

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Asociación entre la introducción de la vacuna contra el
COVID-19 y el Índice Mensual de Actividad Económica
en Costa Rica

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la
consideración de la Comisión del Programa de Posgrado
en Matemática para optar al grado y título de Maestría
Profesional en Métodos Matemáticos y Aplicaciones

JOHN OROZCO CASTILLO

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2023

DEDICATORIA

A mi Dios que me ha ayudado hasta aquí pese a las difíciles circunstancias que hemos vivido, a mi esposa amada, Ana, sin tu paciencia, apoyo y respaldo no lo hubiese logrado, a mis cinco hijos: Stephanie, Michelle, Nicole, Naishni y Sarah.

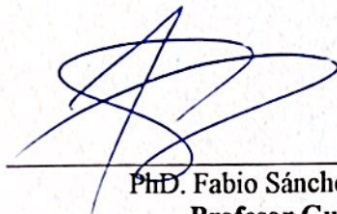
AGRADECIMIENTO

A mis profesores de la Maestría en Matemática, profesor Dr. Fabio Sánchez, profesor Dr. Luis Barboza y profesor Dr. Gustavo Mery, al resto de profesores que me instruyeron con su conocimiento y me exigieron para alcanzar este nivel académico.

Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Posgrado en Matemática de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Métodos Matemáticos y Aplicaciones.

Edgar Robles C.

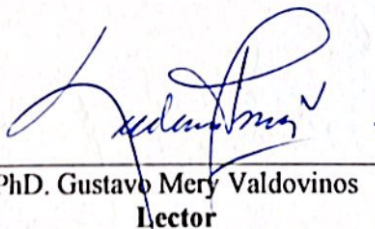
PhD. Edgar Robles Cordero
**Representante de la Decana
Sistema de Estudios de Posgrado**




PhD. Fabio Sánchez Peña
Profesor Guía



PhD. Lus Alberto Barboza Chinchilla
Lector



PhD. Gustavo Mery Valdovinos
Lector



PhD. Dario Alberto Mena Arias
**Director
Programa de Posgrado en Matemática**

John Orozco Castillo

John Orozco Castillo
Sustentante

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
Hoja de aprobación	IV
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
LISTA DE CUADROS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE ABREVIATURAS	X
I. Introducción	1
I.1. Antecedentes y justificación	1
I.2. Agrupación de Costa Rica y de las economías grandes	3
I.3. Evolución de la vacunación	4
I.4. Correlación vacunas y el empleo	7
I.5. Objetivo general	7
I.6. Cronograma de investigación	8
II. Análisis descriptivo de las variables de empleo, IMAE y vacunación	9
II.1. Variables propuestas	9
II.2. Ajuste Movilidad por Vacunación	10
II.3. Ajuste Consumo por Movilidad	15
II.4. Ajuste Movilidad basándose en Vacunación	17
III. Análisis de la asociación entre la vacunación y el IMAE	18
III.1. Método Monte Carlo Markov Chain	19
III.2. Resultados de aplicación por método de MCMC para Movilidad .	20
III.3. Ajuste de la Movilidad por MCMC	21
IV. Ajuste del IMAE	24
V. Asociación del IMAE y el Empleo	26
VI. Conclusiones y recomendaciones	28

RESUMEN

Este trabajo es un esfuerzo por lograr asociar el comportamiento de la economía de Costa Rica afectada por las restricciones impuestas por la pandemia COVID-19 y la introducción de la vacuna contra el virus causante SARS-CoV-2. El propósito es poder determinar si existe asociación entre la recuperación económica y la aplicación diaria de la vacuna. Poco material ha sido desarrollado a la fecha al respecto, lo cual constituye un reto académico, agregado a esto, un reto adicional es la recopilación de información necesaria que permita establecer los métodos matemáticos estadísticos que expliquen si existe la relación esperada.

ABSTRACT

This work is an effort to associate the behavior of the Costa Rican economy affected by the restrictions imposed by the COVID-19 pandemic and the introduction of the vaccine against the virus that causes SARS-CoV-2. The purpose is to be able to determine if there is an association between economic recovery and the daily application of the vaccine. Little material has been developed to date in this regard, which constitutes an academic challenge, added to this, an additional challenge is the collection of necessary information that allows establishing the statistical mathematical methods that explain whether the expected relationship exists. Estados Unidos de Norteamérica (USA)

LISTA DE CUADROS

1.	Retornos IMAE y vacunación.	7
2.	Cronograma de Investigación.	8
3.	Variables propuestas.	9
4.	Rango de confianza de coeficientes.	21
5.	Ajuste movilidad con vacunación diaria.	23
6.	Ajuste movilidad con vacunación acumulada.	24
7.	Rangos de confianza para IMAE.	25
8.	Ajuste del IMAE	26
9.	Rangos de confianza empleo IMAE.	27
10.	Ajuste del empleo por IMAE.	28

LISTA DE FIGURAS

1.	Caída del PIB.	2
2.	Caída del PIB Latinoamérica.	3
3.	Análisis de Componentes Principales PIB Grandes Economías y Costa Rica.	4
4.	Círculo de Correlaciones.	5
5.	Comportamiento de vacunación en Costa Rica.	6
6.	Correlación de Retornos Empleo y Vacunación, transformación.	8
7.	Correlación Empleo vs Vacunación.	10
8.	Correlación Movilidad vs Vacunación y variables epidemiológicas	11
9.	Proyección Movilidad sobre Vacunación.	12
10.	Serie temporal Movilidad.	12
11.	Serie Temporal Vacunación.	13
12.	Serie Temporal Total Casos.	13
13.	Serie Temporal Nuevos Casos.	14
14.	Serie Temporal Muerte.	14
15.	Dispersión Movilidad por Vacunación.	15
16.	Proyección Consumo por Movilidad.	16
17.	Serie Temporal Consumo.	16
18.	Serie Temporal Combustible.	17
19.	Movilidad Recreación y Venta Minorista por Vacunación.	17
20.	Movilidad Transporte Público por Vacunación.	18
21.	Aplicación de Monte Carlo Markov Chain.	21
22.	Coefficientes para Movilidad Ajustada.	22
23.	Coefficientes para Movilidad Ajustada.	23
24.	Aplicación de Monte Carlo Markov Chain para IMAE.	24
25.	Coefficientes Ajuste del IMAE.	25
26.	Coefficientes Proyección del Empleo basado en IMAE.	27

LISTA DE ABREVIATURAS

ARIMA modelo de media móvil integrado autoregresivo

ARMA modelo de media móvil autoregresivo

AUT Australia

CAN Canadá

CCSS Caja Costarricense de Seguro Social

CEPAL Comisión Económica para América Latina y el Caribe

CHN China

CRI Costa Rica

DEU Alemania

FRA Francia

GBR Gran Bretaña

IMAE Índice Mensual de Actividad Económica

ITA Italia

JPN Japón

MCMC Monte Carlo Markov Chain

PIB Producto Interno Bruto

USA Estados Unidos de Norteamérica



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

SEP Sistema de
Estudios de Posgrado

Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, John Orozco Castillo, con cédula de identidad 9-0070-0135, en mi condición de autor del TFG titulado Asociación entre la Introducción de la vacuna contra el COVID-19 y el Índice Mensual de Actividad Económica en Costa Rica.

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO *

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

John Orozco Castillo

FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

I. Introducción

I.1. Antecedentes y justificación

El virus SARS-CoV-2, causante de la enfermedad COVID-19, ha causado un impacto importante en la economía mundial. Todos los países se han visto afectados, y con ello, la economía nacional o doméstica [22]. La enfermedad del COVID-19 ha tomado alta relevancia por las consecuencias en la salud de la población mundial. Por lo anterior, grandes esfuerzos se concentraron en el desarrollo de la vacuna contra dicho virus y su aplicación. Esta investigación estudió el comportamiento del Índice Mensual de Actividad [17] durante los primeros meses de la pandemia por la COVID-19, definido como el índice medido mensualmente para conocer el estado de la producción nacional, el que se utiliza como base y aproximación para el cálculo de Producto Interno Bruto [23]. Además, se buscará encontrar la asociación entre la introducción de la vacuna contra la COVID-19 y la evolución del Índice Mensual de Actividad Económica (IMAE), tal y como lo señala [11] el problema de la economía es un problema de salud que obliga a establecer restricciones de movilidad.

La fórmula sobre la que se calcula el IMAE está dada por el Banco Central de Costa Rica, descrita en el Informe Mensual Coyuntura Económica [3],

$$I(t) = \sum_{i=1}^n I_{it} w_i \quad (1)$$

donde:

$I(t)$ = nivel de índice general en el periodo t

I_{it} = índice quantum de la industria i (agropecuario, manufactura, etc.) en el mes t

w_i = porcentaje que representa el valor agregado de la industria i (Va_i) en relación con el PIB en el periodo base, esto es $w_i = (Va_i/PIB) * 100$

n = número de industrias

$PIB = \sum Va_i$: El producto interno bruto es igual a la suma de los valores agregados de las actividades productivas

Partiendo del principio económico el cual dicta que todos los países buscan crecimiento [13], se puede suponer que los gobiernos harán esfuerzos para impulsar los sectores económicos. Sin embargo, la pandemia del virus SARS-CoV-2 obligó a los gobiernos a imponer restricciones de movilidad e interacción social, para mitigar la transmisión y las muertes causadas por esta enfermedad. Estas restricciones de movilidad provocan un impacto negativo en la producción económica. Ahora bien, la estrategia más efectiva para levantar dichas restricciones de manera segura es con un programa de vacunación masiva [5]. En el caso de la COVID-19, una vacuna eficaz y segura fue desarrollada tempranamente dentro del primer año desde la declaración de emergencia sanitaria internacional. Costa Rica no es la excepción, pues ha hecho grandes esfuerzos para establecer

contratos con las grandes casas proveedoras de dichas vacunas, Pfizer y Astra-Zeneca, con el fin de salvar vidas y recuperar su economía. De acuerdo con [6] el porcentaje para alcanzar la inmunidad de rebaño es del 95 % en la población en general.

Para estudiar la asociación que tiene la vacunación contra el virus SARS-CoV-2 en la recuperación económica, se hará uso de metodologías estadísticas frecuentistas y bayesianas.

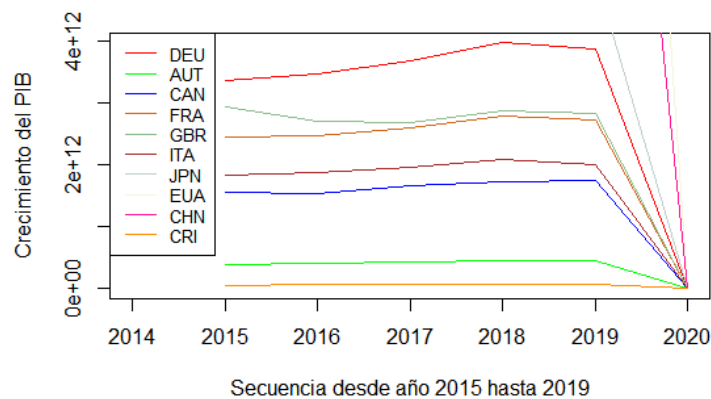


Figura 1: Caída del PIB.

Como ilustración del impacto económico generado por la COVID-19 [4] detalla que entre Estados Unidos y Europa la pérdida del PIB supera el 8,4 %, lo cual se aprecia en la Figura 1. Latinoamérica incluido Costa Rica presentaron un decrecimiento sostenido, lo cual se aprecia en la Figura 2, elaborado por la CEPAL, se observa que Costa Rica guarda una fuerte asociación con el comportamiento de América Latina.

Dado que el PIB es un indicador que muestra el crecimiento de la economía, es importante analizar qué partes de las que le componen están siendo afectadas positivamente por la vacunación masiva, promoviendo la oferta y demanda de bienes y servicios.

Este estudio consideró los diferentes sectores y subsectores de la economía costarricense que crecen más rápido, además de analizar el PIB a través del IMAE, que contiene todas las actividades productivas. Hay ciertas actividades económicas que han logrado extenderse al mercado internacional como lo menciona [18], esta expansión impulsa de forma positiva el desarrollo.

Es importante mencionar que las empresas de exportación dentro del sector

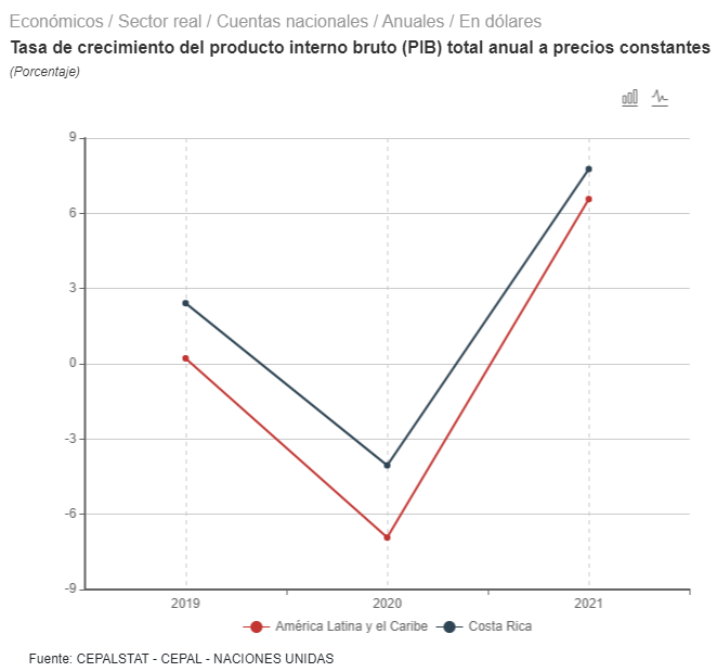


Figura 2: Caída del PIB Latinoamérica.

manufactura, que se encuentran en Zonas Francas, quienes diseñan y producen dispositivos médicos, cuyo sector se conoce como ciencias de la vida, están manteniendo un crecimiento importante y sostenido, al margen de otras actividades económicas. En el año 2021 [2] generaron empleo de forma directa, con mayor rapidez que otras actividades, además por medio de encadenamientos, promueven desarrollo y empleo de forma indirecta.

I.2. Agrupación de Costa Rica y de las economías grandes

Una técnica para observar cómo se agrupan las economías mencionadas anteriormente, es aplicando un Análisis de Componentes Principales como lo propone [27], en este se utilizan los mismos datos que generaron la Figura 1, información del PIB desde el año 2008 hasta el año 2019.

Es visible que Costa Rica se agrupa con China, son economías que presentan una desaceleración sostenida. Por su parte, Japón, Gran Bretaña, Estados Unidos y Canadá conforman una segunda agrupación, y finalmente se observa que Francia, Alemania, Australia e Italia forman el tercer segmento. Lo anterior evidencia que Costa Rica no está en una situación favorable que le facilite el crecimiento económico, por lo que requerirá un mayor esfuerzo para poder reactivar su economía. Ese esfuerzo deberá promover, sin duda alguna, la crea-

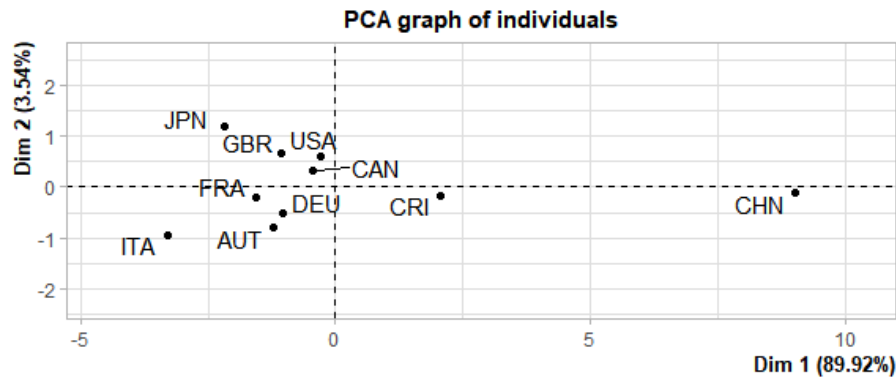


Figura 3: Análisis de Componentes Principales PIB Grandes Economías y Costa Rica.

ción de empleo, lo que hace pensar que este propósito ha de generarse tanto en la economía formal como en la informal. En tiempo de crisis la generación de empleo es un indicador de reactivación económica, lo que implica crecimiento del PIB, tal y como lo menciona [28].

La correlación en la Figura 4 muestra que los años menos asociados son 2011 y 2013, los demás años tienden a tener una correlación importante. Lo anterior indica que hay un equilibrio en la mayoría de años después del 2008. En el lapso posterior a la crisis inmobiliaria generada en Estados Unidos, las economías más grandes lograron recuperarse más rápido que China y Costa Rica, tal y como se observa en las Figuras expuestas al inicio. Las grandes economías no solo lograron recuperarse más rápido sino que previo a la pandemia, se puede decir hasta finales del año 2019, sus economías mantenían un ritmo sostenido de crecimiento [15], impulsado en muchos casos por el desarrollo de las pequeñas y medianas empresas.

I.3. Evolución de la vacunación

Dada las restricciones causadas por la pandemia, las economías urgen del desarrollo de una vacuna que mitigue la crisis actual. Las acciones se han materializado en la fabricación y aprobación en tiempo récord de vacunas como Pfizer Biotech, Moderna, AstraZeneca, Johnson & Johnson, Sputnik V y SI-

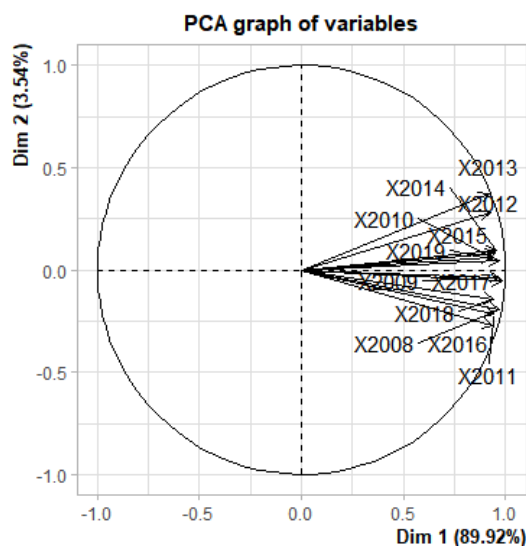


Figura 4: Círculo de Correlaciones.

NOVAC. Costa Rica ha optado por adquirir Pfizer Biotech y AstraZeneca, pues la adquisición de estas es menos compleja. Cabe señalar que al momento de la elaboración de este estudio, la nueva variante denominada Delta, está afectando a gran cantidad de la población mundial, pues se transmite más rápido que otras variantes. No se sabe con certeza si esta variante estaría cubierta con las vacunas antes mencionadas, aunque algunos especialistas afirman que las vacunas previenen la complicación de la salud. En el aspecto de recuperación económica, se espera que esta variante no afecte mayormente [1]. Estados Unidos, reporta que su Producto Interno Bruto ha llegado a valores antes de la pandemia [16], aunque no puede afirmarse que sea como resultado de las campañas de vacunación que ha emprendido. Por su parte Costa Rica espera una recuperación más lenta [9].

Se están haciendo esfuerzos por aproximar la asociación que tiene la aplicación de vacuna en la economía, uno de ellos [20], quien propone la siguiente fórmula que permite identificar la volatilidad de los precios de instrumentos bursátiles en Estados Unidos conforme avanza el proceso de vacunación. En el caso de Costa Rica donde la vacunación es masiva y accesible, se buscó estudiar la asociación entre esta y el PIB, propiamente con el Índice Mensual de Actividad Económica, pues como lo menciona [26], el problema de la economía es primero un problema médico. Para observar los resultados debe tenerse presente el problema de abastecimiento de las vacunas, dado que los gobiernos de todos los países lucharon por obtener la mayor cantidad de vacunas posibles para su población, para inmunizar inicialmente a las poblaciones más vulnerables

y proseguir con las menos vulnerables [19]. La información de vacunación en el mundo ha sido tomada de [14], fuente que se mantiene actualizada conforme avanza el proceso en el planeta. Se debe tener presente que lo que se buscó con la vacunación es el levantamiento de las restricciones [7] de movilidad y accesibilidad para los agentes económicos, entendiendo como agentes económicos al consumidor, los negocios grandes, medianos y pequeños.

$$Vol = \alpha + \beta * Vac_{i,t-1} + \Gamma' * Con_{i,t-1} + \Lambda' * Wek_{i,t} + \xi_{i,t} \quad (2)$$

donde Vol = Volatilidad, Vac = Vacunación, Con = Controles, y Wek = Día de la semana.

Son los primeros intentos por lograr aproximar el mejor ajuste del efecto de la vacuna sobre las economías, no obstante, los estudios no son concluyentes, pues se requiere más información que no está disponible y mayor cantidad de tiempo para entender otros factores que benefician el comportamiento económico.

En relación con la vacunación, en la Figura 5 se presenta la evolución de los primeros 120 días de la vacunación en Costa Rica, donde se observó un crecimiento exponencial, se esperaba que continuara con esa tendencia, para lo cual será necesario contar con el abastecimiento suficiente y la disposición de la población para vacunarse. En este gráfico se aprecia un crecimiento de la vacunación lento los primeros días y luego es exponencial, esto debido al acceso y logística para traer las vacunas al país.

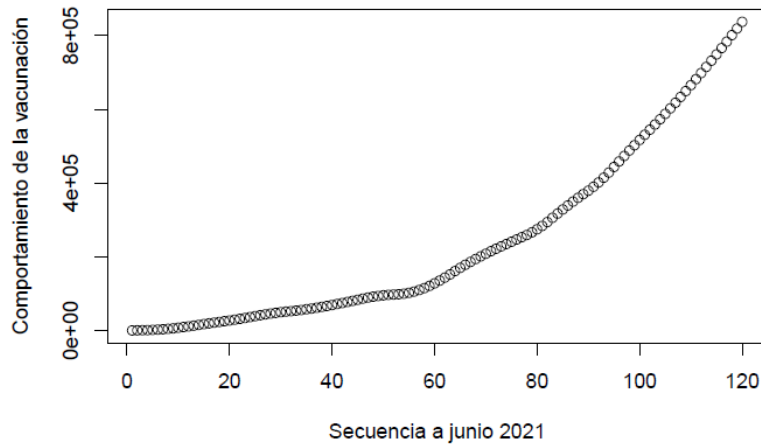


Figura 5: Comportamiento de vacunación en Costa Rica.

I.4. Correlación vacunas y el empleo

Para conocer el grado de asociación que existió entre vacunación y el empleo, se decide usar la tasa de cambio mensual, también conocida como retorno, que se calcula por la siguiente fórmula:

$$R_1 = \frac{v_t - v_{t-1}}{v_{t-1}} \quad (3)$$

En la siguiente tabla se presentan los retornos de los 10 primeros días, la razón es porque el retorno permite establecer ambas variables en una sola unidad de medida, de forma que la comparación sea la relación de los cambios de ambas variables.

Día	Vacunación	Empleo
1	0	0
2	1	1,039705
3	0,5	0,494191
4	0,575	0,316311
5	0,518518	0,260432
6	0,443089	0,200173
7	0,37706	0,161296
8	0,324063	0,14341
9	0,30553	0,13219
10	0,380331	0,10444

Cuadro 1: Retornos IMAE y vacunación.

La correlación entre los retornos de la vacunación y el empleo es alta, con un valor de 92,92 %, lo cual podría demostrar el impacto positivo que tuvo la vacunación en variables macroeconómicas, si la correlación no es espuria. A continuación se muestra la figura de la correlación entre las variables mencionadas y su transformación. Además se analizan la relación con otras variables: Acumulado de Vacunación, Retorno Empleo, Empleo y Vacunados.

Es posible observar el grado de correlación que mantienen las variables que se derivan de la creación de empleos y del avance de la vacunación, usando los retornos. De esta forma se puede resaltar la importancia de este estudio, pues claramente existe correlación entre ambas variables que podrá ser analizada. Se resalta que el IMAE se mide mensualmente, hay un rezago de 21 días desde su captura hasta la publicación, esto a diferencia de la vacunación, pues es un indicador que se lleva de forma diaria.

I.5. Objetivo general

Identificar si existe asociación entre la vacunación contra la COVID-19 y el IMAE

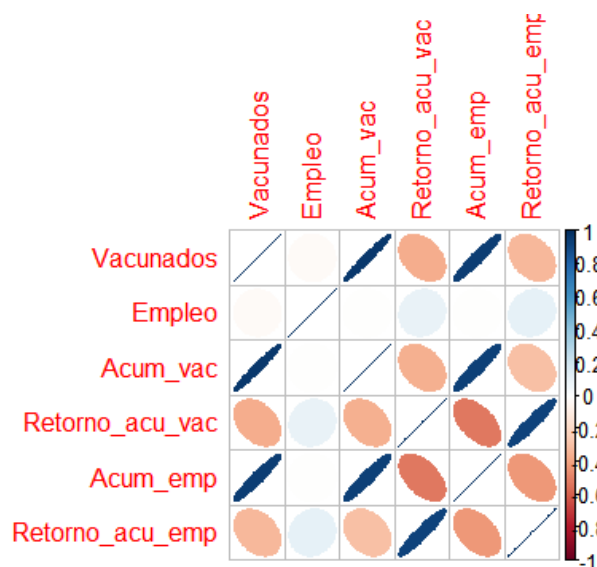


Figura 6: Correlación de Retornos Empleo y Vacunación, transformación.

1.2.1 Objetivos específicos

- Interpretación descriptiva de la posible asociación de los datos epidemiológicos de la COVID-19 y las variables económicas que se espera sean impactadas por la vacunación contra este virus.
- Ajustar el comportamiento del IMAE usando como variable explicativa la vacunación contra la COVID-19.
- Ajustar la generación de empleo como consecuencia del comportamiento del IMAE.

I.6. Cronograma de investigación

Fecha	Actividad
30/8/2021	Proponer las variables independientes además del avance de la vacunación
15/9/2021	Definir el método de asociación entre las variables
30/12/2021	Desarrollar y presentar las pruebas de métodos de pronóstico
15/01/2022	Mejorar los métodos de pronóstico
28/02/2022	Valorar los resultados obtenidos y proponer mejoras
28/08/2022	Redactar el proyecto de graduación
29/09/2022	Presentar y defender el proyecto de graduación

Cuadro 2: Cronograma de Investigación.

II. Análisis descriptivo de las variables de empleo, IMAE y vacunación

Se desarrolla un análisis descriptivo de la asociación de las variables consideradas para este trabajo, a saber: IMAE, EMPLEO, CONSUMO y VACUNACIÓN. Cabe destacar que el análisis se realizó bajo un enfoque frecuentista usando series de tiempo y ajustando los datos.

II.1. Variables propuestas

Con base en la información suministrada por el Instituto de Estadística y Censos de Costa Rica, se ha obtenido el comportamiento del empleo formal e informal. Así mismo del Banco Central de Costa Rica se extrae la información del comportamiento del IMAE del año 2021. Se ha estructurado una tabla de datos que facilite observar la correlación entre las diferentes variables de empleo formal e informal versus la vacunación en Costa Rica. Los datos son desde enero 2021 hasta julio 2021, se presentan los primeros cinco meses, aunque se consideran siete.

emp.acu.ccsc = empleo acumulado formal general
 emp.acu.no.ccsc = empleo acumulado informal general
 emp.ind.acu.ccsc = empleo sector industrial acumulado formal
 emp.in.acu.no.ccsc = empleo sector industrial acumulado no formal
 emp.ind.manuf = empleo acumulado sector industrial manufactura
 imae.2021 = índice mensual de actividad económica del 2021
 imae.ind.manuf = índice mensual de actividad económica sector industrial

Variable	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
emp.acu.ccsc	1117859	1129380	1123432	1156654	1157283
emp.acu.no.ccsc	310170	308908	313099	298441	294979
emp.ind.acu.ccsc	231163	225314	224616	223456	229799
emp.ind.acu.no.ccsc	291521	298437	297054	301878	279684
emp.ind.manuf	146101	134731	150555	147424	147027
imae.2021	97,2	99,7	107,3	102,2	104,9
imae.ind.manuf	108,8	114,6	126,0	107,3	114,8

Cuadro 3: Variables propuestas.

Se observa que algunas variables tienen una correlación importante, no obstante, se decide analizar la correlación de la movilidad con las variables epidemiológicas, a saber: Vacunación, Nuevos Casos, Casos Totales, Restricciones y Muertes, generando una hipótesis de asociación lineal, tal cual se presentará en las fórmulas descritas más adelante, esto con el fin de observar si el tratamiento que se hace a la pandemia en general, logra asociarse con el comportamiento

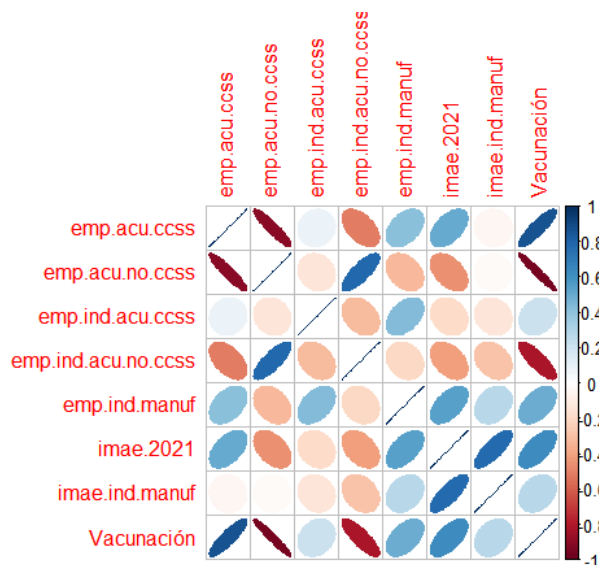


Figura 7: Correlación Empleo vs Vacunación.

del IMAE, si es posible ajustar este macro indicador con las variables epidemiológicas y la movilidad que presenta Facebook es sus estadísticas disponibles, teniendo presente que la movilidad está sujeta las restricciones impuestas, o bien, en su defecto eliminación parcial o total de estas. Esto demanda una mayor búsqueda de información, que no es fácil de obtener, por ejemplo para el caso de las restricciones se deberá trabajar bajo supuestos usando la información disponible de la flotilla vehicular disponible en el año 2019, calculando una tasa de crecimiento sostenida, tal cual ha sido el comportamiento de los últimos años en Costa Rica. Los datos de vacunación, total de casos, nuevos casos y total muertes han sido tomados de la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS).

Con los datos desde marzo a agosto del año 2021, se observa que estas correlaciones en su mayoría son altas, por lo que se utilizarán para encontrar la asociación entre vacunación y movilidad. El paso posterior, será estudiar la asociación entre movilidad y consumo.

II.2. Ajuste Movilidad por Vacunación

Usando los datos de movilidad recopilados por Facebook, que se concentra sobre todo en visitación a tiendas, versus la vacunación diaria en Costa Rica, es posible ajustar los datos por series de tiempo y observar su comportamiento. El ajuste tiende a ser muy preciso. Esto quiere decir que a mayor cantidad de vacunados, las restricciones se suavizan, aumentando el intercambio de bienes y servicios en los agentes económicos. Permite inferir que el consumo regresó a un

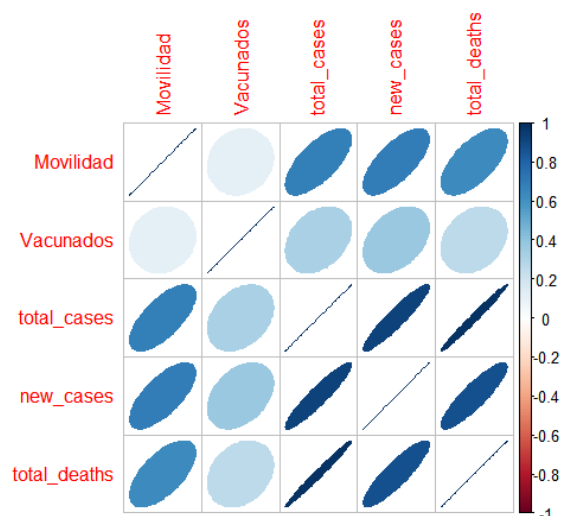


Figura 8: Correlación Movilidad vs Vacunación y variables epidemiológicas

punto de equilibrio según se eliminaron las restricciones gracias a la vacunación; es decir, la economía se recalienta con la vacunación masiva. Para lograr este resultado es necesario que tanto la vacunación como la movilidad se comporten como series de tiempo, por lo que hay que ajustarlas y usar transformación estacional. Importante mencionar que ambas variables tienen una captura diaria, lo que facilita su asociación, también importante mencionar que tanto Google como Facebook reportan información sobre movilidad, que se mide en forma diferente, en el caso de Google se fija una fecha de visitación sin restricciones, luego se mide el cambio, como hay menos movilidad esta variable se presenta negativa, lo que implica la disminución de personas hacia los diferentes comercios del país, téngase presente que a menos consumo, la economía sufre desaceleración. Se ajusta el comportamiento de la movilidad por vacunación comportamiento con 80 % y 95 %. Se observa en Figura 9.

Se nota que el ajuste tiende a ser muy preciso, lo que describe bien que la movilidad puede ser calculada con base en la vacunación. Esto da un mayor estímulo para analizar que método puede ser útil para asociar las variables epidemiológicas con el comportamiento de la economía. Es menester mencionar que para que lo anterior fuese posible, es necesario transformar los datos a series temporales, tanto la vacunación como la movilidad. Estas últimas se observan en las Figuras 10 y 11.

El propósito de hacer ajustes es lograr que los datos tengan un comportamiento que permita proyectar con grado de seguridad, los datos de la pandemia no tienen un comportamiento regular dado que están sometidos a muchas variables como la disponibilidad de vacunas y la voluntad de las personas por

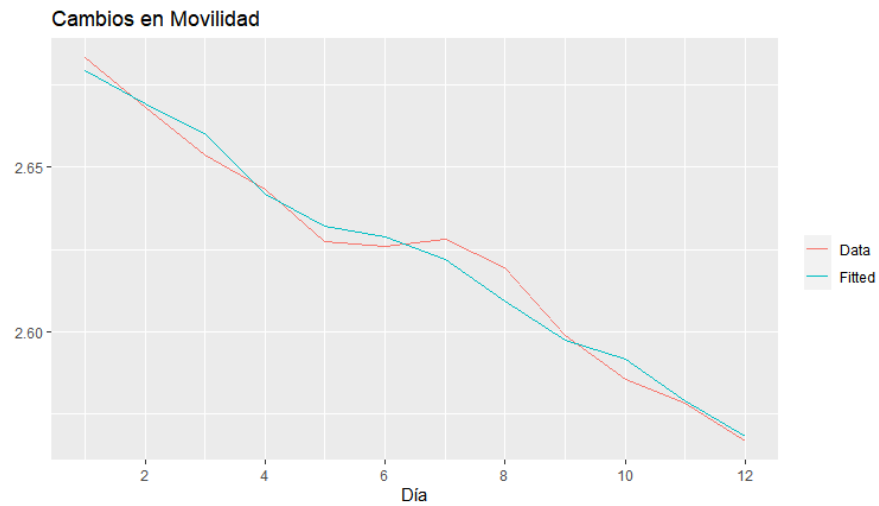


Figura 9: Proyección Movilidad sobre Vacunación.

cuidarse y respetar las medidas de restricción impuestas para salvaguardar su propias vidas. Algunos economistas han manifestado su oposición clara respecto a las medidas de restricción, pues tiene un efecto directo en el comportamiento económico, el consumo cae y se provoca una desaceleración importante. Por su parte el Ministerio de Salud de Costa Rica ha preferido la salud de la población por encima de la salud económica.

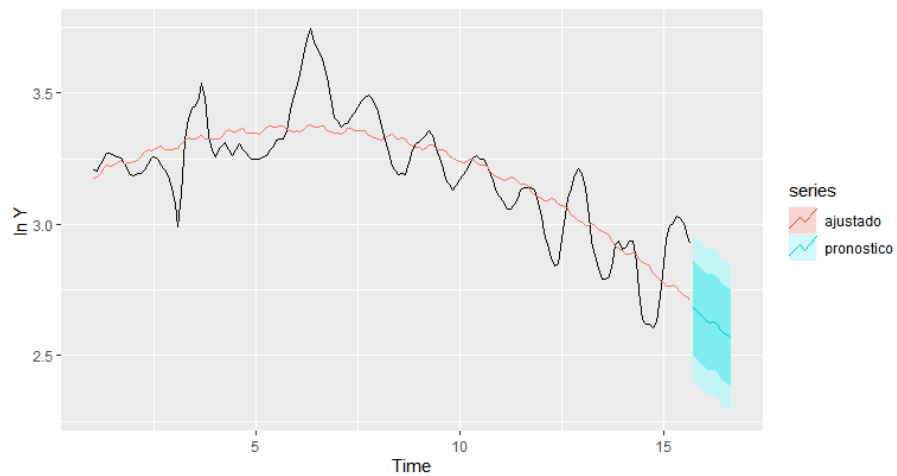


Figura 10: Serie temporal Movilidad.

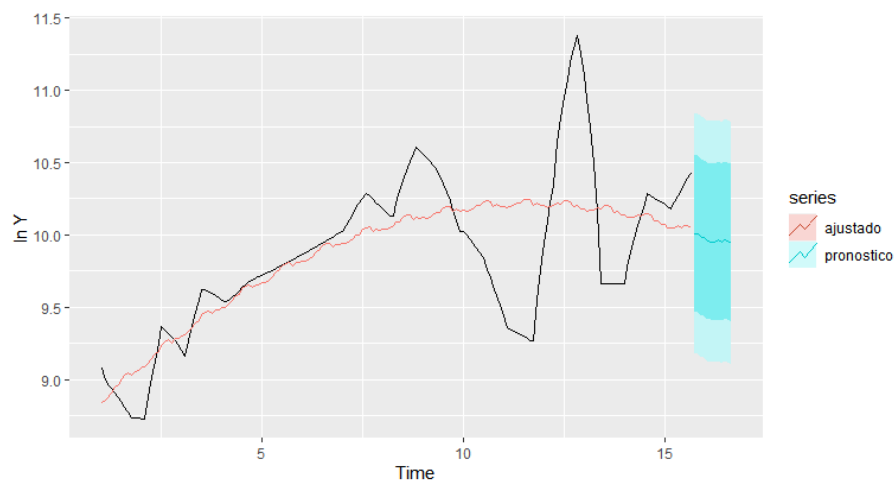


Figura 11: Serie Temporal Vacunación.

Es necesario así mismo lograr la transformación a series temporales de los casos totales y los nuevos casos de COVID, la bondad es que elimina tanta irregularidad que distorsiona la proyección, esto se observa en las Figuras 12 y 13. Las Figuras facilitan observar una proyección en el corto plazo, al 80% y 95% de confianza. Las series que se probaron son ARIMA y ARMA, se escogieron aquellas que presentaron mejor ajuste, sin perder la tendencia, lo cual es importante para la proyección frecuentista.

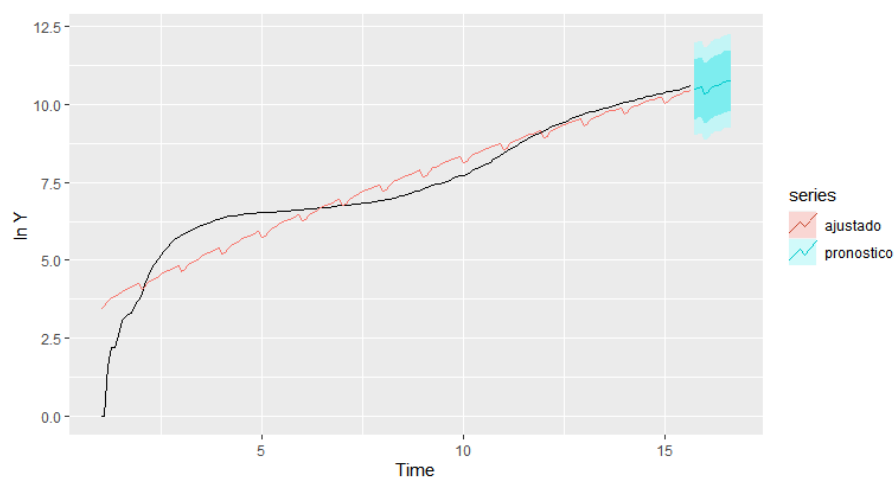


Figura 12: Serie Temporal Total Casos.

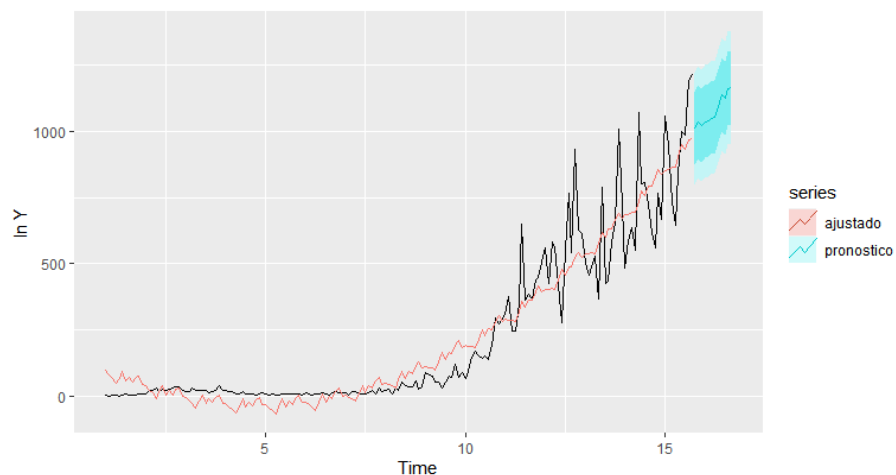


Figura 13: Serie Temporal Nuevos Casos.

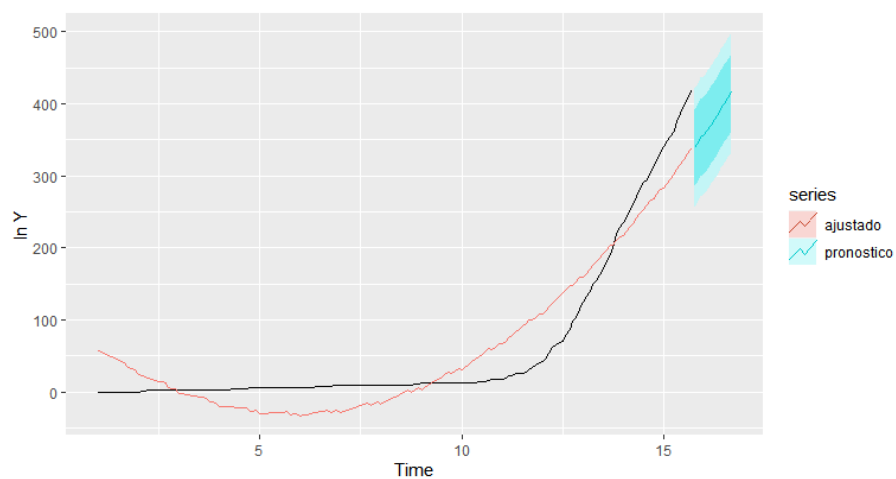


Figura 14: Serie Temporal Muerte.

Las muertes por causa de la pandemia constituyen una variable de estudio, que al igual que las variables anteriores, se ajustan por series de tiempo, también para observar estacionalidad y tendencia, permitiendo proyectar en el corto plazo, de acuerdo con [21] y [25]. Se ajusta la proyección al 95 % y 80 %. Así se observan las probabilidades de que cada uno de los escenarios se cumplan, estos en color turquesa y celeste, el valor esperado en rojo. Se usa este método para describir el comportamiento de los datos, que es uno de los objetivos.

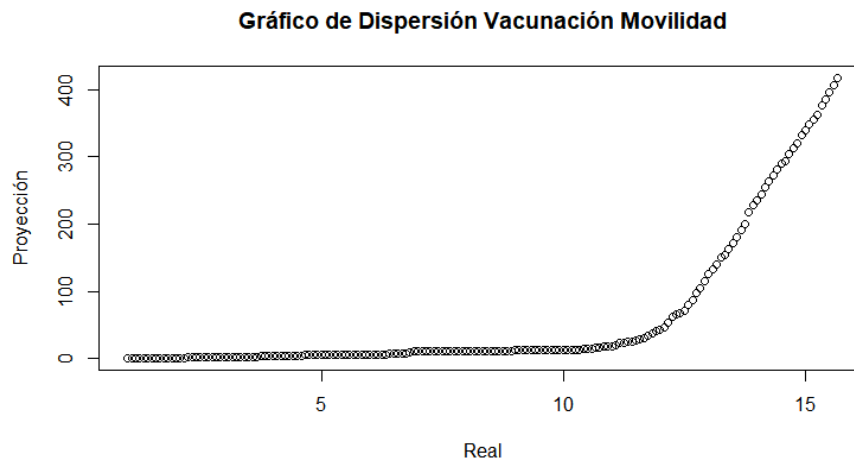


Figura 15: Dispersión Movilidad por Vacunación.

La dispersión se concentra mayormente en las fechas finales de vacunación y movilidad.

II.3. Ajuste Consumo por Movilidad

Basándose en los datos emitidos por el Ministerio de Hacienda de Costa Rica respecto al impuesto, ha sido posible calcular el gasto o consumo de la población costarricense, tomando en cuenta el 13 % que se paga por valor agregado. Se estima, por lo tanto, que a mayor movilidad mayor consumo, en el entendido que las personas visitan más sitios de compra para satisfacer sus necesidades, tales como supermercados, carnicerías, tiendas y farmacias. Para esto es necesario tener presente que la vacunación suavizó las restricciones, permitiendo más movilidad y aumento el consumo. El ajuste se observa en la Figura 16. Al igual que se hizo con los datos anteriores, es necesario transformar los datos a series temporales, manteniendo la tendencia y agregando estacionalidad con el fin mismo de poder ajustar un comportamiento del gasto de la población costarricense. Este ajuste permite en forma muy precisa observar que el consumo (gasto) se aumenta conforme se eliminan las restricciones de movilidad en las diferentes provincias, cantones y distritos de Costa Rica, según avanzó el tiempo y según los resultados epidemiológicos el Gobierno de Costa Rica suavizó y en ocasiones aumentó las restricciones, por supuesto, con el fin de evitar que la pandemia causara más muertes, esta acción en economía tiene el nombre de costo de oportunidad, el costo que paga la economía por proteger la salud de los costarricenses, algunos economistas le llaman 'enfriar' la economía, por lo cual también se habla de que una vez se suavice o elimine las restricciones, la economía por sí misma va a 'recalentar'.

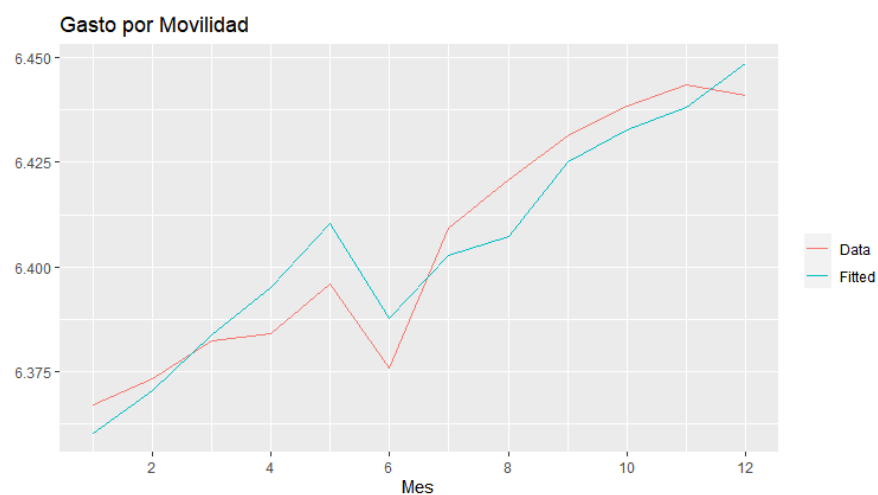


Figura 16: Proyección Consumo por Movilidad.

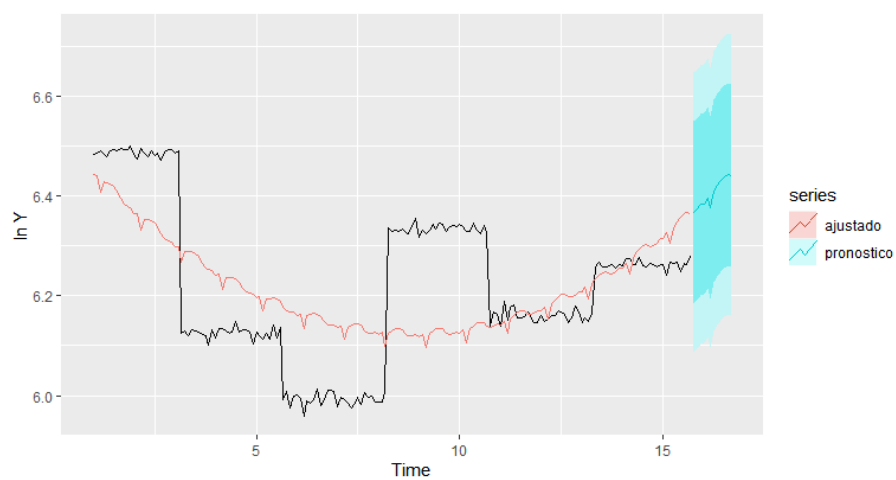


Figura 17: Serie Temporal Consumo.

Dentro de los variables que se consideraron se tomó al gasto o consumo en combustible, que no deja de ser una variable interesante y se suma al consumo en general, se ha sostenido por mucho tiempo que el gasto en combustible no es elástico, no obstante en la Figura 18, se observa el decrecimiento, sobre todo si se transforman los datos a series temporales. Por supuesto lo expuesto anteriormente deja ver que las restricciones han afectado el consumo de un bien que se consideraba invariable.

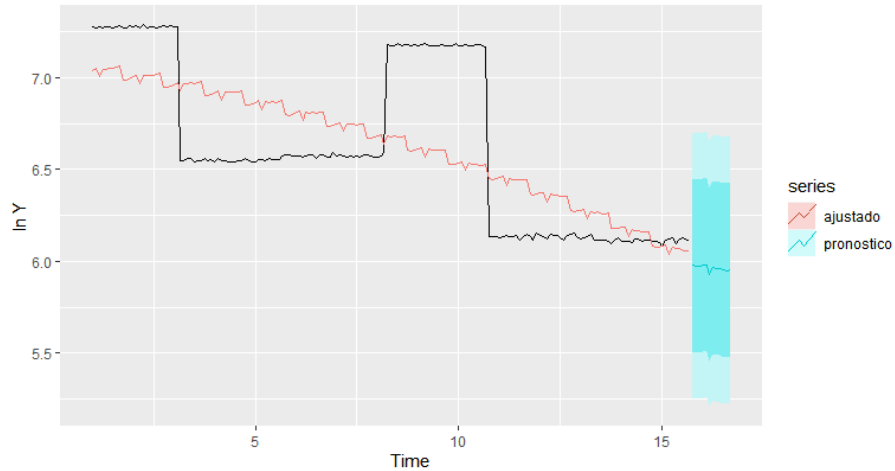


Figura 18: Serie Temporal Combustible.

II.4. Ajuste Movilidad basándose en Vacunación

Con los datos de Google es posible concluir que efectivamente existe una relación entre la vacunación y el comportamiento de los agentes económicos, propiamente en consumo y movilidad tomada de Google, lo que respalda el desarrollo de esta investigación. El ajuste se hace tanto en movilidad por transporte público como para recreación y venta minorista (Vea Figuras 19 y 20).

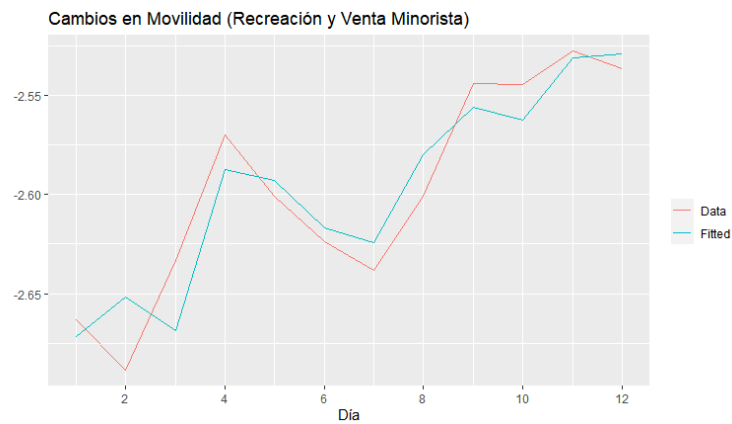


Figura 19: Movilidad Recreación y Venta Minorista por Vacunación.

El ajuste de la movilidad en transporte público por vacunación no es muy

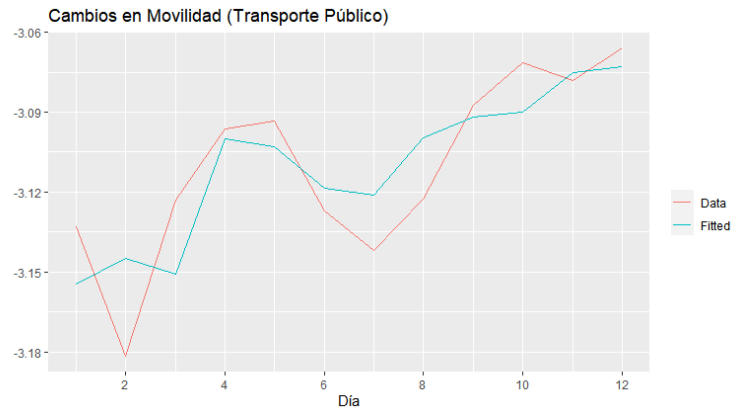


Figura 20: Movilidad Transporte Público por Vacunación.

preciso, pero sostiene la tendencia y aproxima bien la estacionalidad, es una señal de que la vacunación permite la suavización de las medidas de restricción, posiblemente al disminuir los decesos por causa de la COVID-19, así como las hospitalizaciones, lo anterior no se puede determinar la ciencia cierta, pues es el Ministerio de Salud quien definió a puerta cerrada cuándo y dónde se suavizaron las restricciones.

III. Análisis de la asociación entre la vacunación y el IMAE

Se genera la siguiente hipótesis que describe la relación lineal entre la vacunación y el IMAE, primero se ajustará los datos epidemiológicos para calcular la Movilidad y luego sobre esta se ajusta el Índice Mensual de Actividad Económica.

$$M = \beta_0 + \beta_1 * V + \beta_2 * R + \beta_3 * H + \epsilon \quad (4)$$

donde,

M = Movilidad

V = Vacunación

R = Restricción Vehicular

H = Hospitalizaciones

ϵ = Error

$$IMAE = \alpha_0 + \alpha_1 * M + \epsilon_2 \quad (5)$$

donde,

IMAE = Índice Mensual de Actividad Económica
M = Movilidad
 ϵ_2 = Error

III.1. Método Monte Carlo Markov Chain

MCMC Monte Carlo Markov Chain [12], es una metodología a la que le ha tomado cuarenta años entrar en la cadena principal de la estadística. Un concepto que tiene como base la estadística Bayesiana. Determinando D como los datos observados, Φ como los parámetros del modelo, se tiene que,

$$P(D, \Phi) = P(D|\Phi)P(\Phi) \quad (6)$$

Si se quiere encontrar la distribución de Φ , dado D , entonces se tiene,

$$P(\Phi, D) = \frac{P(\Phi)P(\Phi|D)}{\int P(\Phi)P(\Phi|D)d\Phi} \quad (7)$$

La esperanza posterior de $f(\Phi)$ por inferencia Bayesiana es,

$$E[f(\Phi), D] = \frac{\int f(\Phi)P(\Phi)P(\Phi|D)d\Phi}{\int P(\Phi)P(\Phi|D)d\Phi} \quad (8)$$

La integración de Monte Carlo se aproxima bien generando muestras $X_t, t = 1, \dots, n$ de $\pi(\cdot)$

$$E[f(\Phi), D] \simeq \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(X_t) \quad (9)$$

La media poblacional es estimada por una media aleatoria.

En el caso de Markov Chain se genera una secuencia de variables aleatorias $(X_0, X_1, X_2, \dots, X_n)$, de forma tal que en cada momento $t > 0$, el siguiente estado X_{t+1} , es una muestra de la distribución $P(X_{t+1}|X_t)$, donde se utiliza el algoritmo de Metropolis-Hastings.

La transición Kernel de Markov Chain está dada por,

$$P(X_{t+1}|X_t) = q(X_{t+1}|X_t)\alpha(X_{t+1}|X_t) + I(X_{t+1} = X_t)[1 - \int q(Y|X_t)\alpha(X_t, Y)dY] \quad (10)$$

donde $Y = X_t$ si X_t es aceptado como el candidato siguiente. $\alpha(X, Y)$ es la probabilidad tal que,

$$\alpha(X, Y) = \min\left(1 - \frac{\pi(Y)q(X|Y)}{\pi(X)q(Y|X)}\right) \quad (11)$$

donde q es la distribución propuesta y π es la distribución estacionaria de la cadena.

En la inferencia Bayesiana, es habitual resumir la distribución posterior $\Pi(\cdot)$ en términos de medias, desviaciones estándar, correlaciones, intervalos creíbles y distribuciones marginales para los componentes $X(i)$ de interés, usando salidas de Monte Carlo, este es un ejemplo de media y varianza marginal:

$$\bar{X}_{.i} = \frac{1}{n-m} \sum_{t=m+1}^n X_{t,i} \quad (12)$$

$$S_{.i}^2 = \frac{1}{n-m-1} \sum_{t=m+1}^n (X_{t,i} - \bar{X}_{.i})^2 \quad (13)$$

III.2. Resultados de aplicación por método de MCMC para Movilidad

Pese a la enorme dificultad que existe en Costa Rica para acceder a los datos expuestos en las Ecuaciones (4) y (5), se procede a construir dicha información con las fuentes existentes y bajo supuestos. Para el caso de la restricción vehicular, que es la variable más complicada de localizar, el cálculo se fundamenta en la información suministrada por el estudio denominado Estado de la Nación [10]. En el año 2019, el parque automotriz de Costa Rica alcanzó la cifra de 1.752.813 vehículos, desde el año 1980 hasta el año 2019 se calculó que el promedio de crecimiento anual es del 0,06, considerando que en el año 2020 se contrajo el PIB, tal y como se explicó en el apartado inicial. Se predice que el crecimiento de este año es cero, mientras que para el 2021, se aplicó nuevamente el crecimiento promedio, lo que arroja la cifra de 1.857.982 vehículos. Bajo el supuesto que el orden de las placas terminadas desde 0 hasta 9 tiene una distribución uniforme, se calculó que 1.486.385 vehículos se movilizan de lunes a viernes, mientras que los fines de semana se movilizan 928.990 vehículos. De acuerdo con el Estado de la Nación, los vehículos se desplazan en promedio 50 kilómetros por día, por su parte las motocicletas se desplazan 37 kilómetros por día, esto implica que cada vehículo por día circula en promedio 1,25 horas, estimando una velocidad promedio de 40 k/h. Cabe agregar que el resto de vehículos entre los que se encuentran: mercancías, autobuses y taxis, no tienen restricción, salvo en los de mercancías que transitan en altas horas de la noche y madrugada. Basándose en los datos aproximados, se puede decir que los automóviles sometidos a restricción representan 0.4951, es decir casi la mitad de los vehículos que circulan por las carreteras costarricenses. El resultado de la cifra implica que los vehículos sometidos a restricción son 455.462, el 0,20 no circula algún día de lunes a viernes, en cifras representan 91.092. Este último dato implica una restricción diaria de 113.865 horas, por lo tanto los fines de semana solo circula el 0,50 el día sábado y el otro 0,50 el día domingo, lo que representa un total de 574.945 horas de restricción. Bajo el supuesto que solo una persona viaja por vehículo, el dato de personas con restricción es de 91.092, mientras que si el supuesto se eleva a dos personas por vehículo, se calculó que las personas restringidas serían 182.184 por día de lunes a viernes; mientras que los fines de semana la restricción afectaría a 919.912 personas, bien sea los días sábados o domingos,

se utilizará el valor logarítmico de esta cifra como la variable de las restricciones.

En relación con la información de hospitalizados, esta se tomó de los datos que emite la CCSS, lo mismo que se hizo con el comportamiento de la vacunación en Costa Rica.

Aplicando MCMC usando el paquete MCMCpack en R, se calculan los coeficientes y sus rangos.

```

Iterations = 1001:11000
Thinning interval = 1
Number of chains = 1
Sample size per chain = 10000

1. Empirical mean and standard deviation for each variable,
   plus standard error of the mean:

              Mean          SD Naive SE Time-series SE
(Intercept)   1.916e+00  1.330e+00  1.330e-02    1.330e-02
Hospitalizaciones -1.503e-01  1.552e-02  1.552e-04    1.552e-04
Restriccion_veh -6.282e-06  2.709e-06  2.709e-08    2.568e-08
Vacunados      5.200e-04  4.424e-05  4.424e-07    4.540e-07
sigma2         1.263e+02  9.439e+00  9.439e-02    9.728e-02

2. Quantiles for each variable:

              2.5%          25%          50%          75%          97.5%
(Intercept)  -6.402e-01  1.014e+00  1.923e+00  2.800e+00  4.599e+00
Hospitalizaciones -1.811e-01 -1.609e-01 -1.503e-01 -1.399e-01 -1.203e-01
Restriccion_veh -1.166e-05 -8.049e-06 -6.277e-06 -4.463e-06 -1.060e-06
Vacunados      4.346e-04  4.901e-04  5.199e-04  5.499e-04  6.072e-04
sigma2         1.092e+02  1.197e+02  1.258e+02  1.324e+02  1.460e+02

```

Figura 21: Aplicación de Monte Carlo Markov Chain.

III.3. Ajuste de la Movilidad por MCMC

Rangos de confianza de los coeficientes para Movilidad

Con un 95 % de confianza se tienen los siguientes rangos de los coeficientes:

Coefficiente	Mínimo	Máximo
Intersección	-44,665017	-14,7209995
Hospitalizados	-9,592014	-7,6520636
Restricciones	-2,623249	-0,4947886
Vacunados	7,866295	9,5355154
Sigma	61,976299	82,8302668

Cuadro 4: Rango de confianza de coeficientes.

En las Figuras 22 y 23, se observa la distribución aproximada de los coeficientes, la idea es tratar de prever la distribución posterior que tendrá cada coeficiente, usando simulación Monte Carlo y Matrices de Transición. Note que las distribuciones son normales en su generalidad, en forma puntual, los coeficientes con mayor probabilidad son los que están cercanos al centro, se debe considerar que las probabilidades no son las mismas para cada coeficiente, el resumen por lo tanto se hará usando una distribución acumulada de los parámetros. Se observa la densidad del intercepto, de las hospitalizaciones, de las restricciones, de los vacunados y del error. Se procede con una 'caminata' por los parámetros con el fin de seleccionar aquellos que ajusten mejor su valor al final de cada mes.

Al utilizar los métodos Bayesianos lo que se busca es establecer una distribución a priori para luego calcular una distribución posterior de cada coeficiente que ese está asociando con la variable dependiente, la media esperada de cada valor bajo una buena simulación, en este caso Monte Carlo, permite proyectar los valores que ofrecen un mejor ajuste, así como su probabilidad puntual. La idea de acumular la probabilidad es presentar los cinco diferentes escenarios que se encuentra bajo las probabilidad de 97,5 % acumulada. Se realizó el ejercicio de proyectar ajustar cada escenario en forma independiente pero los resultados no fueron muy precisos, por lo cual se decidió hacer una 'caminata' por los valores buscando en cada coeficiente aquellos que tienen mayor probabilidad. Téngase presente que cada coeficiente tiene su propia distribución posterior. Lo anterior supuso un mayor esfuerzo de programación en R que es la herramienta estadística que se utiliza para este estudio.

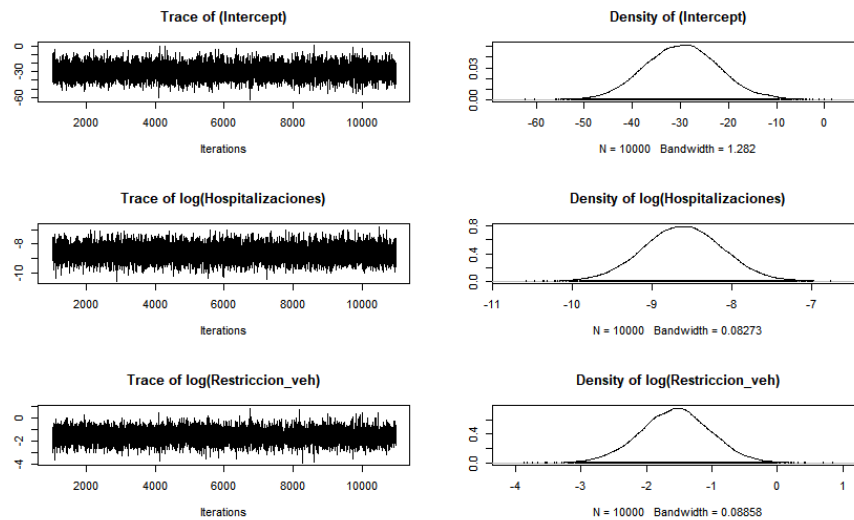


Figura 22: Coeficientes para Movilidad Ajustada.

Esta es una muy buena aproximación a los valores más probables en cada

coeficiente.

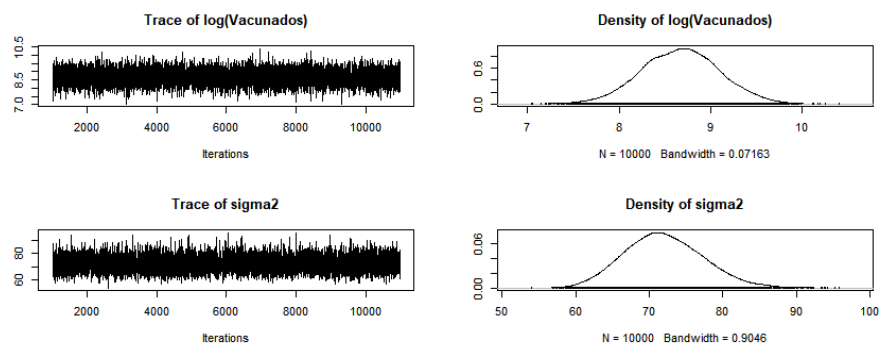


Figura 23: Coeficientes para Movilidad Ajustada.

Para los coeficientes de vacunados y movilidad las distribuciones también son normales, no perfectas, logran un buen ajuste aunque sus probabilidades difieran, por ello es importante resaltar que las probabilidades cambian de un coeficiente a otro. En las Figuras de trazabilidad es posible ver la simulación que realiza el método manteniéndose dentro de los rangos proyectadas usando matrices de transición.

Mes	Hospital	Restricción	Vacunados	Sigma	Real	Ajustado
Enero	-8,792014	-0,523249	8,866295	80,9763	9	9,000051
Febrero	-8,492014	-1,423249	8,666295	77,7763	4	4,000016
Marzo	-7,992014	-1,923249	9,366295	64,1763	-19	-19,000000
Abril	-8,192014	-0,523249	8,366295	77,0763	-2	-2,000002
Mayo	-7,892014	-1,023249	7,966295	79,7763	-2	-1,999977
Junio	-8,592014	-0,723249	9,466295	82,6763	3	2,999956
Julio	-9,292014	-1,023249	9,466295	78,2763	-5	-5,000002
Agosto	-8,092014	-1,523249	8,766295	81,9763	-9	-8,999997
Setiembre	-7,992014	-1,423249	8,466295	79,2763	-4	-3,999987
Octubre	-8,192014	-0,823249	8,266295	62,7763	-10	-10,000003
Noviembre	-9,592014	-2,623249	9,466295	62,5763	-23	-22,998409
Diciembre	-8,392014	-2,523249	7,966295	63,2763	-16	-16,000000

Cuadro 5: Ajuste movilidad con vacunación diaria.

En las tablas anteriores se observa que hay mayor precisión con la vacunación diaria, pero el Sigma tiene mayor dispersión, mientras que con la vacunación acumulada se pierde precisión en el mes de enero, pero el Sigma logra menor dispersión.

Mes	Hospital	Restricción	Vacunados	Sigma	Real	Ajustado
Enero	-5,392164	0,500115	5,351116	59,60793	9	5,853444
Febrero	-5,692164	-1,000115	4,951116	59,40793	4	3,999834
Marzo	-6,592164	-2,000115	5,151116	53,70793	-19	-18,999860
Abril	-5,392164	-0,500115	4,651116	56,40793	-2	-2,000014
Mayo	-5,792164	-0,500115	5,151116	56,30793	-2	-2,000096
Junio	-5,392164	-0,600115	4,851116	59,20793	3	2,999256
Julio	-6,892164	-0,600115	5,351116	56,20793	-5	-5,000002
Agosto	-5,792164	-1,100115	5,151116	57,70793	-9	-9,000062
Setiembre	-5,992164	-0,500115	4,951116	52,30793	-4	-3,999865
Octubre	-5,592164	-1,700115	5,151116	54,70793	-10	-10,000159
Noviembre	-6,892164	-2,200115	4,651116	44,60793	-23	-21,041633
Diciembre	-5,492164	-2,100115	4,651116	44,60793	-16	-16,000721

Cuadro 6: Ajuste movilidad con vacunación acumulada.

IV. Ajuste del IMAE

Usando la movilidad obtenida del ejercicio anterior se busca ajustar el Índice Mensual de Actividad Económica, el cual se publica mensualmente, siempre usando la metodología Monte Carlo Markov Chain con el uso de la librería MCMCpack en R.

```

Iterations = 1001:11000
Thinning interval = 1
Number of chains = 1
Sample size per chain = 10000

1. Empirical mean and standard deviation for each variable,
plus standard error of the mean:

      Mean      SD Naive SE Time-series SE
(Intercept)  4.671790 0.001992 1.992e-05    1.992e-05
M            -0.003514 0.000147 1.470e-06    1.470e-06
sigma2       0.001413 0.000106 1.060e-06    1.060e-06

2. Quantiles for each variable:

      2.5%      25%      50%      75%      97.5%
(Intercept)  4.667888  4.670453  4.671803  4.673126  4.675701
M            -0.003800 -0.003614 -0.003513 -0.003415 -0.003227
sigma2       0.001219  0.001339  0.001408  0.001481  0.001633

```

Figura 24: Aplicación de Monte Carlo Markov Chain para IMAE.

Se nota que la media entre ellos es cercana a cero lo que quiere decir que

efectivamente ajustar el IMAE por movilidad es una hipótesis que no se descarta, se logra un ajuste muy preciso. Esto no quiere decir que no existan variables latentes en medio, no obstante su efecto es bien capturado por el método Bayesiano. Es necesario tener presente que los valores de las variables se transformaron por medio de la función logarítmica neperiana, que es una función creciente y representa bien el comportamiento de las variables, eliminando su forma exponencial. Al igual que en el ejercicio para calcular la movilidad la distribuciones de los coeficientes son normales, no perfectas, y su probabilidad se basa en la rastreo que realiza el método de simulación Monte Carlo, de forma que cada coeficiente tiene su propia distribución posterior, asumiendo una distribución previa, bajo la estadística Bayesiana. En la Figura 25 se observa la distribución de los coeficientes.

Coefficiente	Mínimo	Máximo
Intersección	4,667839576	4,675620741
Movilidad	-0,003802105	-0,003231156
Sigma	0,001213452	0,001624872

Cuadro 7: Rangos de confianza para IMAE.

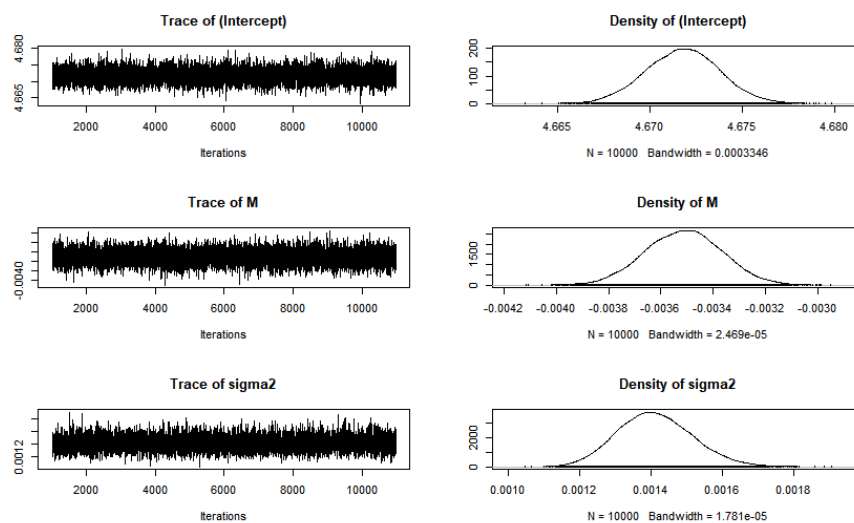


Figura 25: Coeficientes Ajuste del IMAE.

Mes	IMAE Real	IMAE Ajustado
Enero	4,539015	4,638636
Febrero	4,669214	4,669053
Marzo	4,705488	4,741293
Abril	4,627910	4,676657
Mayo	4,642173	4,676657
Junio	4,671274	4,657647
Julio	4,694349	4,688064
Agosto	4,657668	4,703272
Setiembre	4,674253	4,684261
Octubre	4,708844	4,707074
Noviembre	4,775117	4,756501
Diciembre	4,791653	4,729887

Cuadro 8: Ajuste del IMAE

El ajuste del IMAE según el cuadro 8 se logra con una muy alta precisión, se aplicó una “caminata” por los parámetros escogiendo aquellos que minimizaron el error cuadrático.

V. Asociación del IMAE y el Empleo

De acuerdo con [24], existe evidencia económica suficiente para saber que hay una fuerte asociación entre el IMAE y el Empleo. Esto se basa en estudios realizados en grandes naciones del planeta tales como la India y China. Se propone por lo tanto la siguiente fórmula que será probada con datos reales usando el método de Monte Carlo Markov Chain, propiamente el paquete MCMCpack en R. Se escoge esta metodología dado que permitirá con alto grado de precisión ajustar los coeficientes, tal cual se demostró anteriormente. La ecuación 14 es la hipótesis.

$$E = \delta_0 + \delta_1 * IMAE + \epsilon_3 \quad (14)$$

donde,

E = Empleo

IMAE = Índice Mensual de Actividad Económica

ϵ_2 = Error

La variable empleo está conformada por las personas que trabajan en la informalidad pero están asegurados con la CCSS, se consideró esta variable pues se entiende que la mayor pérdida de empleo, dada la pandemia, se concentra en la economía informal. El empleo tiene como se mencionó la inicio del presente estudio, dos grandes componentes, la formalidad y la informalidad, la primera de estas es aquella que reporta y paga los impuestos, en el caso de Costa Rica son los impuestos pagados al Ministerio de Hacienda, el pago de salud y seguridad

social pagados a la CCSS y los costos de las pólizas pagadas por riesgos laborales al Instituto Nacional de Seguros, además de que se le otorgan al colaborador los pagos de cesantía, vacaciones e incapacidades; por su parte la informalidad se puede dividir en dos, aquellos que no reportan ni pagan a ninguno de los entes mencionados, pero que otorga un salario fijo, otros pocos, solo reportan a la CCSS. Para este estudio se escogieron los últimos, la informalidad que paga a la CCSS, por lo cual sus estadísticas son muy precisas, tomadas y registras por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

Coefficiente	Mínimo	Máximo
Intersección	10,992511357	13,664351475
IMAE	0,066059602	0,637188026
Sigma3	0,000250073	0,001695193

Cuadro 9: Rangos de confianza empleo IMAE.

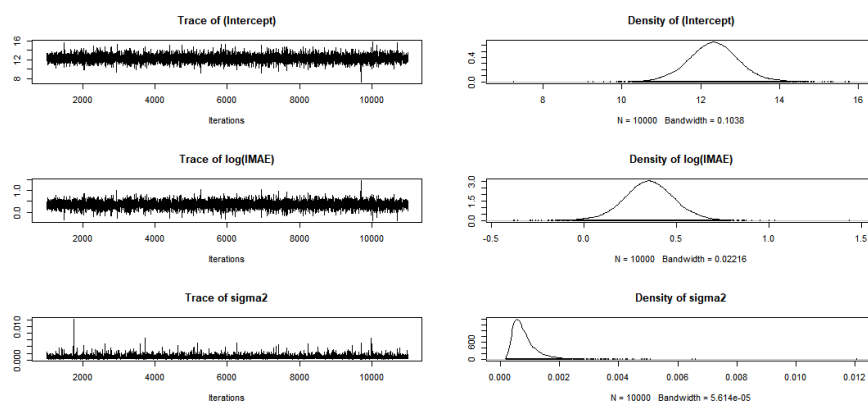


Figura 26: Coeficientes Proyección del Empleo basado en IMAE.

En la Figura 26 se observa la distribución de los coeficientes, en este caso el Sigma tiene un sesgo importante hacia la derecha, aunque se aproxima una distribución normal no perfecta, al igual que en los ejercicios anteriores, cada coeficiente presenta sus propias probabilidades según la simulación Monte Carlo y su trazabilidad. Para todos los meses el coeficiente del IMAE es el mismo 0,000250073, el sigma es el mismo 0,000250073, solo varía el β_0 , lo cual asegura un muy buen ajuste, así se presenta en le cuadro diez.

Es visible como se mencionó anteriormente que el método ajusta muy bien el valor del empleo informal que reporta a la CCSS.

	Mes β_0	Valor real	Valor Ajustado
Ene	0.4660596	13,92693	13,92541
Feb	0.4660596	13,93718	13,94299
Mar	0.2660596	13,93190	13,93944
Abr	0.1660596	13,96104	13,96178
May	0.4660596	13,96159	13,96374
Jun	0.4660596	13,95954	13,96568
Jul	0.1660596	13,96960	13,97062
Ago	0.1660596	13,97901	13,96697
Set	0.3660596	14,02590	14,01106
Oct	0.3660596	14,01014	14,01991
Nov	0.5660596	13,99443	13,99032
Dic	0.1660596	13,99485	13,98868

Cuadro 10: Ajuste del empleo por IMAE.

VI. Conclusiones y recomendaciones

Se ha probado que usando la estadística frecuentista se demuestra que es posible ajustar el Índice Mensual de Actividad Económica usando la Movilidad, para ello es necesario que las series de datos se comporten como series temporales, se procedió a transformarlas. No obstante, este proceso solo responde al primer objetivo específico, se logra hacer un análisis descriptivo de las variables epidemiológicas y económicas involucradas. Por supuesto, debe tenerse presente que la información corresponde al año 2021, dado que en el presente, 2022, la información se ve afectada por la guerra entre UCRANIA y RUSIA, que ha generado una inflación por encima del 11 %, afectando la recuperación económica que había logrado Costa Rica. Se han logrado alcanzar los tres objetivos específicos de esta investigación pese a las limitaciones en la obtención de datos, debido a que la información se encuentra muy dispersa.

Se demuestra que es posible ajustar la movilidad considerando las variables epidemiológicas y las restricciones, así mismo se demostró que se puede ajustar el IMAE sobre la movilidad, no menos relevante, se pudo ajustar el empleo con base en el IMAE. Sin duda la técnica Monte Carlo Markov Chain fue vital en el desarrollo de esta investigación. Se seguiría profundizando usando datos económicos y epidemiológicos más recientes, pero no es parte del alcance de este estudio por cuestión de tiempo. Para poder obtener los resultados se aplicó una "caminata" por los valores de los coeficientes a un 95 % de confianza, se escogieron aquellos que lograron minimizar el error cuadrático al cierre de cada mes, lo que permitió una mayor precisión en el ajuste de los datos. Se puede decir que la asociación entre vacunación e Índice Mensual de Actividad Económica no existe en forma directa, no obstante, al agregar otras variables, por ejemplo las propuestas en la hipótesis de este trabajo, restricción, hospitalizaciones, vacunación y defunciones, es posible obtener los coeficientes de asociación.

En este caso, como se mencionó anteriormente, usando Monte Carlo Markov Chain, propiamente usando la librería MCMCpack de R. Por otro lado si se desea continuar desarrollando el estudio, se sugiere utilizar metodologías como las de variable latente, de forma tal que esta variable sea la movilidad, es una metodología muy reciente, pero esperando un poco de tiempo, se encontrará información y librerías apropiadas para probar su grado de precisión a la hora de ajustar los datos. Es menester mencionar que el IMAE se registra con un rezago de 21 días, dada la metodología usada por el Banco Central de Costa Rica para medirlo.

Al momento de desarrollar este trabajo, año en curso, el IMAE tiene un comportamiento descendente debido a la alta inflación y posible recesión que se avecina, por efectos de riesgo sistémico con otras latitudes y el alza de precios de productos importados como el petróleo. Importante mencionar que debido al hackeo que sufrió la CCSS, los datos epidemiológicos ya no se reportan, por lo cual, la precisión de este estudio, de continuar, podría perderse.

Referencias

- [1] V. Aksal. *The Future of COVID-19: A Vaccine*. (1ra- ed.). Review. Journal of Infection and Public Health, 2021.
- [2] B. Arias. *Impacto de la crisis mundial en el empleo y la productividad de las PYMES* (1ra. ed.). Universidad Nacional de Costa Rica, 2013.
- [3] Banco Central. *Metodología Informe Mensual Coyuntura Económica* (1ra. ed.). Banco Central de Costa Rica, 2011.
- [4] B. Baldwin *Economics in the Time of COVID-19* (1ra. ed.). CEPR Press. 2020.
- [5] J. Brada *Economics resiliency and recovery, lessons from the financial crisis for the COVID-19 pandemic* (1ra. ed.). ELSERVIER. 2021.
- [6] F. Brauer *Mathematical Models in Epidemiology* (1ra. ed.). Springer. 2019.
- [7] M. Coccia *The relation between length of lockdown and economic growth of countries* (1ra. ed.). ELSERVIER. 2021.
- [8] J. Cordero *Los efectos del COVID-19 sobre la economía costarricense* (1ra. ed.). Economía UCR. 2020.
- [9] Y. Espinoza. *Los estímulos económicos que se requieren en este momento*. (1ra. ed.). Revista de Política Económica y Desarrollo Sostenible UNA. 2021.
- [10] CONARE *Estado de la Nación* 1ra.ed. Informe Estado de la Nación 2019.

- [11] J. Gans. *Economics in the Age of COVID-19* (1ra. ed.). MIT Press. 2020.
- [12] W.R. Gilks. *Monte Carlo Markov Chain in Practice* (1r.ed.). Taylor y Francis Group, LLC. 1996.
- [13] N. Gregory. *Principios de Economía* (1ra. ed.). Cengage Learning. 2017.
- [14] Kaggle.com *COVID-19 World Vaccination Progress*. 2021.
- [15] M. Kokocinska. *Costa Rica: un proceso de ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA INVERSIÓN EXTRANJERA DIRECTA EN EL SECTOR CIENCIAS DE LA VIDA EN COSTA RICA DESDE 2005 AL 2017*. (1ra. ed.). Economía Mundial. 2020.
- [16] C. Maccharelli. *Global Economic Outlook Summer2021: Lifting the Pandemic Cloud* (1ra. ed.). National Institute of Economics and Social Research. 2021.
- [17] T. Mohammed. *A critical analysis of the impacts of COVID-19 on the global economy* (1ra. ed.), ELSEVIER. 2021.
- [18] R. Monge. *Costa Rica: un proceso de apertura inconcluso*. (1ra. ed.). Serie de Investigaciones. 2020.
- [19] OECD. *Strengthening the recovery: The need for speed* (1ra. ed.). OECD. 2021.
- [20] W. Rouatbi. *Immunizing markets against the pandemic: COVID-19 vaccinations and stock volatility around the world*. (1ra. ed.). OECD. 2021.
- [21] A. Pankratz. *Forecasting with univariate* (1ra. ed.). John Wiley. 1983.
- [22] N. Pramathesh. *Global impacts of pre and post COVID-19 pandemic: Focus on socio-economic consequences*. (1ra. ed.). KeAi International. 2020.
- [23] A. Rodríguez. *Pronóstico Crecimiento Trimestral de Costa Rica mediante Modelos de Frecuencia Mixta* (1ra. ed.). Ciencias Económicas Universidad de Costa Rica. 2014.
- [24] A. Rahman. *Growth, employment and poverty* (1ra. ed.). Economic and Social Affairs. 2007.
- [25] R. Shumway. *Time Series Analysis and its Applications* (3ra. ed.). Springer. 2016.
- [26] D. Susskind *Economics on COVID-19 Pandemic*. (1ra. ed.). Oxford Review of Economic Policy. 2020.
- [27] J. Trejos. *Análisis Multivariado de Datos* (1ra. ed.). Editorial Universidad de Costa Rica. 2014.
- [28] J. Villadeamigo. *La Teoría Económica y la Crisis Económico-Financiera* (1ra. ed.). Universidad de Buenos Aires, 2008.