



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas**

Estudio de la relación entre las variaciones climáticas y las principales enfermedades que afectan a la población urbana de Guayaquil, desde una perspectiva multivariante espacio-temporal

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ESTADÍSTICA**

Presentado por:

Jomelly Brigitte Cayetano Aguirre

María Teresa Mendoza Marcillo

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2021

## DEDICATORIA

A mi familia y amigos que siempre estuvieron ahí para apoyarme en todo el camino estudiantil y en la vida mismo.

*Jomelly Cayetano Aguirre*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia que siempre me dio su apoyo tanto emocional como económico para poder lograr mis objetivos.

A mis amigos porque siempre estuvieron ahí, poniendo el hombro para darme fuerzas de levantarme.

A mis compañeros que estuvieron ahí a lo largo de la carrera, demostrando que podemos llegar hasta el final con un poco de esfuerzo.

A la ESPOL que juntos a mis profesores me abrieron las puertas para mi formación académica.

*Jomelly Cayetano Aguirre.*

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Yo, Jomelly Brigitte Cayetano Aguirre doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

*Jomelly Cayetano.*

---

Jomelly Brigitte Cayetano Aguirre

## DEDICATORIA

A mi Madre y hermanas/os que me dieron apoyo en cada momento y a la pequeña niña que un día soñó ser Ingeniera.

*Maria Teresa Mendoza*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, que me ha acompañado en cada momento de mi vida y bendecido mi camino fuera de casa.

A mi madre, Judith Marcillo por siempre estar pendiente de mi con su apoyo incondicional a pesar de estar lejos de casa.

A mis hermanos Diana, Ana, Fabian, Juan José, por enseñarme que todo lo que nos proponemos lo podemos cumplir.

A mis tías, Mimi y Lali por apoyarme constantemente.

A mis compañeros Jomelly, William, Miguel, por demostrarme su amistad y compañerismo a lo largo de la carrera.

A la ESPOL, a mis profesores quienes aportaron en mi formación universitaria.

*María Teresa Mendoza.*

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Yo, María Teresa Mendoza Marcillo doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



---

María Teresa Mendoza Marcillo

## EVALUADORES

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'S' followed by a cursive name.

**Ph.D. Sandra García Bustos**  
PROFESOR DE LA MATERIA

A handwritten signature in blue ink, featuring a large, stylized initial 'M' followed by a cursive name.

**Ph.D. Mariela González Narváez**  
PROFESOR TUTOR





# RESUMEN

El cambio climático afecta a la salud de las personas, por este motivo es bien sabido que se espera que los efectos de este fenómeno se intensifiquen en un futuro. Por esta razón es necesario poder estar preparados anticipadamente para dichas condiciones climáticas que generan un ambiente ideal para el aumento en la frecuencia de enfermedades que afectan a las personas, en este caso a Guayaquil urbano. Este proyecto presenta la metodología que, mediante técnicas multivariantes como XTATIS y COSTATIS permiten identificar correlaciones entre las enfermedades y las variables climáticas en una perspectiva espacio-temporal, con el fin de predecir los picos de contagio de las enfermedades que se relacionan con el clima y que por lo tanto presentan mayor impacto en la salud de los habitantes.

# **ABSTRACT**

Climate change affects people's health, for this reason it is very intelligent that the effects of this phenomenon are expected to intensify in the future. For this reason it is necessary to be able to be prepared in advance for these climatic conditions that generate an ideal environment for the increase in the frequency of diseases that evolve in people, in this case in urban Guayaquil. This project presents the methodology that, through multivariate techniques such as XTATIS and COSTATIS, allows identifying correlations between diseases and climatic variables in a space-time perspective, in order to predict contagion peaks of diseases related to climate and which therefore has a greater impact on the health of the inhabitants.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÍNDICE GENERAL .....	iii
ABREVIATURAS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
CAPITULO 1 .....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo general: .....	3
1.2.2. Objetivos Específicos: .....	3
1.3. Marco Teórico .....	4
1.3.1. Cambio climático .....	4
1.3.2. Cambio climático y brotes de enfermedades .....	4
1.3.3. Cambio climático y urbanización .....	5
1.3.4. Egresos hospitalarios .....	6
1.3.4.1. Ingreso del paciente al hospital .....	6
1.3.4.2. Egreso hospitalario.....	6
1.3.5. Variables referentes al Clima.....	6
1.3.6. Revisión bibliográfica.....	7
CAPITULO 2 .....	9
2. METODOLOGÍA.....	9
2.1. Tratamiento de datos .....	9
2.2. Análisis de Frecuencia .....	10
2.3. Estudio de Correlación.....	11
2.4. Tres Vías .....	11
2.4.1. Análisis de la evolución en el tiempo de las enfermedades. ....	11
2.4.2. Análisis de la evolución en el tiempo de la relación salud-clima. ....	12

2.4.3. Proyección modelo VAR.....	13
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	14
3.1. Frecuencia de las enfermedades.....	14
3.1.1. Enfermedades por año de egreso.....	14
3.1.2. Enfermedades por mes de egreso.....	15
3.1.3. Enfermedades por parroquia.....	16
3.2. Análisis de tres vías - Método XSTATIS para las enfermedades por parroquia	17
3.3. Relación clima – enfermedades.....	19
3.3.1. Análisis de correlación.....	19
3.3.2. Análisis de tres vías - Método COSTATIS.....	20
3.4. Proyección de futuros casos de contagio.....	23
3.4.1. Evaluación del modelo general.....	23
3.4.2. Evaluación de autocorrelación de los residuos.....	24
3.4.3. Evaluación de la normalidad en los residuales.....	25
3.4.4. Gráficos de las proyecciones estadísticas.....	25
CAPITULO 4.....	27
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	27
4.1. Conclusiones.....	27
4.2. Recomendaciones.....	28
BIBLIOGRAFÍA.....	29

# ABREVIATURAS

OMS	Organización Mundial de la Salud
ONG	Organización No Gubernamental
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cubo de datos parroquias – enfermedades.....	12
Figura 2. Cubo de datos meses-variables clima y meses-enfermedades. ....	13
Figura 3. Mapa de Guayaquil por parroquias urbanas afectadas por enfermedades.....	17
Figura 4. Gráfico de Inter-estructura.....	18
Figura 5. Gráfico del compromiso.....	19
Figura 6. Gráfico de correlación entre variables. ....	20
Figura 7. Gráfico de Co-Inercia entre el clima y las enfermedades.....	21
Figura 8. Gráfico de Co-Inercia entre meses. ....	22
Figura 9. Correlación entre residuos. ....	24
Figura 10. Gráfico de predicción de Neumonía. ....	26
Figura 11. Gráfico de predicción Dengue. ....	26

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficiente de correlación .....	11
Tabla 2. Total de egresos hospitalarios para cada año por enfermedad. ....	14
Tabla 3. Total de egresos hospitalarios por mes en el periodo 2010-2020 para cada enfermedad.....	15
Tabla 4. Total por parroquias en el periodo 2013-2020 para cada enfermedad.....	16
Tabla 5. Resultado Monte – Carlo Test .....	23
Tabla 6. Longitud del rezago para estimar el modelo VAR .....	23
Tabla 7. Resultado de las variables a predecir. ....	24
Tabla 8. Resultado de Pruebas de Autocorrelación.....	25
Tabla 9. Evaluación de Normalidad en los residuos. ....	25



# CAPITULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el cambio climático afecta a la salud de las personas. Además, se espera que los efectos de este fenómeno se intensifiquen. Es por esto que la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda fortalecer la salud pública. Dado que esta entidad es responsable de preparar nuevas estrategias de adaptación al cambio climático.

Según Lema (2002), la salud de las personas no solo se ve afectada directamente por efectos del cambio climático como las olas de calor o los cambios drásticos de temperatura. Además de estas problemáticas, se debe considerar a las sequías o inundaciones. Esto debido a que, generan condiciones en las que los virus, parásitos, bacterias y enfermedades infecciosas se transmiten de manera más sencilla.

Otro factor que afecta al cambio climático es la urbanización. Se trata de un tema de debate reciente en comparación con otras alertas históricas sobre riesgos climáticos en las zonas urbanas (Duque Franco & Montoya Garay, 2021). En América Latina “casi el 80% de su población habita en ciudades.” (Torres, 2019, pág 1). Al respecto, la principal preocupación es el rápido crecimiento urbano, dado que, la mayor parte de gases de efecto invernadero se producen en las ciudades (Torres, 2019)

Guayaquil es una de las ciudades más grandes del Ecuador. Sus habitantes del área urbana y urbana-marginal representan el 22,5% de la población nacional (Real Cotto, et al, 2017). Los modelos climáticos muestran para la ciudad de Guayaquil un aumento de

las temperaturas medias de entre 2°C a 3°C entre 2020 y 2099. Se prevé, igualmente, un aumento de las precipitaciones durante los meses de diciembre a febrero y de marzo a mayo de entre 3 % a 5 %, así como un aumento en la variabilidad y la incidencia de eventos climáticos extremos tales como sequías, inundaciones y episodios de lluvias intensas (Environnement, 2018).

Este trabajo se realiza con datos obtenidos durante los años 2010 – 2020 y presenta una aplicación de técnicas multivariantes que analizan de forma conjunta la relación entre los componentes clima y salud.

### **1.1. Planteamiento del problema**

Según un artículo de Manos Unidas de la Organización No Gubernamental (ONG), el clima del futuro se desajustará en relación a las medidas que normalmente han ocurrido en su historia. Esto se puede evidenciar en los fenómenos ocurridos a lo largo de los últimos años, tales como las olas de calor, sequias, inundaciones, incendios o hasta pérdida de biodiversidad (Manos Unidas, 2020). Dichos fenómenos impactan negativamente en el bienestar público, siendo la salud uno de los sectores más perjudicados, debido a la gran cantidad de enfermedades respiratorias y cardiovasculares causadas por ellos (Manos Unidas, 2020).

Se prevé un incremento de precipitaciones y posiblemente inundaciones en Ecuador, Colombia y Uruguay (Manos Unidas, 2020). Entre los factores causantes de este incremento se encuentra la creciente urbanización y erosión de las tierras. Estos factores se suman a condiciones climatológicas previas, que hacen de Guayaquil una ciudad especialmente vulnerable a las inundaciones.

Con el cambio climático, la principal afección a la salud son las denominadas “plagas”. Existen ciertas épocas en el año en que, la probabilidad de una plaga se incrementa. El cambio climático ha causado que la duración de estas estaciones aumente, prolongando el lapso para que las plagas surjan. Las principales enfermedades transmitidas por plagas son la malaria, el dengue o el paludismo. Según la OMS, el mosquito que transmite esta última enfermedad infecta a casi 600,000 personas al año, en especial a los niños. Además, las enfermedades diarreicas provocan 760,000 muertes a menores de cinco años, debido a los factores como la variabilidad en las precipitaciones, que afecta en el suministro de agua dulce y por ende a la higiene (Manos Unidas, 2020).

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general:**

Analizar la relación entre las variaciones del clima y las principales enfermedades que afectaron a la población de la zona urbana de Guayaquil durante los años 2010 - 2020, a través del uso de técnicas multivariantes desde una perspectiva espacio-temporal, para la generación de pronósticos de futuros casos de contagio.

### **1.2.2. Objetivos Específicos:**

- Identificar las principales variables climáticas que se interponían al bienestar de la salud de los habitantes de Guayaquil urbano en el periodo de tiempo 2010 - 2020, mediante el estudio de la relación clima-salud.
- Determinar las principales enfermedades a las que se encontraban más propensos los habitantes de Guayaquil urbano en el periodo de tiempo 2010 - 2020, en relación a la parroquia urbana en la que habita.
- Obtener la proyección de futuros casos de contagios de la principal enfermedad que afecta a la población de Guayaquil urbano, mediante la identificación de las parroquias urbanas del cantón Guayaquil que sufrieron

vulneraciones a la salud a causa de variaciones climáticas en el periodo de tiempo 2010-2020.

### **1.3. Marco Teórico**

#### **1.3.1. Cambio climático**

Según el primer artículo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), se entiende por cambio climático a “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (CLIMATICO, 1992, pág 6). Se define al cambio climático como las alteraciones del clima o temperatura que afectan a los ecosistemas, generando cambios de origen humano, directa o indirectamente.

Alrededor del mundo, la temperatura ha sufrido un aumento de aproximadamente 0,8°C en los últimos 150 años. Los más calurosos han sido los últimos 11 años. Se estima que para el 2100 la temperatura promedio de la tierra aumente 4°C. Uno de los principales factores que deteriora la capa de ozono son los gases de invernadero. El ser humano genera un exceso de estos gases en actividades cotidianas, como el uso del transporte público, los procesos industriales y el uso de energía eléctrica durante la cotidianidad (Manos Unidas, 2020).

#### **1.3.2. Cambio climático y brotes de enfermedades**

El cambio climático afecta a las especies de los ecosistemas, entre ellas, al ser humano. Estas afectaciones pueden ser beneficiosas. Por ejemplo, en los países templados la mortalidad bajaría si los inviernos son más suaves y en las regiones cálidas las temperaturas elevadas podrían disminuir la reproducción de los vectores transmisores de enfermedades infecciosas (Ochoa Zaldivar et al., 2015).

Sin embargo, por lo general los científicos afirman que la mayor parte de repercusiones atentan contra la salud del ser humano. Estas se pueden separar en directas o indirectas. Entre las directas, el ejemplo más claro son las enfermedades cardiorrespiratorias, generadas frecuentemente por las olas de calor. Entre las indirectas predominan las enfermedades infecciosas (Haines et al., 2000).

Un sistema de vigilancia epidemiológica para la predicción de brotes fue anunciado por la Organización Mundial de la Salud en 2005. Se denominó Early Warning System Model (EWS). Dicho sistema se implementó con el objetivo de identificar rápidamente los brotes.

Según los resultados obtenidos por EWS, en cuanto al riesgo de enfermedad y susceptibilidad al cambio climático, la malaria esta entre las enfermedades transmitidas por vectores y el cólera entre las enfermedades relacionadas con la contaminación del agua y los alimentos. Estas enfermedades tienen una estrecha relación con los factores del cambio climático y las epidemias. En otras enfermedades, el cambio climático juega un papel importante, sin embargo, no es significativo. Entre estas enfermedades se incluye a la leishmaniasis, el dengue, la encefalitis viral y la meningitis meningocócica (Berberian & Rosanova, 2012).

### **1.3.3. Cambio climático y urbanización**

En el presente muchas ciudades se enfrentan a un alto crecimiento urbano, por lo cual, esto produce una lucha con los principales problemas a causa del cambio climático, aumento de tormentas provocando deslizamiento de tierras, inundaciones, olas de calor y posiblemente escasez de agua potable (García, Miyashiro, Orejón, & Pizarro, 2014).

En las áreas urbanas de América latina, el cambio climático puede exacerbar las presiones asociadas al desarrollo de los países latinos. Dado que el cambio climático muchas veces ha sido considerado como un problema a largo plazo, no se toman las acciones necesarias para enfrentar este desafío (Sánchez Rodríguez & CEPAL, 2013).

### **1.3.4. Egresos hospitalarios**

#### **1.3.4.1. Ingreso del paciente al hospital**

Es una persona que llega a un hospital y ocupa una cama mientras es atendido por alguna enfermedad u emergencia diagnosticada. Las habitaciones para recién nacidos sanos no se consideran pacientes hospitalizados y solo se cuentan si se requiere atención especial (INEC - SENPLADES, 2022).

#### **1.3.4.2. Egreso hospitalario**

Es el retiro de un paciente internado cuando recibió servicios hospitalarios. El egreso o alta significa siempre la finalización de la hospitalización, además de la desocupación de la cama que recibió el paciente (INEC & SENPLADES, 2022).

Las estadísticas por egresos hospitalario constan de la morbilidad que incluye todos los casos atendidos en el hospital durante el periodo de análisis, y la mortalidad que es un subconjunto de la morbilidad, el cual se distingue por tener únicamente los casos en los que la causa del egreso es la defunción del paciente (Ordinario & IMSS, 2003).

### **1.3.5. Variables referentes al Clima**

La temperatura, precipitación y el viento son términos estándar que describen al clima de esta manera ya no es un parámetro específico puesto que también se explica como un valor promedio y una variación en ciertos rangos de tiempos.

A lo largo del tiempo el clima cambia bajo la influencia de factores no relacionados con él, ya sea la altitud, latitud, distancia al mar, dirección del movimiento de la tierra, entre otras.

### **1.3.6. Revisión bibliográfica**

A continuación, se presenta el resumen de ciertos estudios acerca de las repercusiones que tiene el cambio climático en la salud humana.

Meza Ballesta & Gónima (2014) realizaron un análisis espacio temporal de la ocurrencia del dengue con el cambio climático y el estado de la vegetación en Colombia, donde se utilizaron técnicas estadísticas tales como Regresión (simple y múltiple) y cartografía estadística. Las variables que se usaron en el estudio fueron la ubicación, la concurrencia de dengue, la temperatura del aire (T), la precipitación (mm). Obteniendo como resultados que el aumento del dengue se relaciona directamente con el cambio climático (aumento de temperatura simultáneamente, disminución de la precipitación y el deterioro de la cobertura vegetal).

Berberian & Rosanova (2012) presentan un estudio donde se identifica la relación entre las enfermedades y el cambio climático y mencionan que, no es sencillo establecer una relación directa entre estos dos ámbitos debido a la gran cantidad de variables involucradas. Sin embargo, en base a la investigación, indican que el cambio climático tiene grandes implicaciones en la salud pública tanto directa como indirectamente. Entre los factores que afectan a la salud están los aumentos de temperatura, las precipitaciones extremas y la contaminación atmosférica. Esto afecta al aumento de la morbimortalidad, enfermedades cardio respiratorias, enfermedades transmitidas por agua o alimento contaminado y las enfermedades infecciosas que transmiten los vectores.

Haines et al. (2000) utilizaron modelos matemáticos integrados para estimar los posibles efectos del cambio climático en las enfermedades transmitidas por vectores. Estos modelos

son útiles para predecir la dirección general y la magnitud potencial de cambios futuros. Además, predicen un aumento significativo en la transmisión mundial de malaria y dengue y una disminución en la transmisibilidad de la esquistosomiasis debido al calentamiento excesivo y la sequía en algunas áreas.

Ortíz Bultó et al. (2008) presentaron un estudio estadístico que se basa en analizar la tendencia del cambio climático en los últimos años, respecto a las enfermedades (diarrea aguda y hepatitis viral) en Cuba. Además de la creación de clústeres, se utilizaron series de tiempo con pruebas Spearman para verificar las tendencias, estimación de patrones estacionales mediante el método de la mediana e índices de Moran y de Geary a fin de identificar asociación espacial. Se llegaron a resultados tales como: en efecto al querer estudiar las enfermedades del país no se debe dejar a un lado la variable del clima (o viceversa) dado que, un cambio en una variable repercute en la otra, las enfermedades son estacionales y por ende al aumentar el tiempo de estación del clima, las enfermedades infecciosas tendrán más tiempo de esparcirse.

Rúa-Uribe et al. (2013) presentaron la relación entre la incidencia de casos de dengue y los datos meteorológicos, para esto se estimó un modelo autorregresivo integrado de media móvil (ARIMA) multivariante. Dicho modelo muestra cómo influyen el ruido aleatorio y los valores de las variables dependientes pasadas recientes, por encima de los valores momentáneos de la variable dependiente, considerando los efectos que puede tener en las variables dependiente.



# CAPITULO 2

## 2. METODOLOGÍA

Para el estudio de la relación entre las variables climáticas y las principales enfermedades que afectan a la población urbana de Guayaquil, desde una perspectiva multivariante espacio-temporal se utilizaron datos disponibles del INEC y del INOCAR.

### 2.1. Tratamiento de datos

La base para el desarrollo del estudio se construyó con datos públicos, de egresos hospitalarios y registros meteorológicos en el periodo de tiempo 2010 – 2020. La selección de las variables se obtuvo apoyándose en el marco teórico.

Para obtener las variables de las principales enfermedades se realizaron diagramas de Pareto para cada año, siendo seleccionadas las enfermedades con más frecuencia a continuación, se presenta el listado de las variables.

- Parroquia de residencia
- Año de egreso
- Mes de egreso
- A09 Diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso
- A90 Fiebre del dengue [dengue clásico]
- E14 Diabetes mellitus, no especificada
- J18 Neumonía, organismo no especificado
- J34 Otros trastornos de la nariz y de los senos paranasales

Para los datos del Clima se realizó la agrupación por mes, obteniendo el promedio de cada variable para el respectivo mes y año. Se pudo notar que la base contaba con varios datos faltantes, por lo que se utilizó el método de imputación por media predictiva para poder solventar dichos datos. A continuación, se presenta el listado de las variables.

- Año
- Mes
- Promedio de la temperatura superficial aire
- Precipitación promedio
- Total acumulado de precipitación
- Velocidad del viento Promedio (Norte, Sur, Este, Oeste, NorEste, NorOeste, SurEste, SurOeste, Centro)

De esta manera el conjunto de datos finales está compuesto por  $p = 20$  variables para los registros de 11 años agrupados por mes, es decir, el tamaño de la muestra final es  $n = (11 \cdot 12) = 132$ . Sobre estos datos se aplicaron las siguientes metodologías para el cumplimiento de los objetivos.

## **2.2. Análisis de Frecuencia**

Para analizar el comportamiento del conjunto de datos, se inició desarrollando la línea de tiempo tanto para las enfermedades seleccionadas como para cada variable del clima, agrupando los datos por los meses comprendidos entre el año 2010 al año 2020. El estudio de las líneas de tiempo nos permite comprender a detalle cómo ha ido evolucionando las variables de interés.

La técnica que se utilizó para determinar las principales enfermedades a las que se encontraban más propensos los habitantes de Guayaquil urbano en el periodo de tiempo 2010 - 2020, en relación a la parroquia urbana en la que habitaron consistió en el cálculo de las frecuencias. Se procedió a agrupar los datos por enfermedad para cada parroquia, de modo que, se obtuvo el número de observaciones de egresos de cada enfermedad a estudiar, separados por las parroquias urbanas de Guayaquil.

### 2.3. Estudio de Correlación

Se utilizó la correlación de Pearson para estudiar cuáles de las enfermedades seleccionadas tiene relación con las variables climáticas. Generando el análisis de correlación entre las variables temperatura y precipitación con cada enfermedad. La correlación de Pearson mide la tendencia lineal entre variables numéricas, en este caso la cantidad de egresos por enfermedad frente a las medidas meteorológicas.

Con este coeficiente de correlación no podemos medir la causalidad, por lo que no se puede definir el sentido del efecto de la variable x en y. Sin embargo, se puede verificar que las variables se están correlacionando entre sí. En cuanto a la medida por la que se determina es el coeficiente de correlación ( $r_{ij}$ ), el cual tiene un rango de entre  $-1$  a  $1$ , se describe a continuación la fuerza de correlación para cada valor de coeficiente.

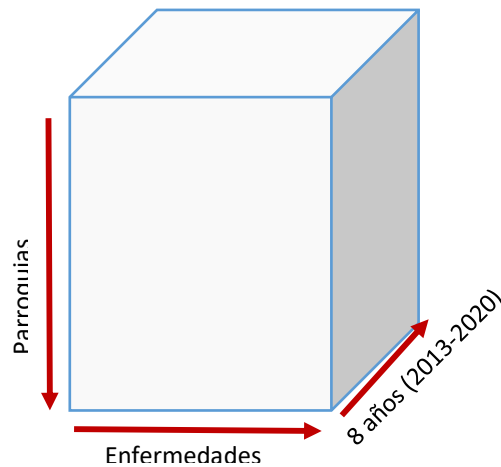
**Tabla 1. Coeficiente de correlación**

<b>Coeficiente de correlación (<math>r_{ij}</math>)</b>	<b>Fuerza de correlación</b>
De $-1$ a $-0.5$ o $1$ a $0.5$	Fuerte Negativa o Fuerte Positiva
De $-0.5$ a $-0.3$ o $0.3$ a $0.5$	Moderada Negativa o Moderada Positiva
$r > -3$ o $r < 1$	Débil Negativa o Débil Positiva

### 2.4. Tres Vías

#### 2.4.1. Análisis de la evolución en el tiempo de las enfermedades.

Para el análisis de las enfermedades, se identifican los casos presentados por parroquias urbanas, se usará el método XSTATIS (PTA) utilizando el siguiente cubo de datos.



**Figura 1. Cubo de datos parroquias – enfermedades.**

**Fuente: Elaboración propia**

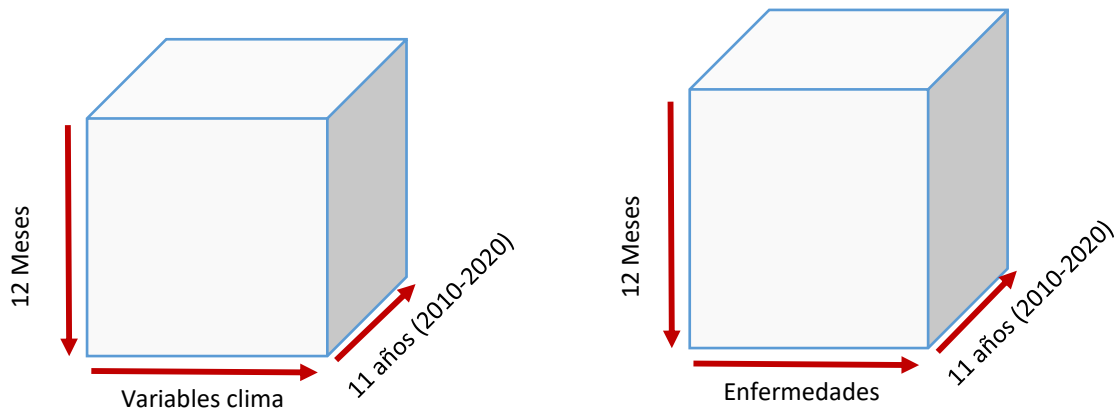
Este método permite estudiar la parte estable (imagen promedio) de la estructura de los datos. Esta técnica se compone en 3 pasos que son:

- La Inter-estructura: estudia las similitudes que han ocurrido en los diferentes años.
- El compromiso: estudia la parte estable de la estructura de las causas de enfermedades a lo largo del tiempo.
- La intra-estructura: proyecta la información de cada año sobre el plano bifactorial del compromiso.

Para este trabajo de investigación solo se analizará la inter-estructura y el compromiso.

#### **2.4.2. Análisis de la evolución en el tiempo de la relación salud-clima.**

Dado el conjunto de datos, organizados por columnas con múltiples variables y filas – individuos (se mantienen las mismas variables e individuos) con las observaciones obtenidas a lo largo de los años 2010-2020, se estructuraron los siguientes cubos de datos.



**Figura 2. Cubo de datos meses-variables clima y meses-enfermedades.**

**Fuente: Elaboración propia**

Para realizar el análisis de estos cubos, una técnica adecuada a seguir es el Análisis Triádico Parcial (PTA), también denominado XSTATIS, que nos permite obtener el matriz compromiso para cada cubo de datos de forma independiente, y así aplicar CO-Inercia entre ambas matrices compromiso, con el fin del estudiar la co-estructura (relación) entre las enfermedades y las variables de clima, este método combinado es conocido como COSTATIS.

### 2.4.3. Proyección modelo VAR

Para generar la predicción de la cantidad de egresos para las enfermedades seleccionadas se utilizó el modelo vectorial autorregresivo (VAR), el cual es aplicable a series de tiempo multivariantes. El modelo VAR asume que la variable enfermedad está descrita por valores pasados de las variables clima mediante el análisis de interrelación de dichas variables. Definimos al modelo VAR de la siguiente manera:

$$Y_a = A_0 + \sum_{s=1}^p A_s Y_{a-s} + \varepsilon_a$$

Donde  $Y_a$  se encuentra definido por el vector de las variables,  $A_s$  la matriz de coeficiente y  $\varepsilon_a$  el vector de errores que sigue una distribución Normal,  $\varepsilon_a \sim N(0, \Sigma)$ . Este modelo asume que todas las variables que se utilizan en el modelo están correlacionadas por lo que nos permite visualizar cómo afectan las variables del clima al estimar las principales enfermedades en Guayaquil Urbano.

# CAPITULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Este capítulo presenta los resultados de las técnicas utilizadas para el desarrollo de cada objetivo

### 3.1. Frecuencia de las enfermedades

#### 3.1.1. Enfermedades por año de egreso

En la Tabla 2 se puede observar la cantidad de egresos hospitalarios por cada enfermedad y por cada año de egreso, se muestra que la diarrea como causa es la enfermedad que más egresos ha tenido a lo largo de los 11 años estudiados, seguido por la neumonía. Los primeros años presentan más frecuencia de egresos, mientras que en los últimos años se pudo notar una leve disminución de casos de egresos por las causas estudiadas. Sin embargo, cada enfermedad tuvo sus picos de contagio a lo largo de los años, por ejemplo, el dengue tuvo un pico en el año 2012, la neumonía en el 2010 y otros trastornos de la nariz en el año 2019.

**Tabla 2. Total de egresos hospitalarios para cada año por enfermedad.**

<b>Año Egreso</b>	<b>A09 Diarrea</b>	<b>A90 Dengue</b>	<b>E14 Diabetes</b>	<b>J34 Otros trastornos de la nariz</b>	<b>J18 Neumonía</b>
2010	10146	1643	1379	1224	5577
2011	8484	1248	475	822	3361
2012	5384	2296	1417	1090	4307
2013	6166	534	1063	1320	4824
2014	6385	1521	851	1168	3482
2015	5808	1061	725	1000	3375
2016	5850	157	495	1046	3604

2017	5072	87	399	969	2637
2018	4063	27	354	1070	2503
2019	4292	340	262	1482	3333
2020	1820	1338	205	705	1564

### 3.1.2. Enfermedades por mes de egreso

La Tabla 3 muestra cómo se distribuye la cantidad de egresos en los meses del año, es decir, podemos observar en que mes hubo más frecuencia de dicha enfermedad a lo largo de los 11 años estudiados. Se muestra que, marzo y abril fueron los meses con mayor frecuencia de contagios, y en dichos meses las enfermedades predominantes fueron la diarrea y la neumonía. Se pueden observar picos de frecuencia, por ejemplo, el dengue se presentó con mayor frecuencia en los meses abril y mayo (invierno).

**Tabla 3. Total de egresos hospitalarios por mes en el periodo 2010-2020 para cada enfermedad**

Mes	A09 Diarrea	A90 Dengue	E14 Diabetes	J34 Otros trastornos de la nariz	J18 Neumonía
Enero	5580	521	724	962	2854
Febrero	5547	739	624	1019	3447
Marzo	5860	1506	780	1053	5023
Abril	5191	1877	653	1004	4212
Mayo	4596	1694	656	836	3328
Junio	4817	1282	700	962	3442
Julio	5225	965	580	1031	3215
Agosto	5560	529	594	1050	3043
Septiembre	5700	341	562	1024	2634
Octubre	5499	318	594	1068	2382
Noviembre	4964	205	576	1031	2333
Diciembre	4931	275	582	856	2654

### 3.1.3. Enfermedades por parroquia

En la Tabla 4 se presentan las parroquias de Guayaquil urbano que fueron afectadas por las enfermedades estudiadas. En la parroquia denominada “Guayaquil” se encuentran todos los casos hospitalarios a los que no se les pudo definir una parroquia específica, por lo que no se realizó un análisis para dicha segmentación. Se puede observar que la enfermedad predominante fue la diarrea, afectando a las parroquias Tarqui, Ximena y Febres Cordero, lo cual se puede verificar de manera más gráfica en el mapa “Guayaquil Urbano” de la Figura 3.

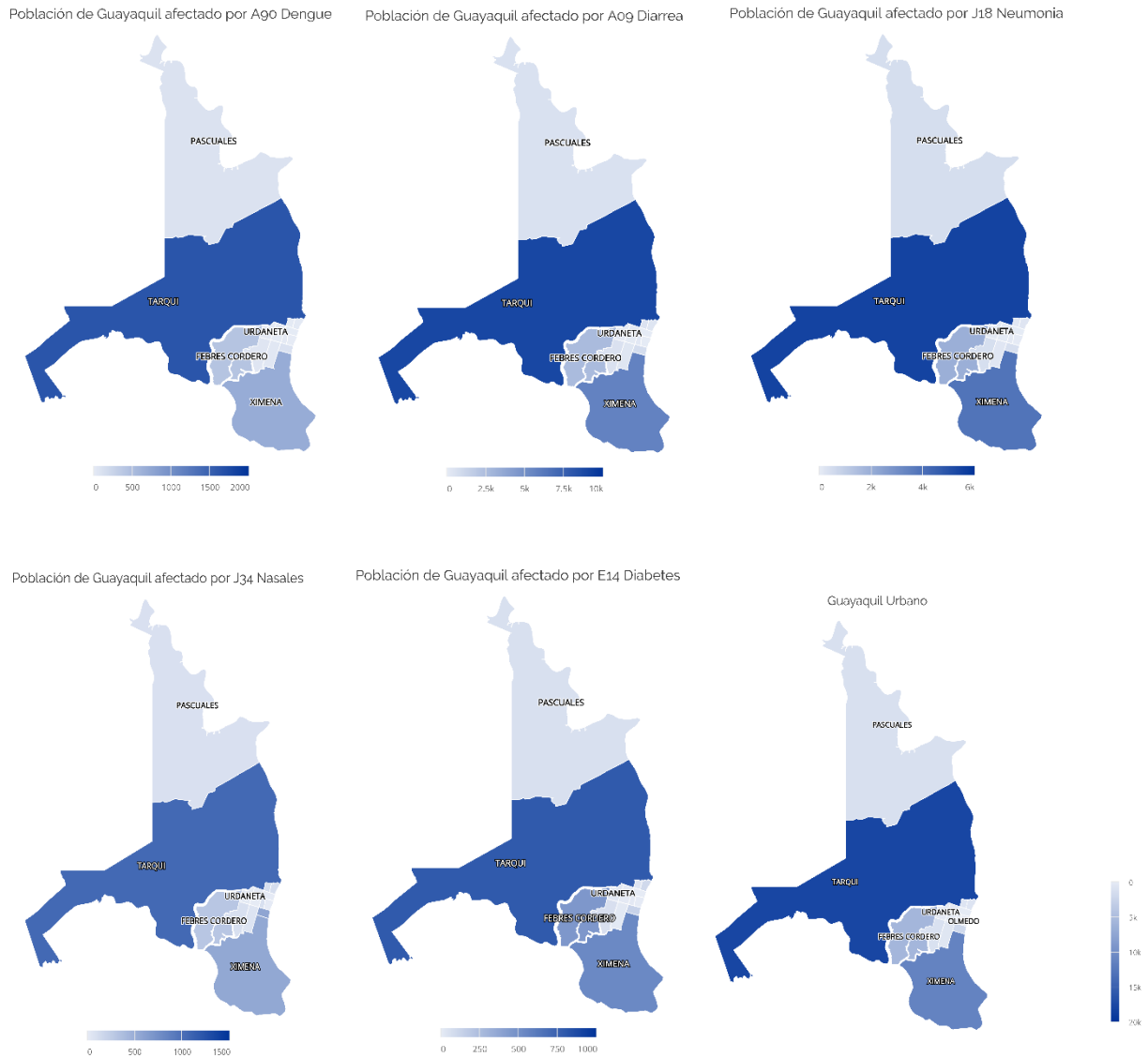
**Tabla 4. Total por parroquias en el periodo 2013-2020 para cada enfermedad**

<b>Parroquias</b>	<b>A09 Diarrea</b>	<b>A90 Dengue</b>	<b>E14 Diabetes</b>	<b>J18 Neumonía</b>	<b>J34 Otros trastornos de la nariz</b>
AYACUCHO	779	94	134	403	569
BOLIVAR	160	21	15	59	89
CARBO	333	23	97	191	112
FEBRES CORDERO	2623	425	454	1957	301
GARCÍA MORENO	296	47	11	159	56
Guayaquil	42767	7097	5389	25282	8857
LETAMENDI	518	65	63	405	89
NUEVE DE OCTUBRE	114	19	4	40	6
OLMEDO	23	1	4	22	5
PASCUALES	569	98	60	437	86
ROCA	473	16	37	128	97
ROCAFUERTE	25	5	2	14	6
SUCRE	75	5	9	44	3
TARQUI	8936	1633	790	5468	1063
URDANETA	95	19	21	71	10
XIMENA	5684	684	535	3887	547

En la Figura 3, se puede observar a mayor detalle para cada enfermedad que parroquia fue la más afectada, lo cual verifica que, Tarqui y Ximena fueron las parroquias con más frecuencias de contagios en todas las enfermedades, seguido por Febres Cordero que



presenta mayor frecuencia para la diabetes en comparación a las otras enfermedades que han afectado a esta parroquia.

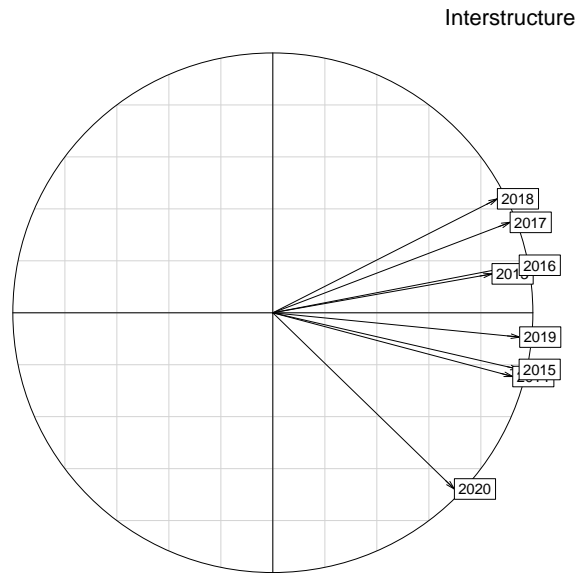


**Figura 3. Mapa de Guayaquil por parroquias urbanas afectadas por enfermedades.**  
**Fuente: Elaboración propia**

### 3.2. Análisis de tres vías - Método XSTATIS para las enfermedades por parroquia

En este análisis, a través de la interestructura (explica el 90% de la variabilidad) se logró identificar dos patrones de comportamiento en los casos de las enfermedades registradas

desde el 2013 – 2020 en cada una de las parroquias urbanas de Guayaquil. El año 2020 evidenció un comportamiento diferente al resto de años (se aleja del grupo) y esto se debe a que en este año ocurrió la pandemia de Covid-19 observado en la Figura 4.

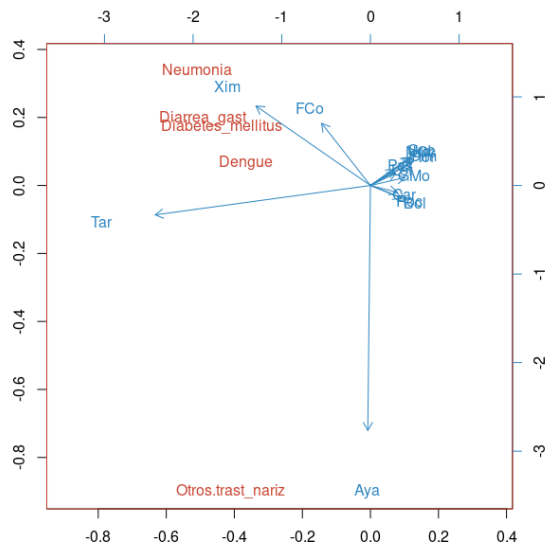


**Figura 4. Gráfico de Inter-estructura.**

**Fuente: Elaboración propia**

Al igual que en el análisis de frecuencia, en la Figura 5 (explica el 98.7% de la variabilidad de la estructura de los datos) se puede observar que Tarqui, Ximena, Febres Cordero y Ayacucho son las parroquias urbanas donde se ha presentado la mayor frecuencia de enfermedades, mientras que las otras parroquias se agruparon dado que no destaca ninguna una de ellas, es decir no presentan gran cantidad de casos de egresos hospitalarios.

Se puede verificar que las parroquias antes mencionadas están relacionadas con el incremento de las diferentes enfermedades. Al trazar una recta en el valor 0 del eje de las x, se puede observar que, otros trastornos nasales tuvo más casos de contagio en las parroquias de Ayacucho y Tarqui, mientras que la Neumonía se presentó en gran escala tanto en Febres Cordero, Ximena y Tarqui, al igual que el dengue y la diarrea.



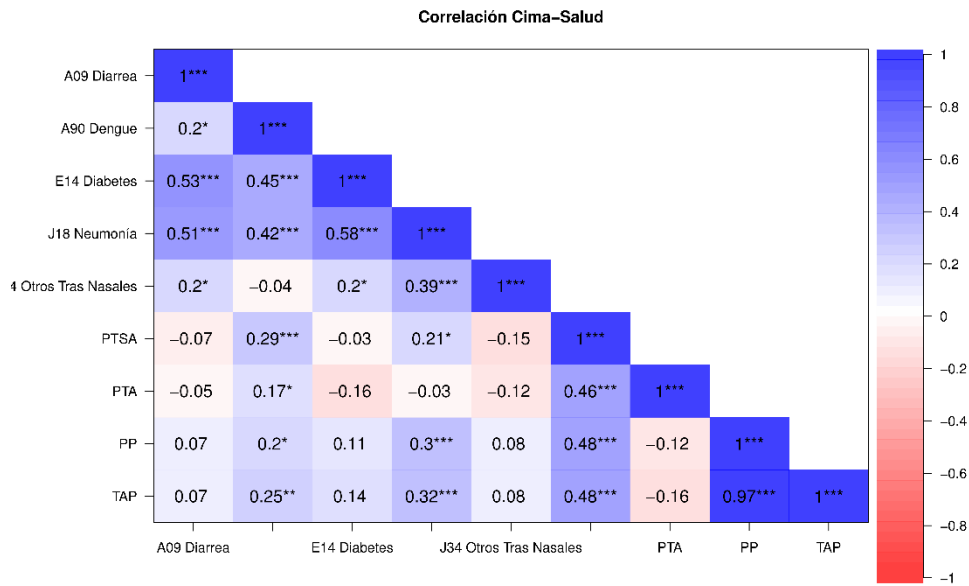
**Figura 5. Gráfico del compromiso.**

**Fuente: Elaboración propia**

### **3.3. Relación clima – enfermedades**

#### **3.3.1. Análisis de correlación**

Como resultado de la correlación de Pearson se puede observar en la Figura 6 que, entre las variables del clima con las enfermedades seleccionadas, el dengue y la Neumonía son las enfermedades con mayor coeficiente de correlación con el clima, en este caso con la temperatura superficial del aire y el total acumulado de precipitación. Sin embargo, también se puede observar la gran correlación entre la neumonía, la diabetes y los otros trastornos nasales.



**Figura 6. Gráfico de correlación entre variables.**

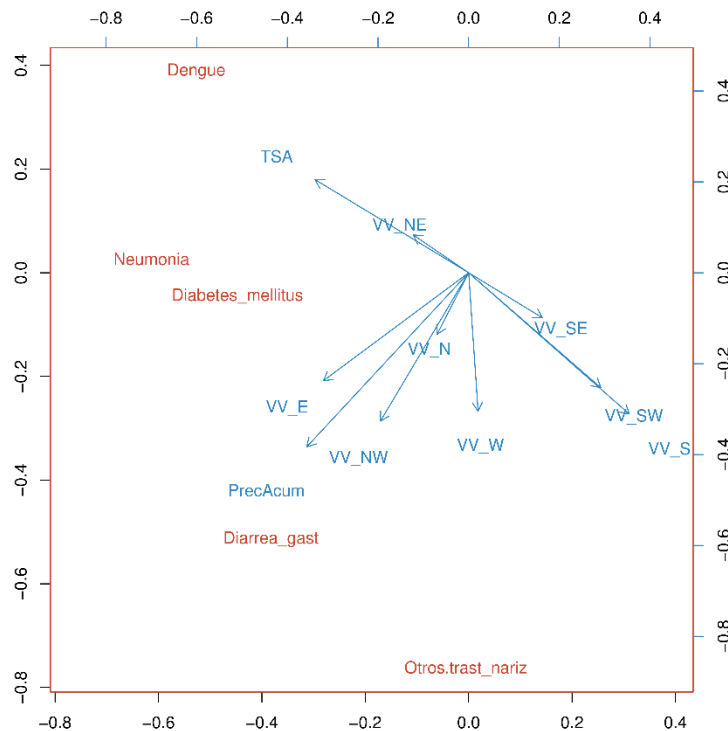
**Fuente: Elaboración propia**

### 3.3.2. Análisis de tres vías - Método COSTATIS

Tomando en consideración los resultados de la correlación realizada anteriormente se utilizaron las variables de clima que presentaron más correlación con las enfermedades, es decir, con la Temperatura superficial del aire y la precipitación acumulada promedio, adicionalmente se agregaron las variables de la velocidad del viento para cada región (N, S, E, W, NE, NW, SE, SW).

Para el resultado del análisis entre el cubo de las enfermedades y el cubo de las variables climáticas, se puede observar la Figura 7 (explica el 95% de la varibilidad en la co-estructura salud-clima) que presenta como se correlacionan las variables a lo largo de los meses en los 11 años estudiados. Por el tamaño de los vectores, se puede observar que, la temperatura y la precipitación son las variables que más aportan en relación al tiempo estudiado, por el contrario, para el cubo de las enfermedades se puede observar que el dengue y la Neumonía son las enfermedades que más aportan a lo largo de los 11 años estudiados.

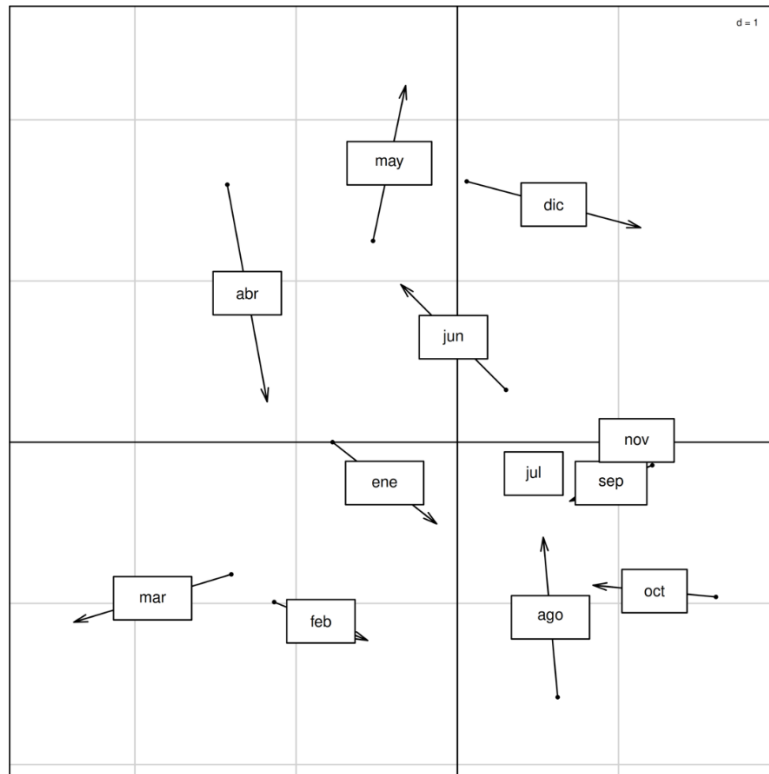
Al trazar una línea en el centro del eje de las x de la Figura 7, se puede notar la correlación que hay entre el vector de la Temperatura superficial del aire con la posición del dengue y de la neumonía, al igual que pasa con la precipitación acumulada y la diarrea. Es decir que, a mayor temperatura, mayor es la frecuencia de las enfermedades como el dengue y la neumonía, al igual que pasa con la precipitación, si esta variable aumenta se puede presentar un incremento en los casos de Diarrea.



**Figura 7. Gráfico de Co-Inercia entre el clima y las enfermedades.**

**Fuente: Elaboración propia**

Así mismo, en la Figura 8 podemos observar que, si trazamos una línea en el centro del eje de las x, se dividen los meses en dos grupos, los cuales representan una especie de patrón. En el primer grupo se encuentran los meses de la época “seca” o también llamado verano (junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre que está muy cerca al eje 2), y el segundo grupo se encuentran los meses de la época lluviosa (enero, febrero, marzo, abril y mayo). Esto quiere decir que, las estaciones de la época climática influyen en las enfermedades.



**Figura 8. Gráfico de Co-Inercia entre meses.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

Si se analiza la Figura 7 y la Figura 8 en conjunto, se puede observar que, en los meses abril, mayo y junio hubo mayor presencia de dengue y neumonía y se está correlacionando con la temperatura, adicional basándonos en la dirección de la flecha podemos observar que también se relaciona con los valores de la precipitación. Para los meses de enero, febrero y marzo las enfermedades que se encuentran en el mismo cuadrante son la diabetes y la diarrea, es decir que hubo más frecuencia de dichas enfermedades en estos meses y además se están relacionando con los cambios de la precipitación. Para los meses como agosto y octubre la enfermedad predominante fue los trastornos de la nariz la cual a su vez se relaciona con la velocidad del viento.

En la Tabla 5 se puede observar los resultados de la validez del método utilizado, donde se realizó un test de Monte-Carlo al modelo. El 54.63% de la inercia total explicada proviene de la relación clima-salud y se puede concluir estadísticamente que la relación clima-salud es altamente significativa, dado que el modelo presenta un valor  $p = 0.002$ .

**Tabla 5. Resultado Monte – Carlo Test**

---

<b>Monte-Carlo test</b>
Call: randtest.coinertia(xtest = res, nrepet = nrepet)
Observation: 0.5462939
Based on 999 replicates
Simulated p-value: 0.002
Alternative hypothesis: greater
Std.Obs - Expectation - Variance
<b>3.123391357 - 0.263306753 - 0.008208818</b>

---

### 3.4. Proyección de futuros casos de contagio

En base a la Tabla 6, se definió la longitud del rezago para estimar el modelo VAR para predecir las enfermedades, neumonía y dengue, en función de las variables climáticas que anteriormente se estudió su correlación. Se definió un modelo VAR (7) donde se utilizaron las variables: neumonía, dengue, temperatura superficial del aire y total acumulado de precipitación.

**Tabla 6. Longitud del rezago para estimar el modelo VAR**

---

<b>Selección de longitud de REZAGO</b>			
AIC(n)	HQ(n)	SC(n)	FPE(n)
7	3	1	7

---

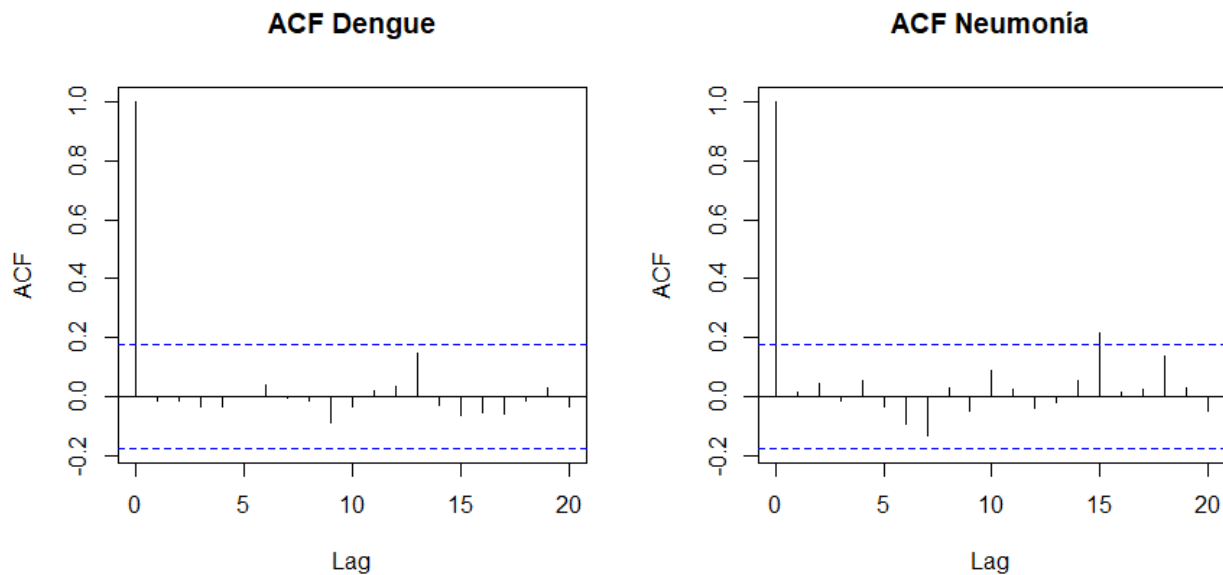
#### 3.4.1. Evaluación del modelo general.

En la Tabla 7, se encuentra el resumen del modelo para cada variable a predecir, en este caso, neumonía y dengue. Se puede observar que para ambas enfermedades el modelo resulta ser estadísticamente significativo debido al valor  $p < 0.05$ , adicional se puede observar que el valor  $r^2$  y  $r^2_{ajustado}$  para ambas enfermedades está por encima del 50%.

**Tabla 7. Resultado de las variables a predecir.**

<b>Resumen del Modelo para las variables a predecir</b>	
<b>Neumonía</b>	
Residual standard error: 72.37 on 96 degrees of freedom	
Multiple R-Squared: 0.6998,	Adjusted R-squared: 0.6122
F-statistic: 7.991 on 28 and 96 DF, p-value: 5.911e-1	
<b>Dengue</b>	
Residual standard error: 50.67 on 96 degrees of freedom	
Multiple R-Squared: 0.7914,	Adjusted R-squared: 0.7306
F-statistic: 13.01 on 28 and 96 DF, p-value: < 2.2e-16	

**3.4.2. Evaluación de autocorrelación de los residuos.**



**Figura 9. Correlación entre residuos.**

**Fuente: Elaboración propia.**

En la Figura 9 no se puede observar la presencia de correlación entre los residuos, mientras que en las pruebas realizadas cuyos resultados se encuentran en la Tabla 8, se puede confirmar estadísticamente que existe autocorrelación entre los residuos, dado que el valor  $p < 0.05$  en ambas pruebas.



**Tabla 8. Resultado de Pruebas de Autocorrelación**

---

<b>Pruebas de autocorrelación</b>
<b>Portmanteau Multivariada</b>
data: Residuals of VAR object modelo
Chi-squared = 81.631, df = 48, p-value = 0.001759
<b>Breusch-Godfrey</b>
data: Residuals of VAR object modelo
Chi-squared = 176.41, df = 144, p-value = 0.03427

---

### 3.4.3. Evaluación de la normalidad en los residuales.

Se puede observar en la Tabla 9 que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis de normalidad en los residuos, para el modelo en ambas enfermedades, por lo que el modelo pasó la mayor cantidad de las evaluaciones y se puede utilizar para realizar la predicción de casos en los siguientes 12 meses.

**Tabla 9. Evaluación de Normalidad en los residuos.**

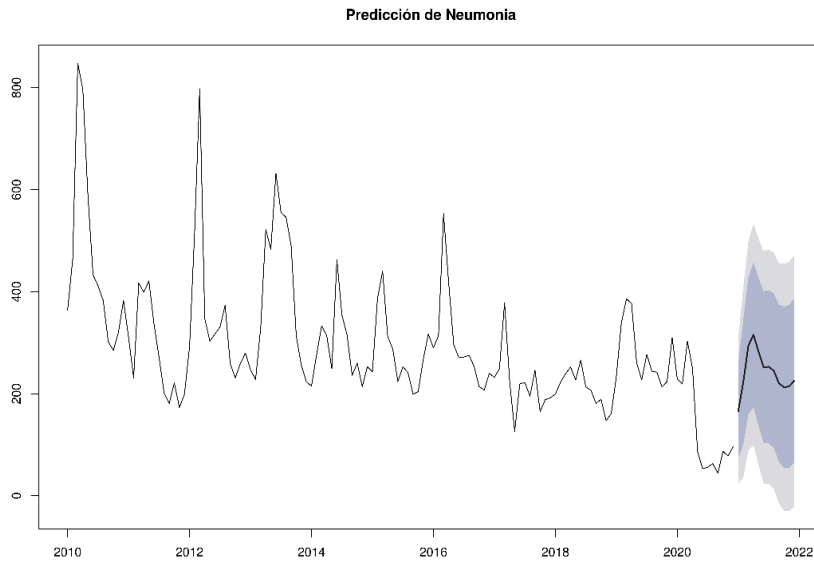
---

<b>Pruebas de Normalidad JB-Test</b>
<b>Neumonía</b>
data: Residual of J18..Neumonia..organismo.no. especificado equation
Chi-squared = 10.252, df = 2, p-value = 0.00594
<b>Dengue</b>
data: Residual of A90...Fiebre.del.dengue..dengue.clásico. equation
Chi-squared = 88.029, df = 2, p-value < 2.2e-16

---

### 3.4.4. Gráficos de las proyecciones estadísticas

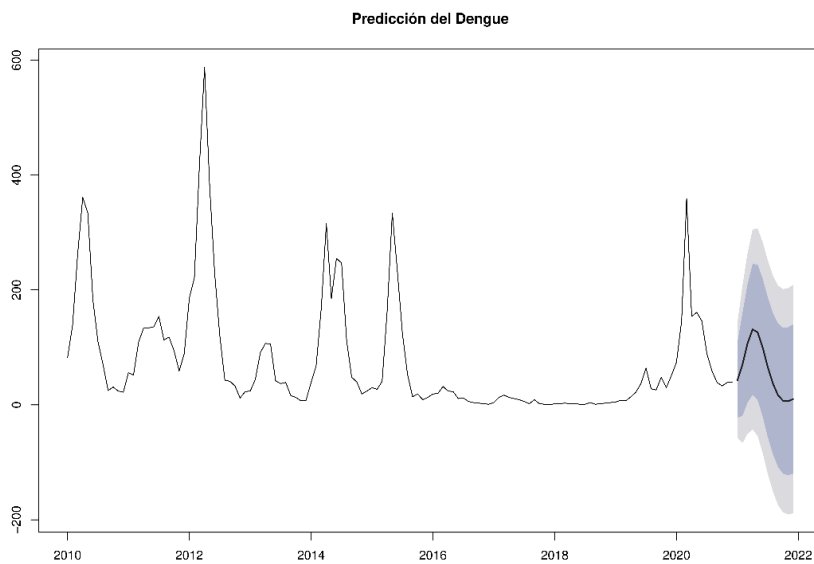
En la Figura 10 se muestra la línea de tiempo para las causas de la Neumonía desde 2010 hasta el 2020 y se graficó la predicción estimada para los próximos 12 meses, mediante el modelo VAR.



**Figura 10. Gráfico de predicción de Neumonía.**

**Fuente: Elaboración propia.**

En la Figura 11 se muestra la línea de tiempo para las causas del Dengue desde 2010 hasta el 2020 y se graficó la predicción estimada para los próximos 12 meses, mediante el modelo VAR.



**Figura 11. Gráfico de predicción Dengue.**

**Fuente: Elaboración propia.**

# CAPITULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo presenta las conclusiones y las recomendaciones que se pudieron obtener a lo largo del estudio de la relación entre las variaciones climáticas y las principales enfermedades que afectan a la población urbana de Guayaquil, desde una perspectiva multivariante espacio-temporal el cual permitió la elaboración del modelo para la predicción de la neumonía y el dengue para los próximos 12 meses.

### 4.1. Conclusiones

- Las principales enfermedades que afectaron a Guayaquil urbano fueron: la diarrea, la neumonía, el dengue, la diabetes y otros trastornos de la nariz. Mientras que las variables climáticas que presentaron alta correlación con dichas enfermedades en Guayaquil urbano para el periodo de tiempo 2010 – 2020, fueron: la temperatura superficial del aire, la precipitación pluvial y la velocidad del viento.
- La parroquia Tarqui ha sido la más afectada por todas las enfermedades estudiadas, seguida de Ximena donde las enfermedades predominantes fueron la diarrea y otros trastornos de la nariz. Por otra parte, están la parroquia de Ayacucho y Febres Cordero donde predominó la diarrea y la neumonía

- Las estaciones de la época climática influyen en la frecuencia de contagio de las enfermedades estudiadas. En los meses como abril, mayo y junio se presentan mayor frecuencia de dengue y neumonía a comparación con enero, febrero y marzo donde se presentan más casos de diarrea y diabetes. Para meses como octubre y agosto los trastornos de la nariz tienen frecuencia predominante.
- La frecuencia de las causas neumonía y dengue pueden ser predichas a partir de las variables climáticas ya que presentan fuerte correlación, dando como resultado proyecciones que son estadísticamente significativas

#### **4.2. Recomendaciones**

- Para tener un estudio más relacional entre variables se recomienda seleccionar un método adecuado para la imputación de datos, en caso de presentar datos faltantes como ocurrió en el estudio presentado.
- Dado que las proyecciones obtenidas son de años en curso, se recomienda compararlas con lo que actualmente está ocurriendo, y así tener certeza que el modelo elegido se aproximó a los verdaderos valores, caso contrario realizar un reajuste del modelo.

# BIBLIOGRAFÍA

- Berberian, G., & Rosanova, M. T. (2012). Impacto del cambio climático en las enfermedades infecciosas. *Archivos argentinos de pediatría*.
- CLIMATICO, S. E. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Duque Franco, I., & Montoya Garay, J. W. (2021). Cambio climático y urbanización. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 274 - 279.
- Environnement, I. C. (2018). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en Guayaquil. *Books*.
- García, R., Miyashiro, J., Orejón, C., & Pizarro, F. (2014). Crecimiento urbano, cambio climático y ecosistemas frágiles: el caso de las lomas de Villa María del Triunfo en Lima Sur. *Disponible en: de <http://urbano.org.pe/descargas/investigaciones/PERUHOY/PH-2014.pdf>. Acceso.*
- Haines, A., McMichael, A. J., & Epstein, P. R. (2000). Environment and health: 2. Global climate change and health. *Cmaj*, 729-734.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) - Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). (23 de 02 de 2022). *ANDA*. Obtenido de INEC: <https://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/catalog/883/study-description>
- Lema, I. I. (2002). El cambio climático y la salud humana. *Gaceta ecológica*, 24-42.
- Meza-Ballesta, A., & Gónima, L. (2014). Influencia del clima y de la cobertura vegetal en la ocurrencia del Dengue (2001-2010). *Revista de Salud Pública*, 293--306.
- Ochoa Zaldivar, M., Castellanos Martínez, R., Ochoa Padierna, Z., & Oliveros Monzón, J. L. (2015). Variabilidad y cambio climáticos: su repercusión en la salud. *Medisan*, 873--885.
- Ordinario, R., & IMSS, O. (2003). Estadística de egresos hospitalarios del sector público del Sistema Nacional de Salud, 2001. *salud pública de méxico*, 310.
- Ortíz Bultó, P. L., Pérez Rodríguez, A. E., Rivero Valencia, A., Pérez Carreras, A., Juan Ramón, C., & Lecha Estela, L. B. (2008). La variabilidad y el cambio climático en

- Cuba: potenciales impactos en la salud humana. *Revista Cubana de Salud Pública*, 0-0.
- Real Cotto, J., Sánchez Calle, W., Hington Chica, F., Hurtado Astudillo, J., Fariño Cortez, J., Vera Lorenti, E., & Cercado Mancero, A. (2017). Factores ambientales y cambio climático relacionados con el comportamiento del Dengue en Guayaquil. *Revista Ciencia Unemi*, 81-87.
- Rúa-Urbe, G. L., Suárez-Acosta, C., Chauca, J., Ventosilla, P., & Almanza, R. (2013). Modelado del efecto de la variabilidad climática local sobre la transmisión de dengue en Medellín (Colombia) mediante análisis de series temporales. *Biomédica*, 142 - 152.
- Sánchez Rodríguez, R., & CEPAL. (2013). *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina*.
- Torres, M. J. (2019). FACULTAD LATINOAMERICA DE CIENCIAS SOCIALES SEDE ECUADOR ESPECIALIZACIÓN EN LIDERAZGO, CAMBIO CLIMÁTICO Y CIUDADES. 1.
- Unidas, M. (2020). Cambio Climático. *Manos Unidas*.