Harvey A. y Koopman S. J. "Diagnostic Checking of Unobserved-Components Time Series Models," Journal of Business & Economic Statistics, American Statistical Association, vol. 10(4), pages 377-89, October 1992.
- [5]. Koopman S.J. y J. Time series analysis by state space models. Oxford University Press. Reino Unido. 2001.
- [6]. Martín, G. "Modelos estructurales en el contexto de las series temporales económicas"
www.fceye.ull.es/invest/docum/ull-ulpgc/2002-04.pdf - (Documento de trabajo 2002 – 2004).
- [7]. Mendenhall, W., Scheaffe, R., Wackerly, Dennis. "Estadística Matemática con Aplicaciones", Grupo Editorial Iberoamérica, México D.F., México.
- [8]. Ramírez, J. Análisis Estructural del IPC mediante el Filtro de Kalman, Revista Ecuatoriana de Estadística del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos No 2 de Junio de 2010 Pág. 5-22.
- [9]. Tovar J. Structural Time Series Models and the Kalman Filter: a concise review. Faculty of Economics and Politics, University of Cambridge. Reino Unido. 2009.