

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA ECONÓMICAS, A.C.



IMPACTO DE LA MEDIDA DE CONFINAMIENTO DEBIDO A LA PANDEMIA POR
COVID-19 EN LA DEMANDA ELÉCTRICA

TESINA

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN ECONOMÍA

PRESENTA

FRANCISCO ALBERTO RODRÍGUEZ VALENZUELA

DIRECTOR DE LATESINA: DR. JUAN ROSELLÓN DÍAZ

CIUDAD DE MÉXICO

2022

AGRADECIMIENTOS

A Dios, que me puso en este camino.

A mi madre, María de la Luz Valenzuela Hernández, que me brindó todo su apoyo durante estos dos años y sigue siendo mi mayor ejemplo de vida.

A mi hijo, Axl Itzamma Rodríguez Nieto, mi más grande motivación para salir adelante.

A Michelle Parson, por acompañarme durante estos años, siendo simplemente ella, apoyando y echando ánimo como nadie más.

A mi asesor, el Dr. Juan Rosellón, y a mi lector, el Dr. Pedro Hancevic, por su guía y valiosos comentarios.

A mis profesores, que hicieron su mayor esfuerzo y lograron impactar mi vida a través de sus enseñanzas.

A mis compañeros de la maestría, que sin ellos este camino no hubiera sido el mismo.

Al CIDE, que a pesar de la pandemia, supo ofrecer una maestría de calidad y conocimientos que durarán toda la vida.

RESUMEN

La pandemia por COVID-19 fue algo que sacudió al mundo de manera inesperada. De un día para otro tuvimos que cambiar nuestra manera de vivir, y el confinamiento en los hogares se convirtió en una realidad. Esta medida utilizada en todo el mundo para mitigar los contagios trajo afectaciones en la demanda de energía eléctrica. La presente investigación tuvo como objetivo principal medir el impacto de la medida de confinamiento en la demanda de energía eléctrica. El estudio se centró en California, y el método que se utilizó fue control sintético, tomando otras regiones similares para crear el contrafactual. Se encontró que 11 días después de iniciado el confinamiento oficial en California hubo una caída de 12% aproximadamente en la demanda eléctrica, solo para el 30 de marzo de 2020. Este tipo de investigaciones del impacto de las medidas de contingencia podrían ayudar a crear políticas públicas encaminadas a proteger tanto a las empresas como a los individuos en casos de emergencia.

CONTENIDO

1. <i>Introducción: Pandemia y demanda eléctrica</i>	1
2. <i>Revisión de la literatura</i>	3
3. <i>Modelo: Control Sintético</i>	7
4. <i>Datos brutos</i>	8
5. <i>Resultados del método</i>	13
6. <i>Conclusiones generales</i>	28
7. <i>Referencias</i>	30
8. <i>Apéndice: Método Control Sintético</i>	32

FIGURAS

Figura 1. Logaritmo natural de la demanda de California.....	9
Figura 2. Comparativo de la demanda de California 2018 vs 2020	10
Figura 3. California y su control sintético 1er grupo de donantes.....	13
Figura 4. Suavización de ln(demanda) de Texas con diferentes α	15
Figura 5. Suavización de ln(demanda) con $\alpha=0.2$	16
Figura 6. California y su control sintético suavizado 1er grupo.....	19
Figura 7. Gráfica de diferencias 1er grupo de donantes	20
Figura 8. Anomalías en el control sintético 1er grupo	21
Figura 9. Frentes fríos Enero-Febrero de 2020.....	21
Figura 10. California y su control sintético suavizado 2o grupo.....	23
Figura 11. Gráfica de diferencias 2o grupo de donantes	24
Figura 12. Placebo de tiempo	25
Figura 13. Placebo de lugar - razones.....	27

TABLAS

Tabla 1. Datos de participación del PIB y precios mensuales por región.	11
Tabla 2. 1er grupo de donantes y su peso ponderado.	13
Tabla 3. 1er grupo de donantes y su peso ponderado (suavizado)	18
Tabla 4. 1er grupo de donantes y el peso ponderado de sus características (suavizado)	18
Tabla 5. 2o grupo de donantes y su peso ponderado (suavizado)	22
Tabla 6. 2o grupo de donantes y el peso ponderado de sus características (suavizado)	23

1. Introducción: Pandemia y demanda eléctrica

En el año de 2019 se detectó por primera vez en China la enfermedad COVID-19, producida por el virus SARS-CoV-2. En ese momento no se tenía idea de la magnitud de la pandemia que se avecinaba. El virus se propagó rápidamente y para el 7 de marzo de 2020 ya se contaban con 100,000 casos confirmados alrededor del mundo. Días después, el 11 de marzo, se proclamó la pandemia por la Organización Mundial de la Salud. El primer caso confirmado en Estados Unidos fue el 22 de enero de 2020. Para el 9 de noviembre del mismo año, la cifra acumulada de infectados en EU era de 9,991,236 de las cuales 237,779 personas perdieron la vida.

Derivado de esta crisis, una medida necesaria para frenar la ola de contagios fue el confinamiento dentro de los hogares. Este encierro fue paulatino en todo el mundo, en especial en Estados Unidos. Se comenzó por algunos negocios y escuelas y no fue hasta mediados de marzo de 2020 que todas las escuelas de la unión americana se encontraron cerradas. Para el 19 de marzo, el gobernador de California, Gavin Newsom, decretó oficialmente la orden “Stay at home”, que paraba todas las actividades no esenciales e instruyó a todos los habitantes de California a permanecer en sus casas. Esta medida tomó por sorpresa a la mayoría de la población ya que no se pensaba aún en la magnitud de la pandemia que se estaba viviendo. Como consecuencias de esta medida, la demanda de energía tuvo una caída de un día para otro debido al paro de actividades empresariales, industriales y de transporte, mientras que la demanda residencial tuvo un aumento debido al aumento de horas que ahora las personas tenían que pasar en sus casas. La energía eléctrica no se puede almacenar en gran volumen, por lo que seguramente también se tuvo que frenar la producción de esta energía para compensar la disminución total en la demanda.

Justamente este impacto inmediato en la demanda de energía eléctrica es la motivación principal de este trabajo. Esto nos conduce a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál fue el impacto de la medida de confinamiento por COVID-19 en la demanda eléctrica?

El mayor freno a estas investigaciones ha sido que por la misma pandemia, la circulación de datos oficiales también ha sido lenta. El objetivo de esta investigación es modelar el impacto de la pandemia por la COVID-19 en la demanda de energía eléctrica en California. La elección del estado de California se debe a que los datos de su demanda eléctrica ofrecen la posibilidad de alcanzar el objetivo. Los datos están disponibles y su naturaleza presenta la oportunidad de poder realizar el estudio. Se eligió el método de control sintético debido a la naturaleza de la medida de confinamiento, que sucedió de un día para otro y en diferentes fechas a lo largo de Estados Unidos.

La importancia de desarrollar un modelo que permita observar y medir el impacto de estas medidas de contingencia es trascendental en la elaboración de políticas públicas. Al tener una idea numérica de este impacto, se pueden desarrollar políticas que protejan tanto a las empresas como a la población en general ante las eventuales emergencias que en un futuro pudieran surgir. Este modelo podría servir en un futuro para medir el impacto de medidas de contingencia, no solo en Estados Unidos, sino a diferentes países incluido México, teniendo en cuenta la elección de un buen grupo de donantes donde la medida no haya sido llevada a cabo o sea llevada a cabo después de nuestra unidad de interés.

2. *Revisión de la literatura*

Como se mencionó antes, apenas comienzan a salir nuevas investigaciones que relacionan la demanda de energía eléctrica con la pandemia de COVID-19. Mucho de esto es debido a que los datos de 2020 aún no están disponibles, y a que la crisis aún no termina.

Una pequeña investigación surgió en julio de 2020 por *Bahmanyar et al.* En este artículo se echa por primera vez un vistazo al impacto de las diferentes medidas de confinamiento en algunos países de Europa sobre la demanda eléctrica. Se compararon el impacto de las restricciones en España, Italia, Bélgica y el Reino Unido, donde las medidas fueron severas, y también se revisó Holanda y Suecia, donde las medidas fueron menos rigurosas. Para este estudio se obtuvo un *Índice de la Variación de la Demanda (DVI)* por sus siglas en inglés) que indica la variación promedio de la demanda en comparación con un período de referencia. De acuerdo con los resultados obtenidos se pudo observar una disminución en la demanda eléctrica en los países con medidas más severas, mientras que en los países con restricciones más ligeras la demanda tuvo también una disminución, pero mucho menor. Esto se debió a que este estudio considera a todos los sectores de consumo: residencial, industrial, transporte, etc. Al mandar al confinamiento todos los sectores tienen una disminución importante de consumo, mientras que el único que tendría un aumento sería el residencial.

Un resultado similar se presentó en un estudio aplicado a Brasil (*Carvalho et al., 2020*). Este estudio analizó la tendencia de la demanda eléctrica a lo largo del sistema de energía de Brasil y sus subsistemas (Noreste, Norte, Sur y Sureste-Medio Oeste) entre el 1 de enero y el 27 de mayo de 2020. Para el análisis estadístico se aplicó un modelo de regresión de *Joinpoint*. En los resultados que se obtuvieron se pudo observar una reducción en el consumo de electricidad en todas las regiones estudiadas cuando se comparan los periodos antes y después de la pandemia. Se presentó una caída repentina de hasta el 20% en el consumo eléctrico con el inicio de la cuarentena, y a partir de ahí se nota un ascenso paulatino en la demanda. Al igual que *Bahmanyar et al.* (2020), se toman en cuenta todos los sectores de consumo, pero *Carvalho et al.* sí mencionan específicamente que existió un aumento en el consumo residencial debido al confinamiento.

Para el siguiente año se presentaron nuevos estudios donde se atacó particularmente al sector de consumo residencial. Un estudio realizado en Ottawa, Canadá (*Abdeen et al, 2021*), se enfocó en la demanda residencial, específicamente de 500 hogares canadienses. Tras un análisis de cambio de punto, estadística descriptiva y algunas otras herramientas de análisis se pudo determinar que en promedio hubo un incremento del 12% en el consumo eléctrico en 2020 relativo a 2019. Un detalle interesante fue el hecho de que este incremento no se debía completamente a la crisis del COVID-19, sino que cerca de un tercio de este aumento se debió a mayores temperaturas presentadas durante ese año con respecto al anterior. También los autores remarcan el hecho de que el impacto del encierro no ha sido constante, y existen notables diferencias entre meses diferentes, estaciones del año, e incluso días.

En otra investigación se mezcló el impacto de la pandemia sobre el consumo de energía eléctrica con el crecimiento económico (*Soava et al, 2021*). Este estudio se realizó en Rumania y se usan series de tiempo mensuales del consumo eléctrico, así como datos trimestrales del producto interno bruto (PIB). Se realizaron regresiones lineales temporales con datos de que abarcaban desde 2007 hasta 2020 para ver el comportamiento del PIB y del consumo eléctrico durante la crisis financiera de 2008 vs. la crisis por COVID-19. Se pudo observar el mismo comportamiento que han venido presentando varios autores, la disminución de la demanda eléctrica (considerando todos los sectores de consumo). Adicionalmente, se encontró una relación entre el consumo de energía eléctrica y el PIB a largo plazo.

Otros estudios se han sumado a los presentados anteriormente con resultados bastante parecidos, como el de *Beyer et al., (2021)* realizado en la India. La mayoría enfoca sus resultados a que sean utilizados por las personas encargadas de hacer políticas públicas en sus países, a manera de reducir el impacto de la pandemia en los bolsillos de los habitantes.

Para el caso específico de Estados Unidos, *Ruan et al., (2020)* estimaron el impacto de la crisis por la COVID-19 sobre el consumo eléctrico. Se lanzó un centro de datos que integra mercados de electricidad en Estados Unidos, junto con datos de casos de COVID-19, clima, localización por medio del celular e imágenes satelitales. Después, *López y Sungmin (2020)* mostraron que la reducción en el consumo eléctrico dentro de los primeros 5 meses de

confinamiento en Estados Unidos oscilaba entre el 3% y el 12%, a excepción de Florida, el cual no mostro un impacto significativo.

De las investigaciones más recientes que se tienen acerca del impacto de la medida de confinamiento debido a la pandemia, se tiene el trabajo de *Hancevic y Sandoval* en 2022. Ellos llevan a cabo un estudio de la demanda eléctrica en Gainesville, Florida, de enero de 2018 a diciembre de 2020 con datos en panel por mes, tanto en hogares como en empresas. Usando un modelo de efectos fijos que controla la influencia de las condiciones climáticas se obtuvo que los hogares tuvieron un aumento de hasta 18% al inicio de la pandemia debido al confinamiento. Los negocios no esenciales disminuyeron su consumo eléctrico mientras que los negocios esenciales tuvieron un aumento.

De acuerdo con lo revisado en los artículos previos, podemos notar que existe evidencia de la relación entre la demanda de energía eléctrica y el confinamiento sufrido debido a la pandemia de COVID-19. También se hace hincapié en que el consumo eléctrico no es constante, varía con el tiempo dependiendo del mes, ya que el clima también juega un papel importante en la demanda eléctrica (*Auffhammer y Aroonruengsawat, 2011*). Esta dependencia es fundamental al momento de considerar el análisis porque, como ya se comentó antes, el cambio podría verse afectado por ambos factores (pandemia y clima) lo que llevaría a sobreestimar el efecto de la crisis por el coronavirus, que es el objetivo por estudiar en esta investigación.

Abadie, Diamond y Hainmueller usaron en 2015 el método de control sintético para el estudio de casos comparativos. Abadie había desarrollado el método desde antes, pero mi investigación centra la idea de la aplicación del método en el artículo de 2015. Lo que los autores pretendían era desarrollar un método cuantitativo que pudiera complementar un análisis cualitativo en estudios comparativos. Ellos aplicaron el método en ciencia política, específicamente en la estimación del impacto económico que tuvo la reunificación de Alemania en Alemania del Oeste en 1990. Para este caso de estudio comparativo se parte de la idea de que hay un momento de intervención. En el caso de la demanda eléctrica de California es precisamente la entrada en confinamiento debido a la pandemia esta intervención. Al entrar los estados en confinamiento en diferentes fechas se propone el método usado en Abadie,

Diamond y Hainmueller en 2015 como instrumento para medir el impacto de la pandemia en la demanda eléctrica. De ahí la importancia de este último trabajo.

3. *Modelo: Control Sintético*

El método de control sintético es un método estadístico usado para evaluar el efecto de una intervención en estudios de casos comparativos. Esta intervención se da en la unidad de interés, afectando la variable principal de nuestro estudio. A través de la elección de otras unidades similares que no hayan sufrido la intervención se construye un contrafactual. Esta unidad de comparación se selecciona como el promedio ponderado de todas las unidades usadas para su construcción. El método de control sintético hace explícita la contribución de cada unidad al contrafactual de interés. Se busca comparar nuestra unidad de estudio (la que sufrió la intervención) con el contrafactual construido antes y después de la intervención, para así poder tener una medida del impacto de la intervención en nuestra variable objetivo.

Una ventaja de este método es poder aislar el efecto de la intervención en nuestra variable de interés. Además, se evitan sesgos de extrapolación y permite una descripción y análisis más centrados de las similitudes y diferencias entre el caso de interés y la unidad de comparación. En el apéndice se presenta una explicación más detallada del modelo.

En esta investigación se tiene como unidad tratada o de interés a la región de California, y a su vez, la variable de interés es su demanda eléctrica por día. El grupo de donantes son las regiones de Carolinas, que comprende Carolina del Norte y Carolina del Sur, Florida, Tennessee, Texas y el Suroeste de Estados Unidos, que lo componen el condado de Clark en Nevada, Arizona y Nuevo México. Las características que ayudarán a crear el contrafactual son las demandas eléctricas por día de las regiones del grupo de donantes, la temperatura promedio por día, el precio de la energía eléctrica, la participación en el PIB de estas regiones, su población, las unidades de vivienda, el ingreso familiar promedio y el número de empresas. En la siguiente sección abordaremos más acerca de lo datos utilizados.

4. *Datos brutos*

El objeto principal de estudio es el comportamiento de la demanda eléctrica debido al confinamiento por la pandemia de COVID-19 en el estado de California. La elección de la zona de interés es debido a que fue el primer estado en entrar en confinamiento y los datos disponibles de la demanda eléctrica permiten un estudio más completo del impacto. La demanda eléctrica se obtuvo del sitio oficial de la *U.S. Energy Information Administration*. Esta demanda se divide por regiones, donde el estado de California representa una región entera, por lo que la selección del grupo de donantes se hizo con base en las regiones presentadas en esta administración. Las regiones presentan por sí mismas similitudes al pertenecer al mismo país, aunque a su vez hay diferencias debido a su posición geográfica y otras variables que podrían afectar la demanda y que se comentaran más adelante.

La región de interés, California, entró en confinamiento debido a la pandemia el 19 de marzo de 2020 según el decreto oficial de la oficina de estado. Para fines del estudio se necesitaba que el grupo de donantes fueran también regiones (estados) de Estados Unidos que hubieran entrado en confinamiento debido a la pandemia después de 19 de marzo. Para esto se verificaron los decretos oficiales por estado de acuerdo con las regiones que maneja la *U.S. Energy Information Administration* y se seleccionaron 5 regiones que describen a continuación.

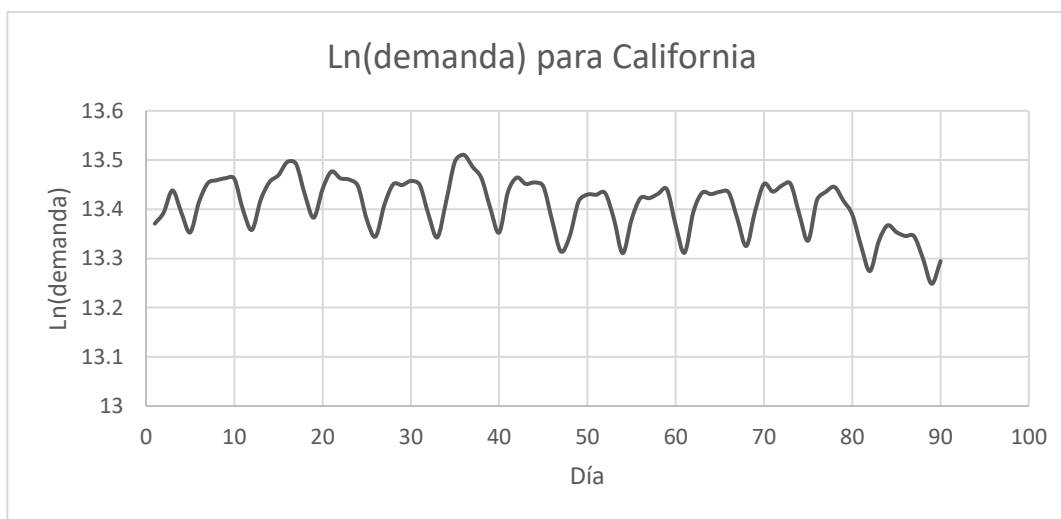
La región de Carolinas, que se compone por Carolina del Norte que entró en confinamiento el 30 de marzo, y Carolina del Sur que entró en confinamiento el 31 de marzo. Florida, que entró en confinamiento a partir del 1 de abril. Tennessee, que entró en confinamiento el 31 de marzo, así como Texas, que comenzó su confinamiento el mismo día. Por último, tenemos la zona del Suroeste, que comprende al Condado de Clark en Nevada que inicio su confinamiento el 1 de abril, Arizona que empezó el 31 de marzo, y una parte de Nuevo México, que entró en confinamiento el 24 de marzo.

Debido a estas fechas se decidió que el estudio se realizaría del 1 de enero al 30 de marzo de 2020, dando un total de 90 días. Estos días se dividen en dos grupos, el periodo pre-

intervención que comprende los primeros 79 días del año, y el periodo post-intervención, que abarca del día 80 al 90. La intervención ocurrió el día 79 solo en la zona de California, ya que todas las demás regiones tuvieron su confinamiento el día 90 o posterior. Hay una excepción para la zona del Suroeste, donde una parte de esta región, Nuevo México específicamente, entró a confinamiento el día 85. El uso de esta región y sus posibles consecuencias se desarrollará después.

La elección del periodo pre-intervención de basó en evitar estacionalidad en los datos debido a la época del año. De esta manera se puede tener una sola y más clara tendencia de la demanda eléctrica por zona. La demanda eléctrica, como se mencionó antes, se obtuvo de la *U.S. Energy Information Administration*, donde los datos que arroja son la cantidad de Megawatts hora que se demandan por hora. Para esta investigación se sumaron las 24 horas de demanda eléctrica para obtener datos por día. Adicionalmente, se calculó su logaritmo natural de esta suma debido a la gran escala que presentan. Esto se realizó para la región de California y su grupo de donantes. A manera de ejemplo, la siguiente grafica muestra el comportamiento del logaritmo natural de la demanda por día de California.

Figura 1. Logaritmo natural de la demanda de California

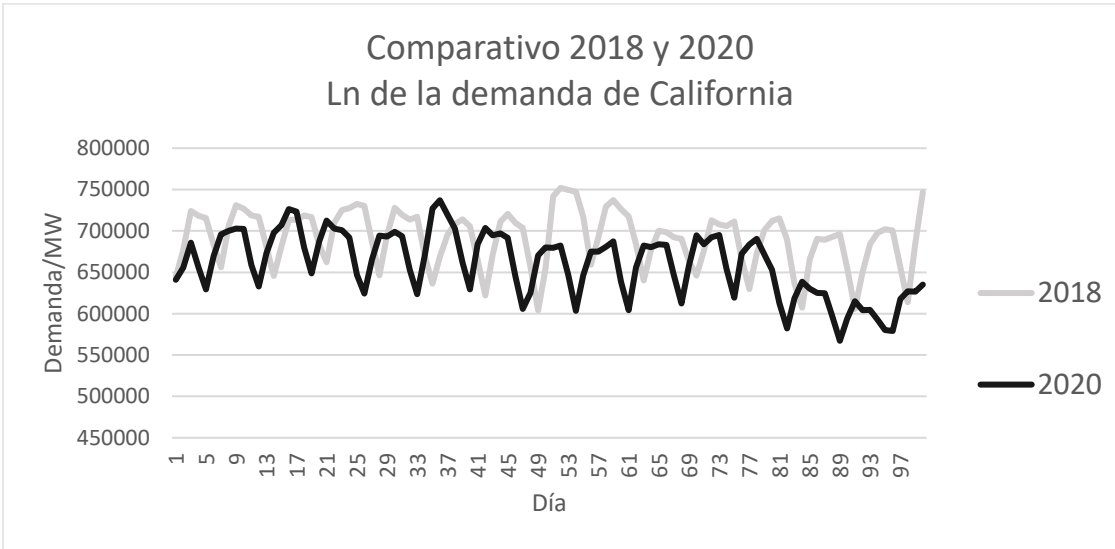


Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la gráfica, se tiene una tendencia a la baja debido a la época del año, así como estacionalidad como consecuencia de los días de la semana. Existe mayor demanda de energía eléctrica de martes a viernes y es menor la demanda de sábado a lunes. En el día 80 se puede ver el efecto de la medida de confinamiento debido a la pandemia como una caída en la demanda general.

Esta caída en la demanda es más evidente si la demanda se compara con otro año en el mismo periodo. Esto lo podemos observar en la siguiente gráfica donde se agrega el logaritmo natural de la demanda eléctrica de California para el año 2018 en el mismo periodo (primeros 100 días del año).

Figura 2. Comparativo de la demanda de California 2018 vs 2020



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la gráfica anterior, el comportamiento de la demanda eléctrica es muy similar en ambos años, aunque menor en 2020. Para el día 79, que es cuando comienza el confinamiento en California en 2020, se puede observar una aún mayor marcada diferencia entre las demandas de ambos años. Esa diferencia se puede deber a la medida del confinamiento, pero también podría estar relacionada a otros factores. De ahí la necesidad de establecer un método confiable para determinar el impacto de la medida de confinamiento.

De este mismo sitio también se obtuvieron los precios mensuales de la energía eléctrica, en centavos por kilowatt, por región. Debido a esto se obtuvieron tres datos distintos por zona, un precio para enero, otro para febrero y uno más para marzo de 2020.

Por otra parte, se obtuvo la temperatura promedio por día por región, como parte de las características que servirán para la creación del contrafactual. Estas temperaturas fueron obtenidas de la *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, donde las temperaturas se registran diariamente. Dichas temperaturas son observadas por diferentes estaciones a lo largo de las zonas, por lo que se tuvo que sacar un promedio de todas las estaciones que conforman una zona (por ejemplo, California). Con esto, se pudo obtener una temperatura promedio diaria por zona, del 1 de enero al 30 de marzo de 2020.

Para la participación en el PIB de cada región se consultó el *Bureau of Economic Analysis* del departamento de comercio de Estados Unidos. Dicha participación representa el porcentaje de contribución al PIB nacional y se obtuvo para el primer trimestre de 2020. En los casos de regiones que eran conformadas por más de un estado, la participación se sumó.

Tabla 1. Datos de participación del PIB y precios mensuales por región.

Región	Participación en el PIB (%)	Mes de 2020	Precio (centavos/kW)
California	14.70	Enero	16.44
		Febrero	16.87
		Marzo	16.22
Carolinas	4.00	Enero	9.43
		Febrero	9.51
		Marzo	9.46
Florida	5.10	Enero	10.05
		Febrero	10.17
		Marzo	10.05

Tennessee	1.80	Enero	9.71
		Febrero	9.55
		Marzo	9.58
Texas	8.80	Enero	8.11
		Febrero	8.33
		Marzo	8.17
Suroeste	2.76	Enero	8.70
		Febrero	8.78
		Marzo	8.57

Fuente: Elaborada con datos de *Bureau of Economic Analysis* y de *Energy Information Administration*.

Por último, las características como la población, las unidades de vivienda, el ingreso familiar promedio y el número de empresas se obtuvieron de *United States Census Bureau*. Todas estas variables se encuentran por año, por lo que se tomaron los valores de 2020.

Cabe mencionar que todas estas características fueron usadas para la elaboración del control sintético de California para su demanda eléctrica. La elección de estas fue basada en la literatura revisada, tomando en cuenta que la demanda eléctrica que se está utilizando en esta investigación abarca a todos los sectores de consumo (tanto residencial como industrial). Se considera que estas características pueden afectar, en diferente medida, la demanda eléctrica en las regiones seleccionadas.

5. Resultados del método

Una vez que todos los datos se colocaron en panel se procedió a realizar el control sintético mediante el lenguaje de programación R. Como primer intento de control sintético se utilizó como grupo de donantes a Carolinas, Florida, Tennessee y Texas. Los resultados de este primer ejercicio se presentan a continuación.

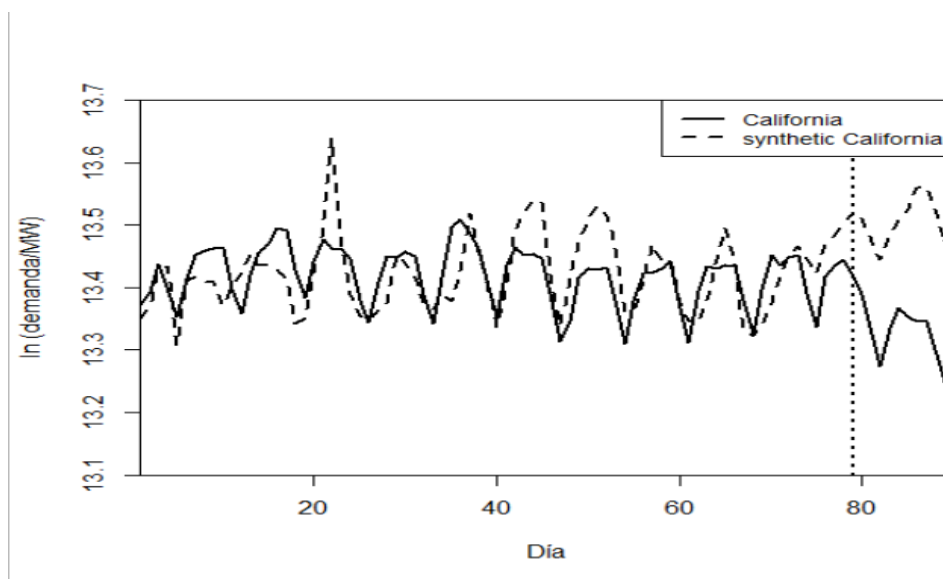
Tabla 2. 1er grupo de donantes y su peso ponderado.

<u>Donante</u>	<u>Peso w</u>
Carolinas	0.005
Florida	0.631
Tennessee	0.006
Texas	0.358

Fuente: Elaboración propia.

Recordando que los pesos ponderados del grupo de donantes son w . Esto significa que a Florida le está asignando un peso dentro del control sintético de 63.1% y a Texas de 35.8%, mientras que para Carolinas y Tennessee no llega ni al 1%.

Figura 3. California y su control sintético 1er grupo de donantes



Fuente: Elaboración propia.

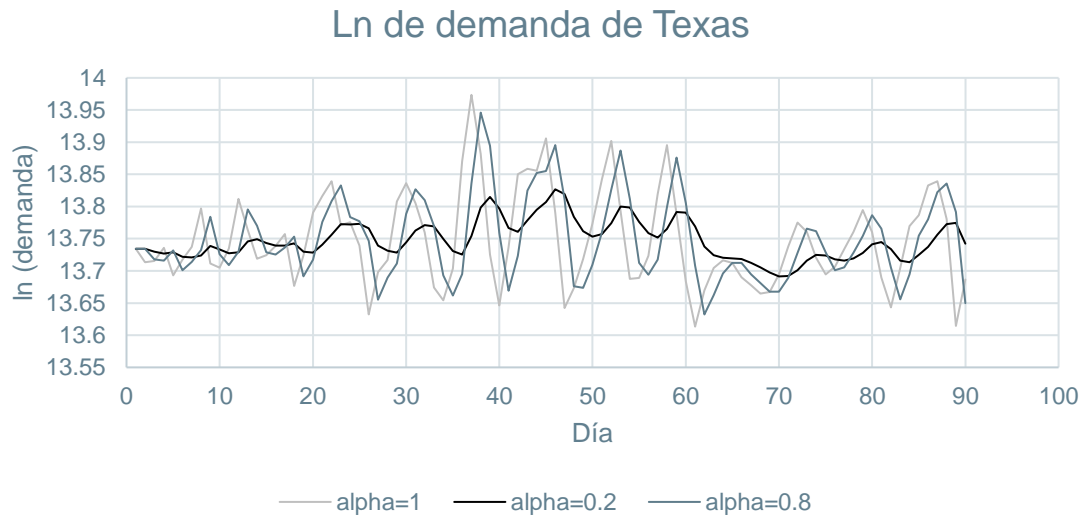
Como se puede apreciar en la gráfica, el control sintético del logaritmo natural de la demanda eléctrica de California sí es parecido al comportamiento real pre-confinamiento. Se puede observar que después de la intervención, la separación entre California y su sintético se hace más pronunciada. La mayor limitación que se tiene con este resultado es debido a la naturaleza ruidosa de los datos. Los datos presentan muchas variaciones, además de la estacionalidad semanal, que dificultan al análisis de los resultados.

Debido a esto último, se decidió hacer una suavización exponencial simple del logaritmo natural de la demanda. Es un método simple pero efectivo que evita que los valores de la demanda se separen tan drásticamente, minimizando los picos. Esta suavización permite mantener la tendencia, que para fines de esta investigación es lo más importante. La suavización exponencial se obtiene con la siguiente expresión

$$F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)F_t \quad 0 < \alpha < 1 \quad (3)$$

donde F_{t+1} es la predicción del siguiente periodo, Y_t es el valor real del periodo actual y F_t es la predicción del periodo anterior. Para el primer periodo tenemos que $Y_1=F_1$, y de ahí se continua con los siguientes datos. El valor de α es un ponderador entre los valores reales y los valores predichos. Para elegir el valor de α que se usará en la suavización de la demanda se realizaron varias estimaciones con diferentes valores. Como ejemplo de estas estimaciones se presenta la siguiente gráfica.

Figura 4. Suavización de ln(demanda) de Texas con diferentes α

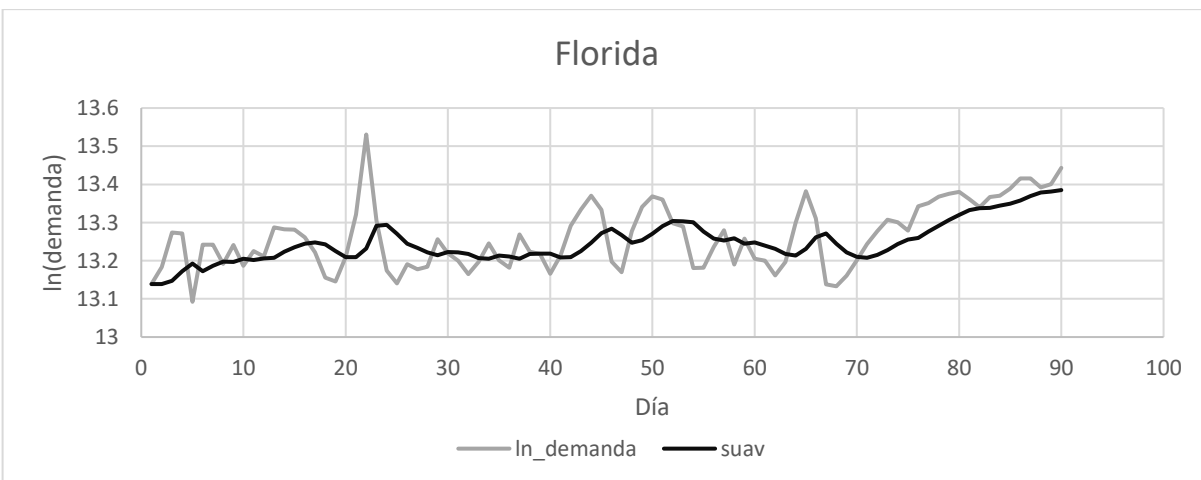
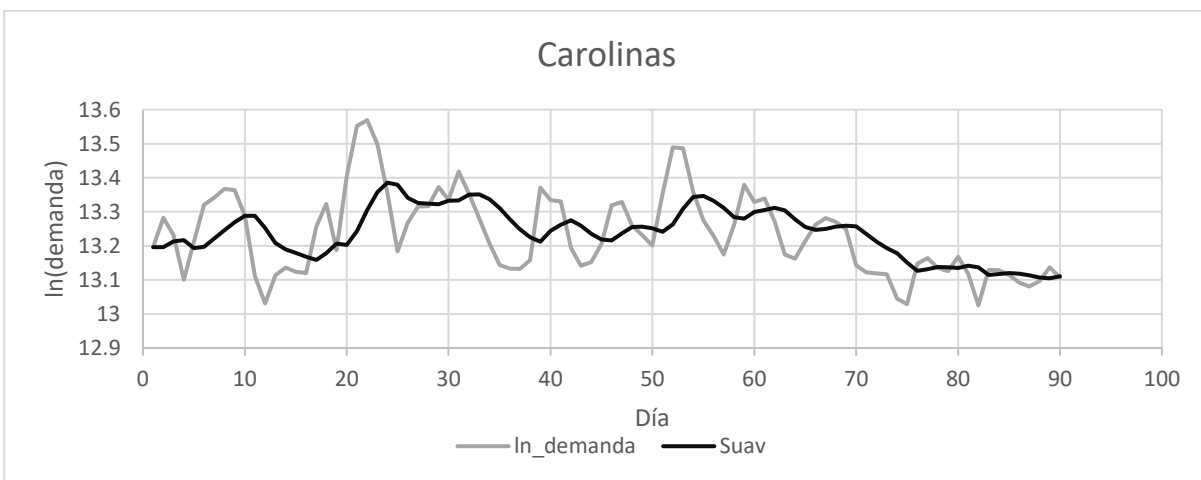
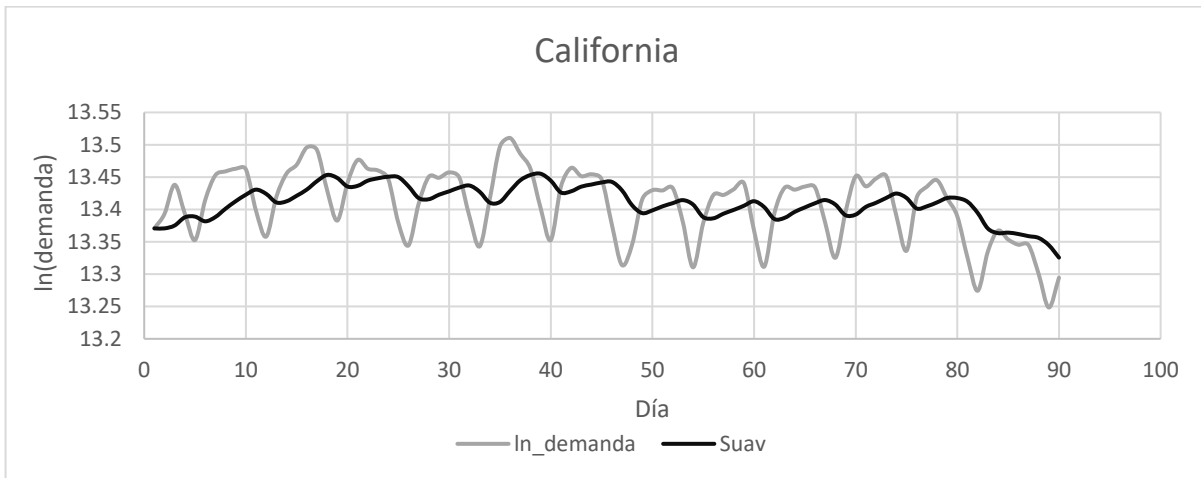


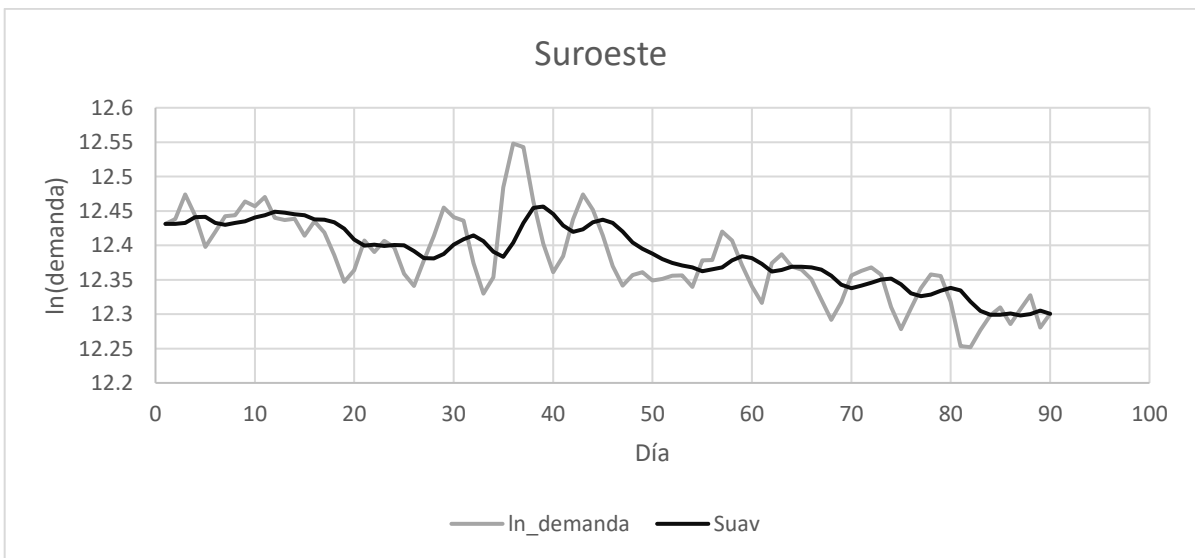
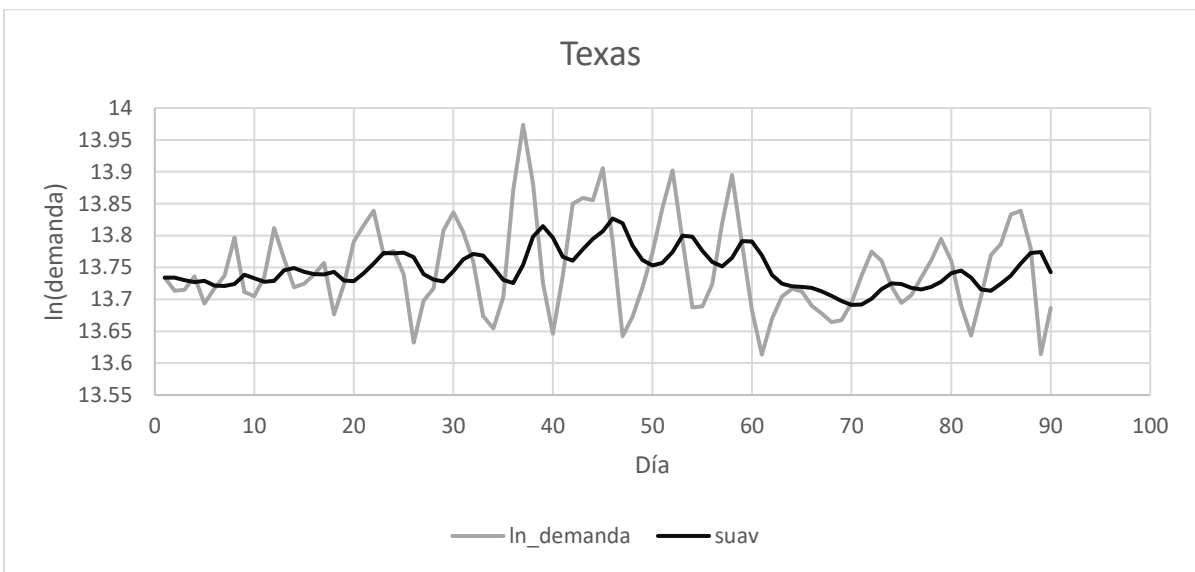
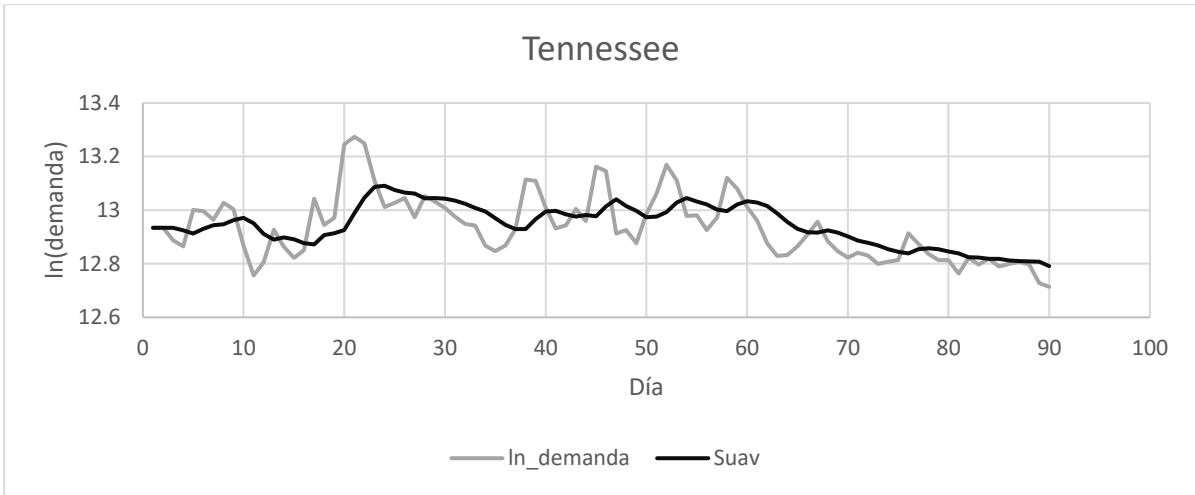
Fuente: Elaboración propia.

Para este ejercicio se tomó la demanda eléctrica de Texas. Se puede observar el valor real de la demanda, representado por $\alpha = 1$, y sus respectivas suavizaciones conforme el valor de α va decreciendo. Con $\alpha = 0.8$, el comportamiento ruidoso de la demanda se sigue manteniendo, aunque se logra una disminución en el tamaño de los picos. Por otra parte, con un $\alpha = 0.2$, los picos son disminuidos de manera importante sin sacrificar la tendencia de la demanda. Debido a esto, el valor escogido para suavizar los logaritmos naturales de las demandas eléctricas de California y del grupo de donantes es $\alpha = 0.2$.

Con esto las demandas de todas las regiones quedan suavizadas de la siguiente manera.

Figura 5. Suavización de ln(demanda) con $\alpha=0.2$





Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que la suavización es efectiva al reducir los picos de demanda respetando la tendencia de esta. A partir de estos nuevos datos suavizados se realizó nuevamente el control sintético para el mismo grupo de donantes, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 3. 1er grupo de donantes y su peso ponderado (suavizado)

<u>Donante</u>	<u>Peso w</u>
Carolinas	0.101
Florida	0.483
Tennessee	0.042
Texas	0.374

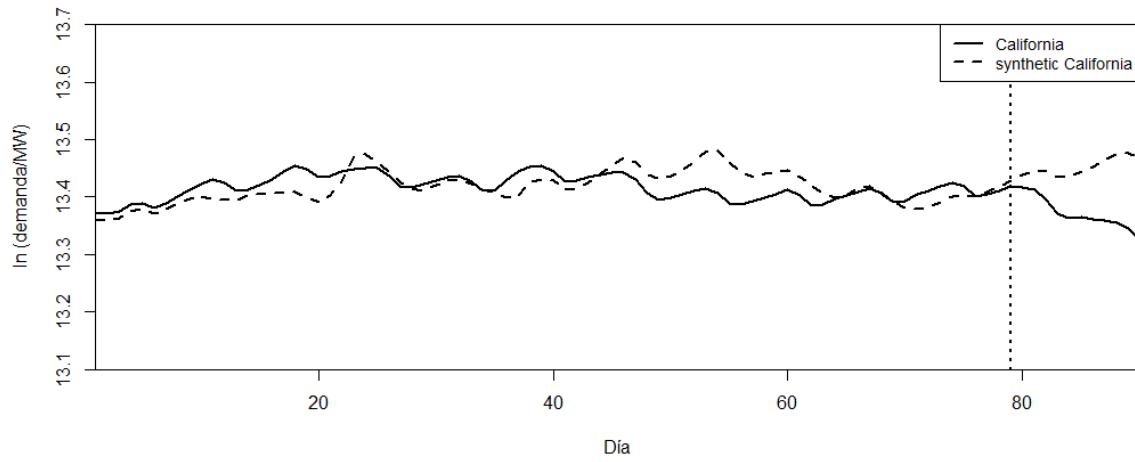
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. 1er grupo de donantes y el peso ponderado de sus características (suavizado)

<u>Característica X</u>	<u>Peso v</u>
Temperatura diaria promedio	0.053
Precio promedio	0.206
Población	0.009
Participación en el PIB	0.043
Unidades de vivienda	0.034
Ingreso familiar promedio	0.045
Número de empresas	0.044
Valores promedio de Y (5,14)	0.180
Valores promedio de Y (19,27)	0.193
Valores promedio de Y (60, 69)	0.193

Fuente: Elaboración propia.

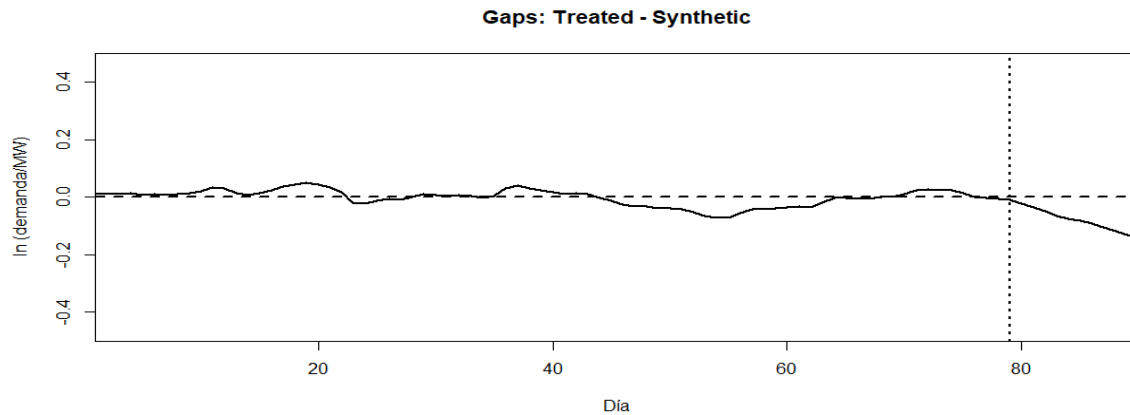
Figura 6. California y su control sintético suavizado 1er grupo



Fuente: Elaboración propia.

A partir de la gráfica anterior se puede ver como la suavización realizada previamente ayuda a reducir la naturaleza ruidosa de la demanda manteniendo su tendencia y permitiendo un análisis más claro del método. Podemos también observar que los valores de los pesos asignados a cada donante cambio, dando un valor a Florida de 48.3%, Texas de 37.4%, Carolinas con 10.1% y Tennessee con solo el 4.2%. Adicionalmente se muestran los valores de los pesos asignados a cada una de las variables, donde destaca el precio promedio de la energía (0.206) y la temperatura (0.053). Estas dos variables son las que más afectan a la demanda de energía eléctrica. Las variables de *Valores promedio de Y* son promedios de la variable dependiente, consumo eléctrico, y ayudan al control sintético. Son colocados al inicio, en medio y al final del periodo pre-intervención (arbitrariamente). No tienen ninguna relevancia en el análisis.

Figura 7. Gráfica de diferencias 1er grupo de donantes

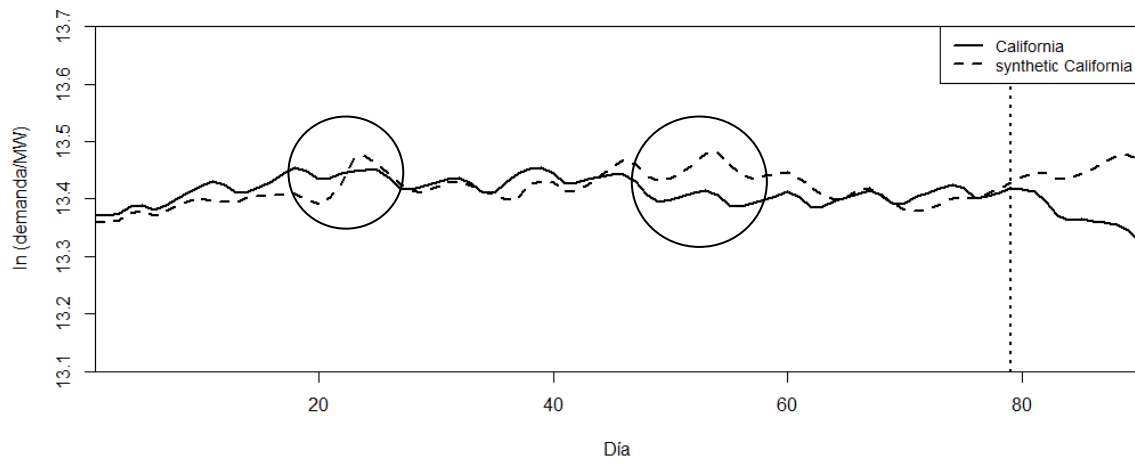


Fuente: Elaboración propia.

La gráfica anterior muestra las diferencias entre California real y su control sintético a lo largo de todos los periodos. Se puede notar que la diferencia más grande se da en el periodo post-confinamiento, lo que indica que la intervención tuvo un impacto significativo en la demanda de electricidad. Específicamente, el día 30 de marzo de 2020, el último de nuestro análisis, se tiene una caída del **15.1%** en la demanda de energía eléctrica, con respecto a su control sintético. Esto ocurrió 11 días después de iniciado el confinamiento.

A pesar de que el control sintético se apega bastante a la demanda eléctrica de California, no puede dejar de notarse dos picos en el periodo pre-intervención. Estas anomalías se presentan alrededor de los días 20 a 22 del año, así como en los días del 51 al 54 del mismo. Dichos picos corresponden a los periodos del 20 al 22 de enero y del 20 al 23 de febrero, y son mucho más evidentes en los datos sin suavización (véase figura 6). En la siguiente gráfica se señalan estas anomalías en el control sintético.

Figura 8. Anomalías en el control sintético 1er grupo



Fuente: Elaboración propia.

Al revisar noticias de situaciones que podrían haber afectado drásticamente la demanda eléctrica durante estos periodos cortos se encontró con que hubo presencia de dos frentes fríos en el sureste de Estados Unidos, esto de acuerdo con la *National Oceanic and Atmospheric Administration*.

Figura 9. Frentes fríos Enero-Febrero de 2020



Fuente: AccuWeather.

Como se puede ver en la imagen de referencia del sitio AccuWeather, los frentes fríos afectaron principalmente el este y suroeste de Estados Unidos. Esta situación pudo llevar a un aumento en la demanda eléctrica en el grupo donantes del control sintético en los periodos mencionados, pero estos frentes fríos no afectaron la región de California, por lo que su demanda no se vio afectada por estos cambios drásticos de temperatura. Esto explicaría las diferencias en el control sintético durante estos periodos cortos.

Debido a esta razón se decidió realizar un nuevo control sintético que contuviera una región más cercana geográficamente a California, para que pudiera compartir estos eventos climáticos. Se tomó la decisión de colocar la región Suroeste en lugar de Tennessee, que es la de menor peso en el último modelo. A continuación, se presentan los resultados de este nuevo control sintético.

Tabla 5. 2o grupo de donantes y su peso ponderado (suavizado)

<u>Donante</u>	<u>Peso w</u>
Carolinias	0.012
Florida	0.256
Suroeste	0.144
Texas	0.588

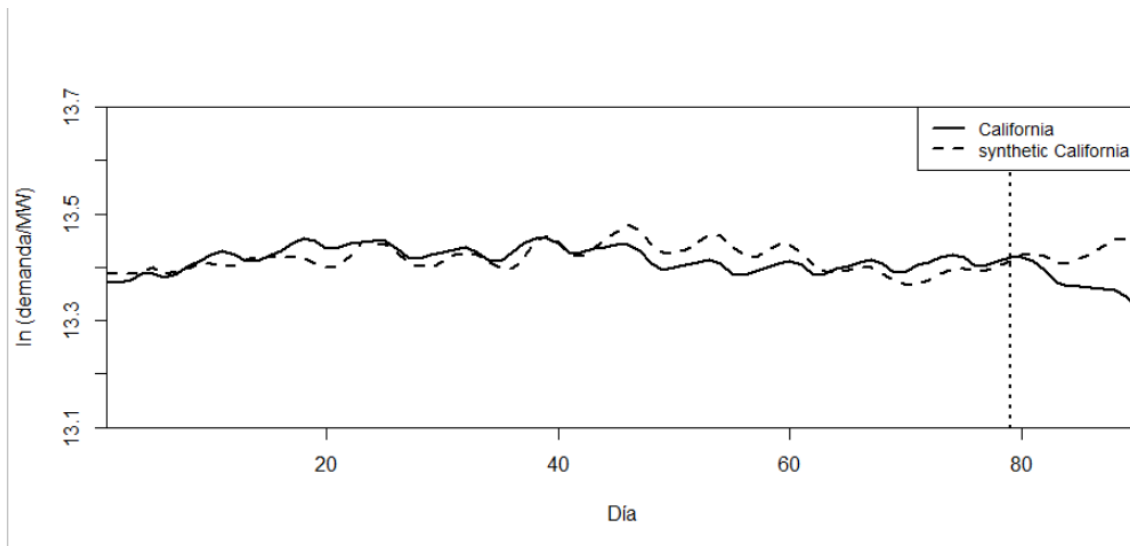
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. 2o grupo de donantes y el peso ponderado de sus características (suavizado)

<u>Característica X</u>	<u>Peso γ</u>
Temperatura diaria promedio	0.118
Precio promedio	0.300
Población	0.002
Participación en el PIB	0.000
Unidades de vivienda	0.005
Ingreso familiar promedio	0.216
Número de empresas	0.013
Valores promedio de Y (5,14)	0.137
Valores promedio de Y (19,27)	0.042
Valores promedio de Y (60, 69)	0.168

Fuente: Elaboración propia.

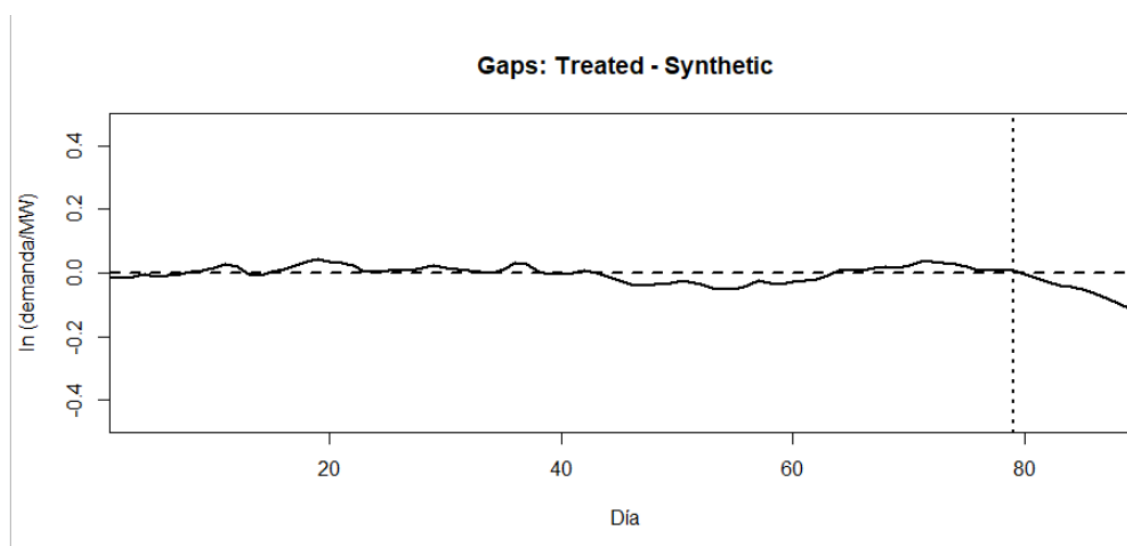
Figura 10. California y su control sintético suavizado 2o grupo



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar a simple vista, el control sintético mejoró con la inclusión de la región Suroeste. Ahora el mayor peso w pertenece a Texas (58.8%) y el Suroeste tiene una participación de 14.4%. Para las características tenemos que la temperatura ahora juega un papel más relevante con un peso de 0.118, y el ingreso familiar promedio también tuvo un incremento importante en el control sintético, ahora con un peso de 0.216. Estos cambios se pueden deber a que ahora existen un par de donantes (Texas y Suroeste) que comparten más características por la cercanía geográfica con California. Las diferencias entre la demanda de California y su control sintético se pueden observar en la siguiente gráfica.

Figura 11. Gráfica de diferencias 2o grupo de donantes



Fuente: Elaboración propia.

En esta gráfica se puede observar que las diferencias ahora son menores en el periodo pre-confinamiento, mientras que la tendencia a aumentar la brecha continua después de la intervención. El impacto de la pandemia aumenta conforme pasan los días después del confinamiento hasta llegar a un máximo el día 90. Para este día en particular (30 de marzo de 2020) la demanda de energía eléctrica tiene una caída del **11.6%** con respecto al control sintético.

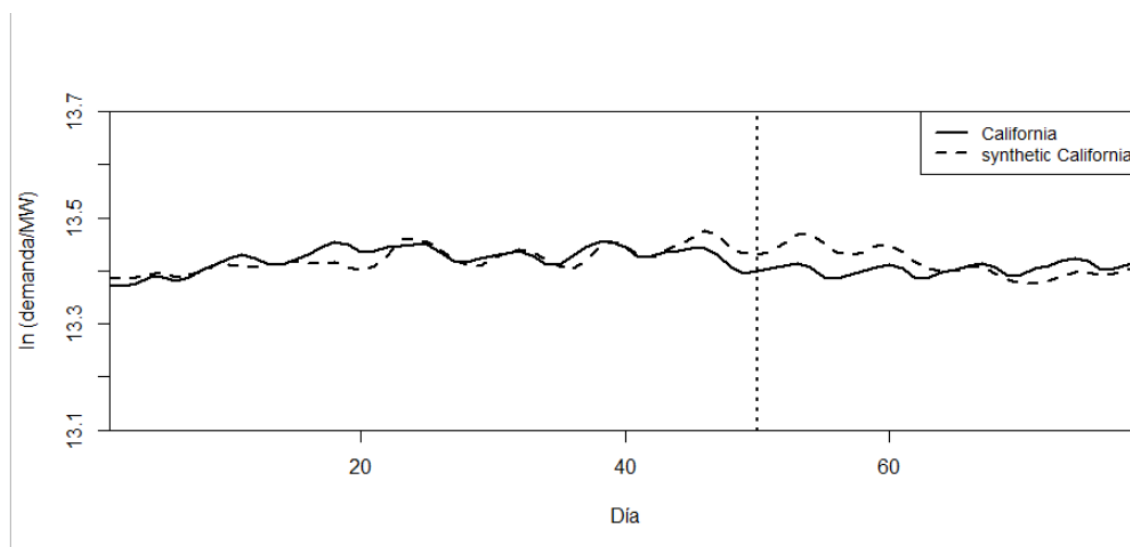
La limitación principal con este último control sintético es que la región Suroeste incluye al estado de Nuevo México, que entró en confinamiento el 24 de marzo. Nuevo México no puede

ser separado de la región debido a que los datos son por zona. Esto pudo afectar al control sintético en el periodo post-confinamiento, reduciendo el impacto de la intervención. Otra limitación es que sigue habiendo diferencias en el periodo pre-intervención que podrían ser consideradas importantes. Aun con estas limitaciones se puede extraer una conclusión valiosa del efecto de la medida de confinamiento sobre la demanda eléctrica

Placebos

A manera de inferencia se corrieron un par de placebos para evaluar la credibilidad del método. El primer placebo fue de tiempo, y lo que se hizo fue cambiar el día de la intervención a otro día en el periodo pre-confinamiento. La idea es crear un contrafactual de la demanda eléctrica de California antes de este nuevo shock y verificar que en el periodo post-intervención no exista alguna diferencia importante entre California real y su sintético.

Figura 12. Placebo de tiempo



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica anterior se puede observar que tanto en el periodo pre-intervención como en el periodo post-intervención no existen diferencias importantes entre la demanda de California y su control sintético. Con esto se puede verificar que la diferencia entre el sintético y el real se debe precisamente a la intervención y no al método.

Adicionalmente se realizó un placebo de lugar. Este consistía en crear un control sintético de cada una de las regiones, tomando como grupo de donantes al resto de las regiones incluyendo California. La idea con este placebo es observar que las diferencias entre el sintético post-intervención y la demanda eléctrica de la región es mayor en la región de interés que en el resto de las regiones, debido a que solo esta había sufrido la intervención.

Para tener un parámetro de estas diferencias se calculó la raíz del error de predicción cuadrático medio (REPCM) mediante la siguiente expresión

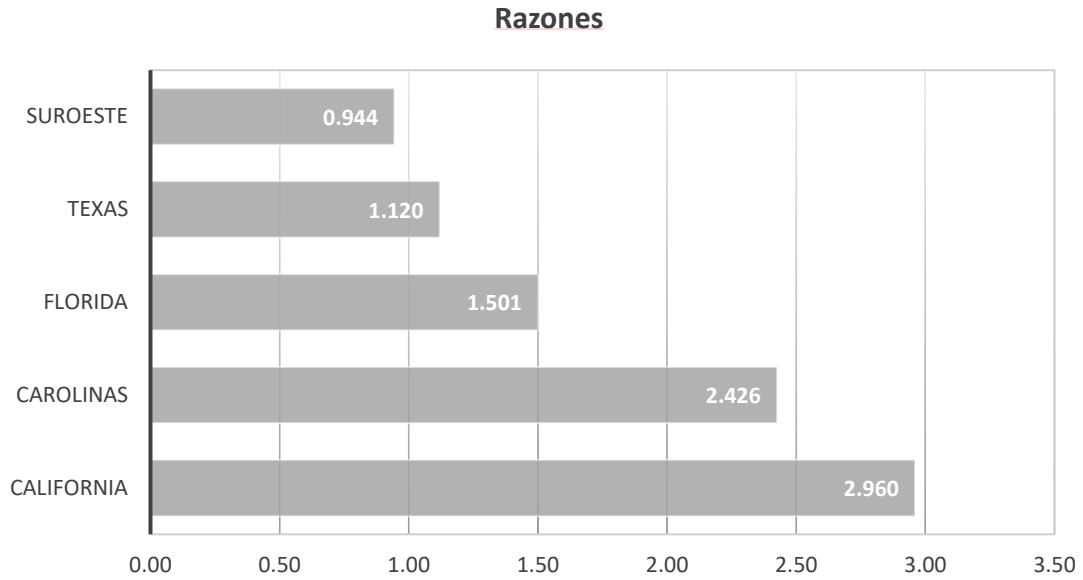
$$REPCM = \left(\frac{1}{T_0} \sum_{t=1}^{T_0} \left(Y_{1t} - \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Y_{jt} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (4)$$

Esto simplemente quiere decir que tomaremos el cuadrado de las diferencias entre la demanda real de la región y su control sintético, y las sumaremos para dividir las entre el total de periodos y finalmente obtener la raíz cuadrada de este resultado. Esto se realizará para obtener el REPCM del periodo pre-intervención y otro REPCM del periodo post-intervención. Finalmente sacaremos la razón entre estos dos valores de acuerdo con la siguiente fórmula

$$Razón = \frac{REPCM \text{ post} - \text{confinamiento}}{REPCM \text{ pre} - \text{confinamiento}} \quad (5)$$

Justamente esta razón será el valor que servirá de comparación durante este placebo. Los resultados de las razones se presentan en el siguiente gráfico.

Figura 13. Placebo de lugar - razones



Fuente: Elaboración propia.

Al observar las razones, se puede notar que el valor más grande lo tiene nuestra región de interés (California), lo cual tiene sentido ya que fue la única zona que tuvo confinamiento en el panel de estudio. Esto demuestra, nuevamente, que la diferencia entre el sintético y la demanda real se debe a la intervención, no al método.

6. *Conclusiones generales*

La pandemia por COVID-19 fue un suceso que marcó a la humanidad y que dejará afectaciones que durarán mucho tiempo. Esta experiencia también puede dejar mucho aprendizaje, y a la fecha son incontables las investigaciones enfocadas a la pandemia y sus consecuencias. Una de las medidas extremas que se usó para frenar la ola de contagios fue el confinamiento en los hogares, y se tomó teniendo en cuenta que lo primero es la salud. Esto trajo consecuencias en muchos aspectos de la vida diaria, pero uno muy importante en la vida nacional es el consumo de energía eléctrica.

Este trabajo se enfocó en observar y medir el impacto de la medida de confinamiento por la pandemia de COVID-19 en la demanda eléctrica. Para esto se usó el método de control sintético para crear un contrafactual y tener una unidad de comparación que permitiera observar la diferencia entre lo que sucedió con el confinamiento y que hubiera pasado de no tener esta medida.

Los resultados presentados muestran que este contrafactual tuvo un comportamiento muy similar en el periodo pre-intervención, por lo que se podía usar para medir el impacto del confinamiento en la demanda en el periodo post-intervención. A partir del confinamiento, y de acuerdo con los resultados presentados en esta investigación, se puede concluir que, para el estado de California 11 días después de iniciado el confinamiento, tuvo una caída en la demanda eléctrica del 12% aproximadamente solo para el día 30 de marzo de 2020.

La importancia de esta investigación radica en que se presentó el método de control sintético como una herramienta para medir el impacto de la medida de confinamiento. Esto podría ser replicado en cualquier parte del mundo siempre y cuando se den las condiciones aquí mencionadas.

Un aspecto importante es la elección del grupo de donantes. Recordemos que deben ser unidades similares a nuestro grupo de interés. En esta investigación una parte importante que afectaba la demanda eléctrica era el clima, por lo que es importante tener unidades en el grupo

de donantes que compartan esto con la unidad de interés. Para este trabajo sí es importante la localización geográfica, que puede ayudar a que las unidades sean más parecidas. Si este trabajo se replicará, se tendría que tomar en cuenta esto para mejores resultados. Por ejemplo, en el caso de México se podría llevar a cabo a nivel municipal, para que la posición geográfica no sea tan distante.

El trabajo se podría aplicar al caso residencial para medir el impacto de la medida de confinamiento en la demanda eléctrica. Este impacto fue directo a los bolsillos de los hogares y se podría tener una estimación numérica de este shock.

Una limitación que se presentó durante este trabajo fue la naturaleza ruidosa de los datos. La demanda es muy variable y es afectada por el clima, que también es muy inestable. A pesar de esto, se pudo extraer la tendencia de este comportamiento para llevar a cabo el método. Probablemente en estudios alternativos, se podría probar métodos diferentes de suavización para ver resultados más estables.

La principal conclusión es que este tipo de estudios sobre el impacto de las medidas de confinamiento en la demanda eléctrica pueden ayudar a crear políticas públicas que protejan tanto a los individuos como a las empresas en casos de contingencia, teniendo un mejor panorama sobre las consecuencias de estas medidas y como mitigarlas.

7. *Referencias*

Abadie, A., Diamond, A., & Hainmueller, J. (2015). Comparative politics and the synthetic control method. *American Journal of Political Science*, 59(2), 495-510.

Abdeen, Ahmed & Kharvari, Farzam & Gunay, Burak. (2021). The Impact of the COVID-19 on households' hourly electricity consumption in Canada. *Energy and Buildings*. 250. 111280. 10.1016/j.enbuild.2021.111280.

Auffhammer, M., & Aroonruengsawat, A. (2011). Simulating the impacts of climate change, prices and population on California's residential electricity consumption. *Climatic change*, 109(1), 191-210.

Bahmanyar, A., Estebansari, A., & Ernst, D. (2020). The impact of different COVID-19 containment measures on electricity consumption in Europe. *Energy research & social science*, 68, 101683. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101683>

Beyer, R.C.M.; Franco-Bedoya, S.; Galdo, V. Examining the economic impact of COVID-19 in India through daily electricity

Carvalho, M, Bandeira de Mello Delgado, D, de Lima, KM, de Camargo Cancela, M, dos Siqueira, CA, de Souza, DLB. Effects of the COVID-19 pandemic on the Brazilian electricity consumption patterns. *Int J Energy Res*. 2021; 45: 3358– 3364. <https://doi.org/10.1002/er.5877>
consumption and nighttime light intensity. *World Dev*. 2021, 140, 105287. [CrossRef]

Demanda eléctrica por hora. (s. f.). U.S. Energy Information Administration. Recuperado en febrero de 2022, de <https://www.eia.gov/>
<https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101639>.

Hancevic, P., & Sandoval, H. (2022). Differential Impact of COVID-19 on the Energy Consumption of Residential and Business Sectors. Artículo en revisión

Índices agregados. (s. f.). U.S. Census Bureau. Recuperado en febrero de 2022, de <https://www.census.gov>

López Javier, Sungmin O, (2020). Impact of COVID-19 Measures on Short-Term Electricity Consumption in the Most Affected EU Countries and USA States, *iScience*, Volume 23, Issue 10, 101639, ISSN 2589-0042,

Participación en el PIB. (s. f.). U.S. Bureau of Economic Analysis (BEA). Recuperado en febrero de 2022, de <https://www.bea.gov/>

Rosa Fernández. (16/04/2021). COVID-19: casos confirmados, muertes y recuperados en Estados Unidos en 2020. 25/01/2022, de Statista Sitio web: <https://es.statista.com/estadisticas/1107601/covid-19-casos-confirmados-muertes-por-dia-ee-uu/>

Ruan, Guangchun and Wu, Dongqi and Zheng, Xiangtian and Sivaranjani, S. and Zhong, Haiwang and Kang, Chongqing and Dahleh, Munther A. and Xie, Le, A Cross-Domain Approach to Analyzing the Short-Run Impact of COVID-19 on the U.S. Electricity Sector. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3631498> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3631498>

Soava, G., Mehedintu, A., Sterpu, M., & Grecu, E. (2021). The Impact of the COVID-19 Pandemic on Electricity Consumption and Economic Growth in Romania. *Energies*, 14(9), 2394. doi:10.3390/en14092394

Temperatura diaria promedio. (s. f.). National Oceanic and Atmospheric Administration. Recuperado en febrero de 2022, de <https://www.noaa.gov/>

8. Apéndice: Método Control Sintético

Se tienen $J+1$ unidades (por ejemplo, países, estados) indexados por la letra j , donde la unidad $j=1$ es nuestro caso de interés y de $j=2$ a $j= J+1$ son las unidades potenciales de comparación. La unidad $j=1$ es la que está expuesta al evento o intervención de interés, y las unidades de $j=2$ a $j= J+1$ constituyen su grupo de donantes (un grupo de potenciales unidades de comparación).

Debido a que las unidades de comparación serán usadas para aproximar el contrafactual del caso de interés en el periodo pre-intervención, es importante restringir el grupo de donantes a unidades con características similares, y que la variable de interés (por ejemplo, PIB, demanda eléctrica) no haya sido afectada por intervenciones durante el periodo de estudio.

Se asume que la muestra es un panel balanceado, que es un conjunto de datos longitudinal donde todas las unidades son observadas en los mismos periodos, $t=1, \dots, T$. También se asume que la muestra incluye un número positivo de periodos pre-intervención, T_0 , como un número positivo de periodos post-intervención, T_1 , donde $T= T_0 + T_1$. La unidad $j=1$ es expuesta a la intervención de interés durante los periodos $T_0 + 1, \dots, T$, y la intervención no tiene efecto durante los periodos $1, \dots, T_0$. El objetivo del estudio es medir el efecto de la intervención de interés en alguno de los periodos post-intervención.

Como se mencionó antes, el control sintético se define como el promedio ponderado de las unidades en el grupo de donantes. Esto es, un control sintético puede ser representado por un vector $(J \times 1)$ de pesos $W= (w_2, \dots, w_{J+1})$, con $0 \leq w_j \leq 1$ para $j=2, \dots, J$ y $w_2 + \dots + w_{J+1}=1$. Tomar un valor particular de W es equivalente a escoger un control sintético. Para esto, se debe escoger W a manera de que las características del control sintético se asemejen lo mejor posible a las características de la unidad de interés.

Sea X_1 un vector $(k \times 1)$ que contiene los valores de las características previas a la intervención de la unidad tratada que pretendemos igualar lo más posible, y sea X_0 la matriz $k \times J$ que recoge los valores de las mismas variables para las unidades en el grupo de donantes.

Las características pre-intervención en X_1 y X_0 pueden incluir los valores pre-intervención de la variable de interés.

La diferencia entre las características de la unidad tratada y el control sintético está dada por el vector $X_1 - X_0W$. Se debe seleccionar un control sintético, W^* , de tal manera que minimice el tamaño de esta diferencia. Esto se puede lograr de la siguiente manera. Para $m=1, \dots, k$, sea X_{1m} el valor de la m -ésima variable para la unidad tratada o de interés, y sea X_{0m} un vector de $1 \times J$ que contiene los valores de la m -ésima variable para las unidades del grupo de donadores. Por lo tanto, se escogerá W^* a manera de minimizar la siguiente expresión

$$\sum_{m=1}^k v_m (X_{1m} - X_{0m}W)^2 \quad (1)$$

donde v_m es un peso que refleja la importancia relativa que se le asigna a la m -ésima variable cuando se mide la discrepancia entre X_1 y X_0W .

Ahora, sea Y_{jt} la variable de interés de la unidad j en el tiempo t . Además, sea Y_1 el vector $(T_1 \times I)$ que colecta los valores de la variable de interés para la unidad tratada. Esto es $Y_1 = (Y_{1T_0+1}, \dots, Y_{1T})$. De la misma manera, sea Y_0 una matriz $(T_1 \times J)$, donde la columna j contiene los valores post-intervención de la variable de interés para la unidad $j+1$. La estimación del impacto de la intervención viene dado de la comparación entre las variables de interés post-intervención de la unidad tratada, que fue expuesta a la intervención, y el control sintético, que no estuvo expuesto a la intervención, $Y_1 - Y_0W^*$. Esto es, para un periodo t en la post-intervención ($t \geq T_0$), el estimador del impacto de la intervención esta dado por la comparación entre la variable de interés en la unidad tratada y la variable de interés para el control sintético:

$$Y_{1t} - \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Y_{jt} \quad (2)$$