



Tesis de Grado

Departamento de Economía

Licenciatura en Economía

# **El costo del calentamiento global: mecanismos de adaptación a una nueva realidad**

Autores: Matias Belsito, Ariel Cohen, Paloma Holgado

Tutor: Mariano Rabassa

Agosto 2021

# 1. Introducción

En la actualidad, la discusión acerca del impacto del cambio climático sobre el ecosistema ha tomado un rol protagónico en la agenda política de los países. La emisión de gases invernaderos producidos por el desarrollo de la actividad humana, provoca múltiples alteraciones en los ecosistemas a nivel global, ampliando la variabilidad tanto de las temperaturas como de las precipitaciones y aumentando la frecuencia fenómenos climáticos tales como sequías, ciclones o incendios que llegan a ser devastadores para la población del lugar.

Desde el desarrollo de la actividad industrial, el calentamiento global se ha profundizado en aproximadamente  $1^{\circ}\text{C}$  respecto al período 1750-1800 y se estima que, si el mismo continúa creciendo a la misma tasa, alcanzará los  $1.5^{\circ}\text{C}$  entre 2030 y 2052 (*Global Warming of  $1.5^{\circ}\text{C}$ . An IPCC Special Report on the impacts of global warming of  $1.5^{\circ}\text{C}$  above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (Masson-Delmonte et al, 2018)).

Adicionalmente, según el *IPCC's Fourth Assessment Report (AR4)* (IPCC, 2007), el nivel del mar se ha elevado en promedio a una tasa de 3.1 milímetros por año, mientras que los niveles de nieve en los picos montañosos han disminuido y las olas de calor han aumentado su frecuencia. Durante el período de 1970 a 2004, la emisión de dióxido de carbono ha crecido en un 80 % y desde el 2000, la emisión por unidad de energía provista se encuentra en aumento. Por lo tanto, el cambio climático no constituye solamente un problema a futuro, sino uno extremadamente relevante para el presente.

Los efectos del clima ponen en riesgo los ecosistemas y, a su vez, atentan contra un desarrollo sostenible de las sociedades. La exposición a temperaturas extremas trae aparejados múltiples costos, puesto que estas impactan en la salud de las personas. Entre los impactos potenciales del cambio se encuentra un aumento de las tasas de mortalidad. Por ende, en aquellos países menos desarrollados, donde la pobreza alcanza niveles realmente altos y los recursos son escasos, la población enfrenta un riesgo aún mayor.

Frente a estas alteraciones, las sociedades desarrollan mecanismos de adaptación, cambios en su comportamiento vinculados al uso intensivo de tecnologías. En particular, uno de los principales motores de esta adaptación es el uso del aire acondicionado. Estas medidas que ayudan a suavizar el impacto, sin embargo, acarrear otros costos.

En la Argentina, la demanda eléctrica ha registrado un aumento del 52 % entre el 2003

y el 2014. Este crecimiento exponencial y sostenido, en conjunto con la baja proporción de artefactos con alta eficiencia energética, ha generado cuellos de botella y problemas de distribución a lo largo del país, principalmente en verano (Beyrne et al, 2015). El uso intensivo del aire acondicionado supone un potencial aumento en el consumo para los días situados en el extremo derecho de la distribución de temperatura. Mientras que en el invierno, una parte considerable de la población utiliza la calefacción a gas para hacer frente al frío, motivada en gran parte por el menor precio relativo al de la electricidad en provincias como Santa Fe o Córdoba (Mastronardi et al, 2016), lo que indicaría cierta estabilidad en el consumo para estos valores.

En este trabajo buscamos micro fundamentar estos costos de adaptación que, en conjunto con los de mortalidad, constituyen el *social cost of carbon*, para la Argentina. A tal fin, el trabajo complementario *Valoración de la mortalidad atribuible a las temperaturas extremas actuales y al cambio climático futuro* (Rabassa et al, 2020), nos ayudará a fundamentar este análisis.

Con este objetivo, documentaremos y estudiaremos la relación entre las temperaturas diarias y el consumo de energía residencial en el país. De esta manera, el análisis de la evidencia empírica permitirá evaluar la existencia de una relación positiva y no lineal entre el aumento de los días situados en los extremos de la distribución y el consumo.

A modo de marco conceptual, utilizaremos el trabajo realizado por Deschênes & Greenstone en el paper *Climate Change, Mortality, and Adaptation: Evidence from Annual Fluctuations in Weather in the US*. El modelo utilizado seguirá una estructura similar, cuya variable dependiente será el logaritmo del consumo eléctrico. El hábito de utilizar energía eléctrica para caleccionarse que poseen los norteamericanos, también genera un efecto en el extremo izquierdo de la distribución. Las diferencias metodológicas y de la construcción de las variables se abordarán más adelante.

Al tomar al consumo eléctrico como proxy, nuestro ejercicio buscará estimarlo a partir de múltiples regresiones, cuyas variables explicativas abordarán datos sobre temperaturas por región y por año, precipitaciones, población y otros efectos fijos por estado que permitirán capturar aquella parte de la variabilidad referente a políticas particulares, subsidios y nivel económico.

Con la intención de evaluar la heterogeneidad presente dentro del país, la estructura de la base utilizada será del tipo datos de panel. En consecuencia, utilizaremos a los departamentos como dimensión transversal mientras que la temporal contempla el período comprendido entre 2003 y 2011. Asimismo, la temperatura fue trabajada a partir de diez bins de tempe-

ratura que comprenden intervalos de 10°F, los cuales generan mayor flexibilidad, puesto que la pendiente estimada cambiará para los distintos intervalos.

Ante la ausencia de datos de temperatura a nivel departamental procedimos a crearlos a partir de los datos registrados por las estaciones meteorológicas del país mediante un método de interpolación. Este método se conforma de tres pasos, en primer lugar, se calcula la ubicación del centro geográfico correspondiente al municipio involucrado. Luego, se computa la distancia de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro de un radio de 100km respecto del centro en cuestión. Por último, se hace un promedio del clima registrado en las estaciones involucradas, ponderado por la inversa de la distancia de éstas respecto al centro.

En las estimaciones encontramos que existe una relación no lineal y positiva entre el aumento de la cantidad de días ubicados en el extremo derecho de la distribución de temperaturas y el consumo de energía residencial. Al observar los resultados, veremos que los bins 6 y 10, que corresponden a los rangos de >90°F y 50°-60°F, son los únicos significativos al 10 %, afirmando el efecto positivo sobre el extremo derecho de la temperatura. Si bien el resto de los bins no son significativos individualmente, los coeficientes muestran una tendencia muy similar a la esperada, estos son negativos y pequeños para las temperaturas bajas, mientras que, desde el bin 6 (rango 50°-60°F), los mismos son positivos. Esto es relevante ya que, mediante el test F, vemos que estas son significativas al 10 % conjuntamente.

Por otro lado, veremos que el control por efectos fijos constituye un valor fundamental para explicar tal efecto. Estos capturan una gran parte de la variabilidad del modelo, dado que cada departamento aplica políticas propias y variables a lo largo del período analizado.

## 2. Revisión de la literatura

En esta sección nos encargaremos de revisar la literatura relacionada con la estimación de los costos de adaptación al cambio climático. En el plano internacional se encuentra el paper Deschenês & Greenstone (2011) *Climate Change, Mortality, and Adaptation: Evidence from Annual Fluctuations in Weather in the US*. Los autores descomponen el efecto que tiene el clima sobre la mortalidad y el efecto de la adaptación al mismo. Generan un modelo conceptual en el que parten de una función de utilidad  $U = U[X_c, s]$  compuesta por dos variables, un bien de consumo,  $X_c$ , y otro bien,  $s$ , que representa la probabilidad de sobrevivir. Dicha probabilidad esta condicionada a la temperatura y a un bien que mejore las probabilidades de supervivencia  $s = (X_h, T)$ . Llevando esto a un ejemplo concreto, ante un día de mucho calor,

aquellos que tienen el acceso a un ventilador o aire acondicionado, tienen la posibilidad de adaptarse a las altas temperaturas de mejor manera que aquellos que no tienen el acceso a dichos bienes privados. A su vez, en estos escenarios de días calurosos, el consumo de energía eléctrica de parte de los agentes tenderá a subir para compensar el aumento de temperatura. También se puede argumentar que en el otro extremo, en el cual se encuentran los días con temperaturas muy bajas, el consumo eléctrico tenderá a subir para calefaccionarse lo cual se podrá observar en los resultados del paper. Sin embargo, para el caso de Argentina éste efecto no se verá tan pronunciado debido que la manera más regular de calentar el hogar es con calefacción a gas. Con este enfoque se puede estimar el costo en el bienestar de la variación interanual del clima.

Luego, el paper estudia la relación entre las temperaturas diarias; la fuente de la relación entre las extremas temperaturas y el ratio de mortalidad anual; estima el efecto de la temperatura en el consumo de energía residencial y por último se relaiza un modelo de predicción de los impactos del cambio climático en la mortalidad anual y el consumo de energía residencial. Para seguir la línea de nuestro trabajo, pondremos el enfoque en los resultados de la tercera sección. Los autores plantean una regresión donde estiman el logaritmo natural del consumo de energía en la cual incluyen efectos fijos por Estado y año y controlan por las precipitaciones, la temperatura y el ingreso. Previamente construyen diez bins de temperatura, diez variables que representan el número de días en el Estado  $s$  y el año  $t$  donde cada una está compuesta por el número de días en el Estado  $s$  en el año  $t$  en los que la temperatura media diaria se encuentra en el intervalo número  $j$  de los 10 utilizados. En los resultados se encuentra un gráfico en forma de U, del cual se entiende que cuando las temperaturas son extremadamente frías o calurosas, el consumo de energía tiende a aumentar.

El paper utiliza datos de panel para modelar el impacto del cambio climático en el cambio de consumo de energía residencial. Una de las ventajas de utilizar un modelo econométrico de datos de panel, es que estos incluyen más información, mayor variabilidad que los análisis de series de tiempo y de corte transversal. A su vez, para este ejemplo, agregan que los Estados son heterogéneos, factor que con los otros estudios no sería controlado, por lo que se correría el riesgo de tener estimaciones sesgadas. La desventaja es que el modelo utilizado asume que la covarianza entre una o más variables explicativas es distinta a 0, es decir, supone que existe una correlación entre el error y dichas variables. Entonces, uno se puede encontrar con estimaciones sesgadas e inconsistentes. Otro problema que se presenta con datos de panel es que el número de parámetros inobservables crece con el número de observaciones. Sin embargo, esto se puede reducir controlando por efectos fijos. En la practica, otra desventaja es que pueden existir situaciones en las que no se cuentan con todos los datos de información

temporal para los de corte transversal.

Por el otro lado, en el marco internacional hay otro trabajo hecho por Aroonruengsawat y Auffhammer (2009). En el capítulo *The Economics of Climate Change: Adaptations Past and Present* utilizan micro-datos de panel, donde se enfocan únicamente en el Estado de California. Aquí simulan como el consumo de electricidad residencial es afectado por diferentes escenarios de cambio climático. El estudio tiene tres contribuciones específicas a la literatura en cuestión. En primer lugar, es el primer estudio que analiza la influencia del cambio climático en el uso doméstico de la electricidad utilizando un panel de datos de facturación eléctrica a nivel de los hogares. Segundo, da lugar a una respuesta geográficamente específica a las fluctuaciones meteorológicas en el uso de la electricidad. Por último, examina las características socioeconómicas y físicas de la población para ver si pueden explicar parte de la variación de la respuesta a la temperatura.

La ecuación econométrica que hacen los autores es como la de Deschênes & Greenstone, un modelo log-lin donde la variable dependiente es el logaritmo natural del consumo eléctrico por hogar durante el periodo de facturación  $t$ . Para cada una de las dieciséis zonas climáticas contempladas en la sección de datos, la ecuación es estimada de forma independiente. La razón es que es de esperar que la relación entre el consumo y la temperatura varíe a lo largo de estas zonas, ya que hay una mayor tendencia a calefaccionar en las zonas más al norte y de mayor altitud, y una mayor tendencia a enfriar en las zonas interiores más calurosas de California, donde se produce poco calentamiento. Una diferencia a tener en cuenta está presente en el armado de las bins de temperatura. En vez de que cada bin sea compuesta por los días que pertenezca a su intervalo de temperatura definido, 10<sup>o</sup>F en el caso del primer paper mencionado, toman otro camino. El mismo consiste en dividir las distribuciones de temperatura de cada una de las dieciséis zonas en un conjunto de percentiles y utilizarlos como intervalos de clasificación. Al garantizarse la cobertura de cada uno de los intervalos, esta última opción permite una estimación más precisa de los coeficientes. La técnica de los intervalos equidistantes corre el riesgo de tener relativamente pocas observaciones en algunos de ellos, lo que da lugar a estimaciones inestables de los coeficientes, sobre todo en los extremos.

Finalmente, los resultados del paper no solo son consistentes con los de Deschênes & Greenstone sino que también se observa que el efecto que tienen las temperaturas más altas en el consumo de energía es más profundo que el presentado en el otro paper. La reacción a la temperatura varía fuertemente a través de las distintas zonas climáticas de California, presentando resultados en una curva plana, una curva en U o una curva en forma de palo de hockey. Esto puede ser ignorado en un estudio agregado por Estado, lo cual habría que

tener en consideración para no subestimar el consumo futuro de electricidad.

En la literatura nacional se puede hallar el estudio de Mastronardi, Sfeir y Sánchez, (2016). Este trabajo exhibe modelos estacionales y cuadráticos, los cuales consideran el efecto que tiene el clima y otras variables adicionales en la demanda del consumo de energía eléctrica. El paper estudia las regiones AMBA, Córdoba, Mendoza, Tucumán y Santa Fe debido a que argumentan que la demanda de energía se reúne principalmente en los centros urbanos. Y es por eso que utilizan la información de las distribuidoras de dichas áreas. Los autores generan tres modelos, para invierno (abril-septiembre) y verano (octubre-marzo) para cada región. El primero es un modelo lineal, el segundo es log-lineal y el tercero cuadrático. Regresan el consumo energético contra la temperatura y agrega la particularidad de controlar por si el día era laboral o no. Los resultados del análisis son consistentes con los de la literatura. Para cada región se halla una curva en forma de U de la cual nuevamente se desprende que a temperaturas más frías y más calientes se consume más energía. Con un efecto más pronunciado en los días calurosos. Este trabajo es muy similar al paper de Beyrne, Malvicino y Trajtenberg (2015). La diferencia es que el último no exhibe un modelo cuadrático y aunque no hace un enfoque particular en las regiones previamente mencionadas, sino que el análisis es para toda Argentina y a su vez, ambos llegan a los mismos resultados.

A su vez existen papers con un enfoque más micro, por ejemplo el de Flippín & Larsen el cual analiza el consumo de histórico de gas en los apartamentos de un edificio con dos bloques, uno al norte y el otro al sur, ubicado en la provincia de la Pampa. Uno de los resultados a los que llegaron es que el bloque sur consumía 78% más de gas que el de norte. Resultado que se lo adjudicaron a la menor recepción de energía solar y mayor exposición a fuertes vientos de parte del bloque sur. Implicando un efecto del clima en el consumo de energía.

Nuestro trabajo replica el paper de Deschênes & Greenstone, utiliza datos de panel y se concentra en hacer un estudio a nivel agregado, es decir, nacional. A pesar de que mantenemos el método y hacemos una regresión log-lin, nos diferenciamos de la literatura hecha en Argentina dado que no presentamos un modelo estacional (invierno y verano) sino que generamos bins de temperatura de 10°F y esto provee la oportunidad de tener un mayor detalle a la hora de analizar los efectos de la temperatura en el consumo de energía.

### 3. Metodología

Esta sección está dedicada a explicar el modelo econométrico utilizado para estimar la relación entre la temperatura y el consumo de energía. Para este estudio nos basamos en la ecuación propuesta por Deschenês & Greenstone (2011), adaptándola a la disposición de datos para la Argentina.

El modelo econométrico utilizado es un modelo de datos de panel, para el cual la dimensión temporal definida son los años entre 2003 y 2011, y la dimensión transversal es un código que fue generado para poder distinguir cada combinación única a nivel departamento-provincia, para las cuales se recompilaron datos climáticos y de consumo de electricidad. La implementación de un modelo de datos de panel nos permite controlar por efectos que repercuten sobre la variable endógena que no pudieron ser incluidos en las variables explicativas por falta de datos para la Argentina. El modelo utilizado está definido por la siguiente ecuación:

$$\ln(C_{dst}) = \sum_j \theta_j^{TMEAN} TMEAN_{dstj} + \delta^{PREC} PREC_{dst} + \mathbb{X}_{dst} \beta + \alpha_s + \varepsilon_{st} \quad (1)$$

Como variable dependiente tomamos el logaritmo natural del consumo residencial de electricidad en el año  $t$ , en el departamento  $d$  de la provincia  $s$ . Como variables explicativas tenemos, principalmente, la cantidad de días en el departamento  $d$  de la provincia  $s$  en el año  $t$  donde la temperatura media pertenece al bin número  $j$ . Para poder capturar el efecto del clima sobre el consumo de energía modelamos los registros diarios de temperaturas medias en cada departamento en intervalos de  $10^{\circ}$  Fahrenheit denominados como *bins*. En total se formaron diez bins que comprenden desde temperaturas menores a  $10^{\circ}$ F, hasta mayores a  $90^{\circ}$ F. La ventaja de construir bins de temperatura se encuentra en que generan flexibilidad ya que la pendiente estimada cambia para los diferentes intervalos. Sin embargo, una limitación de este método surge del riesgo de tener pocas observaciones para ciertos bins, sobre todo en los extremos, y que por ende la estimación de los coeficientes resulte inestable.

Adicionalmente, consideramos como variable independiente la precipitación total anual por departamento, medida en milímetros. Deschênes & Greenstone utilizan intervalos de precipitación de 5 pulgadas, siguiendo el mismo procedimiento que para los bins de temperatura, pero en este caso no consideramos que la precipitación sea una variable que tuviera el mismo nivel de relevancia que la temperatura, por ende descartamos los bins de precipitación e incluimos simplemente el nivel total de precipitación anual en cada departamento.



Finalmente, incluimos un vector de variables de control que consiste en el logaritmo de la población anual departamental y esta misma variable al cuadrado para capturar el efecto que tiene una mayor cantidad de habitantes sobre la demanda de electricidad. En el caso de Argentina no fue posible hallar datos del producto bruto gubernamental para todos los años entre 2003 y 2011 por lo que no se pudo incluir una variable que controle por el ingreso provincial, como lo hacen Deschênes & Greenstone en su paper. Para lograr capturar estos efectos se introdujeron dummies a nivel provincia-año que permitirían distinguir la heterogeneidad de ciertos factores a través de las unidades provinciales, como por ejemplo las tarifas de electricidad, fijadas por los gobiernos provinciales, y el producto per cápita de cada provincia, que en este caso son inobservables. Entre las desventajas de considerar efectos fijos por provincia se encuentra el hecho de que estos efectos absorben gran parte de la variabilidad del modelo.

Conociendo los métodos de calefacción y refrigeración más comúnmente utilizados en la Argentina, trabajamos con la hipótesis de que en el país los intervalos de temperaturas extremadamente cálidas van a resultar significativos y que sus coeficientes deberían ser positivos, dado que los medios de refrigeración más populares, como el ventilador o el aire acondicionado, funcionan a base de energía eléctrica. Sin embargo, no podemos asumir lo mismo para los intervalos de temperaturas extremadamente frías ya que en Argentina gran parte de los medios de calefacción se alimentan a gas, por lo cual no parece evidente que los coeficientes de estos bins vayan a resultar significativos ni tampoco positivos.

## 4. Datos

Para llevar a cabo este trabajo hubo que compilar datos de tres tipos para los años entre 2003 y 2011 en la Argentina: datos de consumo de electricidad, datos climáticos y datos censales. Los datos de consumo de electricidad anual entre los años 2003 y 2011 fueron recopilados de los informes abiertos del sector eléctrico elaborados por la Secretaría de Energía del Ministerio de Economía de la Argentina. Estos informes incluyen datos de facturación y cantidad de usuarios desglosados por unidad departamental para cada provincia. Los datos de facturación están medidos en mega watts por hora (mWh). De estos datos consideramos para los años entre 2003 y 2011 la facturación residencial y total por departamento, la cantidad de usuarios residenciales en cada departamento y las tres mayores distribuidoras de cada unidad departamental.

Tabla 1 - Consumo de electricidad promedio per cápita

	Histórico	2003	2007	2011
Nacional	2.62	1.67	3.06	3.70
Cuyo	2.30	1.62	2.70	2.87
Litoral	1.72	1.20	1.85	2.35
NOA	1.12	0.80	1.22	1.41
Región Pampeana	2.38	1.87	2.56	2.84
Patagonia	5.90	3.16	7.69	8.04

La Tabla 1 contiene datos descriptivos del consumo de electricidad per cápita entre los años 2003 y 2011 a nivel nacional y regional, medidos en mega watts por hora. Para hacer la separación regional del territorio argentino se consideraron cinco divisiones: Cuyo, el Litoral, el Noroeste Argentino, la Región Pampeana y la Patagonia. Dentro de la región de Cuyo se incluyen las provincias de La Rioja, San Juan, San Luis y Mendoza. El Litoral abarca las provincias de Formosa, Chaco, Santa Fe, Entre Ríos, Corrientes y Misiones. El Noreste Argentino consiste en las provincias de Jujuy, Salta, Tucumán, Catamarca y Santiago del Estero. La Región Pampeana se compone de las provincias de Córdoba, La Pampa y Buenos Aires, incluyendo a la Capital Federal. Por último, para la región de la Patagonia sólo se pudieron conseguir datos para las provincias de Neuquén y Río Negro, por ende las provincias de Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego quedaron fuera del estudio ya que no fue posible recolectar datos climáticos para ellas.

Poniendo el foco sobre la Tabla 1, se puede apreciar que el consumo promedio de energía per cápita aumenta para todas las regiones a medida que pasan los años. Entre 2003 y 2011 se duplicó el consumo de electricidad promedio per cápita, empezando en 1.67 mWh y alcanzando 3.70 mWh al final del periodo. También se puede observar que la región del Noroeste Argentino es consistentemente la región con menor nivel de consumo, teniendo apenas la mitad que regiones como Cuyo o la región Pampeana.

Los datos climáticos fueron obtenidos del Centro de Información Meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional. Estos datos provienen de 71 estaciones meteorológicas que cubren el territorio argentino, desde la provincia de Jujuy hasta Río Negro. Los datos de interés para este análisis son los registros diarios de las temperaturas máximas y mínimas, medidas en grados centígrados, al igual que el nivel de precipitación, medido en milímetros, para los años entre 2003 y 2011.

Dado que los departamentos de cada provincia no cuentan con su propia estación meteorológica, para poder construir los datos climáticos a nivel departamental hubo que asignar las estaciones a los departamentos mediante un método de interpolación. Para lograr esto se calculó la latitud y longitud del centro geográfico de cada departamento y luego la distancia de este punto con respecto a las estaciones meteorológicas cercanas. Se ponderaron los valores de las temperaturas máximas y mínimas diarias, al igual que de la precipitación, registrados por las estaciones meteorológicas que estuvieran dentro de un radio de 100 kilómetros del centro geográfico de cada departamento, utilizando como ponderador la inversa del cuadrado de la distancia entre el centro y la estación. Luego se calculó la temperatura media de cada departamento como el promedio simple entre la temperatura máxima y mínima observada. Finalmente se pudieron construir los datos climáticos de 188 departamentos sobre un total de 527 unidades departamentales en todo el país. En muchos casos los datos climáticos anuales no estaban completos, es decir había menos de 365 observaciones por año, en estos casos se tomó la decisión de deshacerse de aquellos departamentos que tuvieran menos de 294 observaciones en un año, que representa el 80 % del año. De todos modos, de las 2,756 observaciones a nivel departamento-año utilizadas para la regresión, 2,665 contienen 365 observaciones para el año correspondiente.

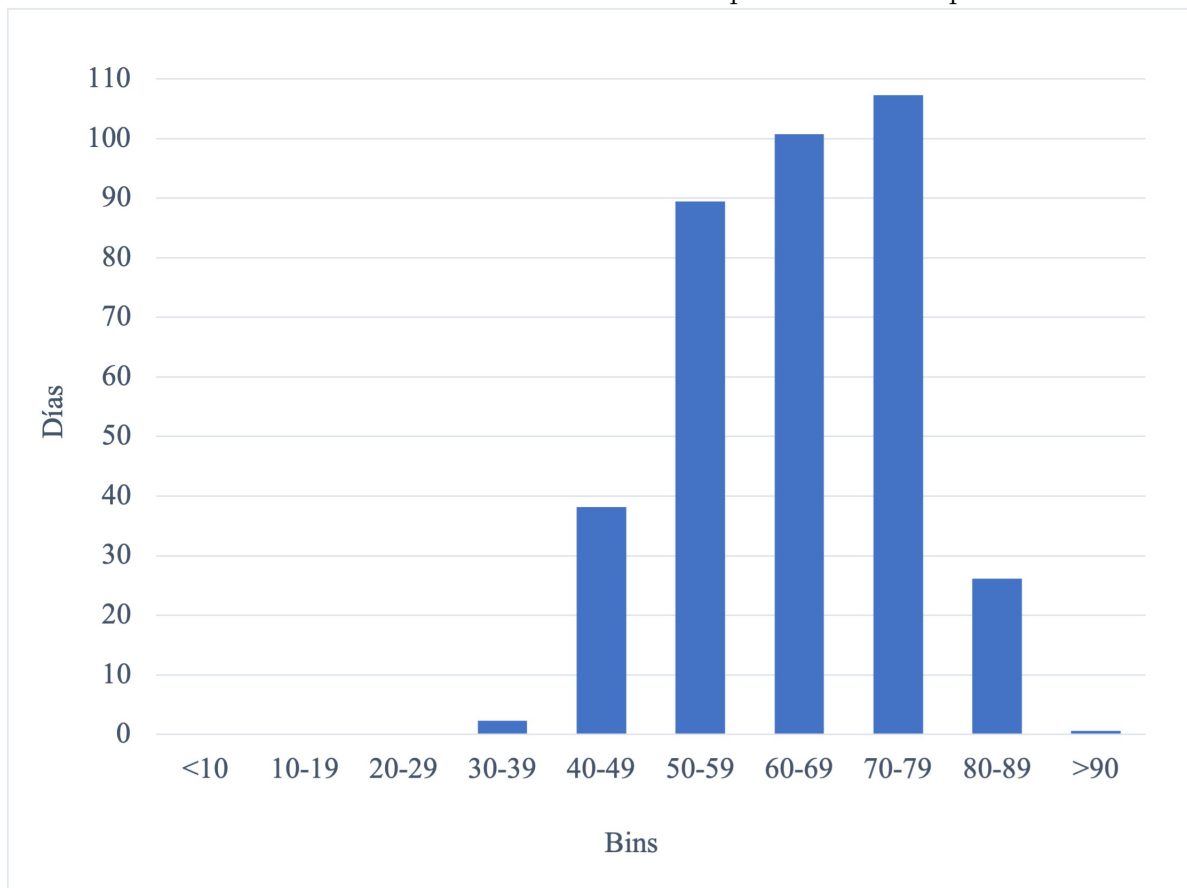
La Tabla 2 contiene datos descriptivos de las temperaturas diarias observadas entre los años 2003 y 2011 a nivel nacional y regional. Estas medidas se calcularon a través de todas las observaciones a nivel región-año y fueron ponderadas por la población de dicha región en el año 2010. La primera fila contiene los promedios de las temperaturas medias, máximas y mínimas a nivel nacional, mientras que las filas siguientes reportan estos datos para las cinco regiones de la Argentina. La primera columna reporta los datos climáticos históricos, es decir un promedio a través de los años entre 2003 y 2011, mientras que las siguientes columnas contienen estos datos parcialmente para los años 2003, 2007 y 2011. A nivel general, se puede observar que a nivel nacional, las temperaturas medias promedio siempre caen en el intervalo  $60^{\circ}$ - $69^{\circ}$  (bin 7), las temperaturas máximas promedio dentro del intervalo  $70^{\circ}$ - $79^{\circ}$  (bin 8) y las temperaturas mínimas promedio dentro del intervalo  $50^{\circ}$ - $59^{\circ}$  (bin 6).

Tabla 2 - Promedio de temperaturas diarias

	Histórico			2003			2007			2011		
	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max
Nacional	64.69	54.21	75.17	64.52	54.08	74.97	63.41	53.07	73.75	64.83	54.46	75.21
Cuyo	64.11	51.18	77.05	65.02	51.89	78.15	62.64	49.87	75.42	63.80	50.58	77.02
Litoral	67.81	57.17	78.44	67.75	57.23	78.28	66.85	56.76	76.95	67.63	57.23	78.04
NOA	68.04	56.37	79.71	68.41	56.51	80.32	66.97	55.64	78.30	67.93	56.45	79.42
Pampeana	63.13	53.35	72.92	62.73	53.04	72.42	61.74	51.94	71.54	63.48	53.85	73.12
Patagonia	59.73	46.26	73.19	59.85	45.98	73.73	58.29	44.69	71.89	59.95	45.94	73.97

En esta tabla se puede observar que el año 2007 fue un año particularmente frío, las temperaturas promedio de este año resultaron menores que las históricas, y probablemente muchos lo recuerdan por ser el año en el que nevó en la Ciudad de Buenos Aires. En lo que respecta al resto de los años, se puede observar que, en promedio, el año 2011 fue más cálido que el 2003, y en particular, la diferencia más grande se encuentra en el aumento de las temperaturas de las regiones pampeana y patagónica. Además, el año 2011 puede considerarse como un año cálido ya que sus temperaturas superan las registradas por el promedio histórico.

Gráfico 1 - Distribución histórica de la temperatura media promedio



El Gráfico 1 ilustra la distribución anual de la temperatura media promedio a través de los bins construidos entre los años 2003 y 2011. Los bins de los extremos representan temperaturas menores a 10°F y mayores a 90°F, mientras que los intermedios consisten en intervalos de 10°F. Los valores históricos de la temperatura media promedio reportados fueron ponderados por la población del 2010. Como se puede observar, en términos de temperaturas extremas, en la Argentina prácticamente no se tiene exposición a temperaturas

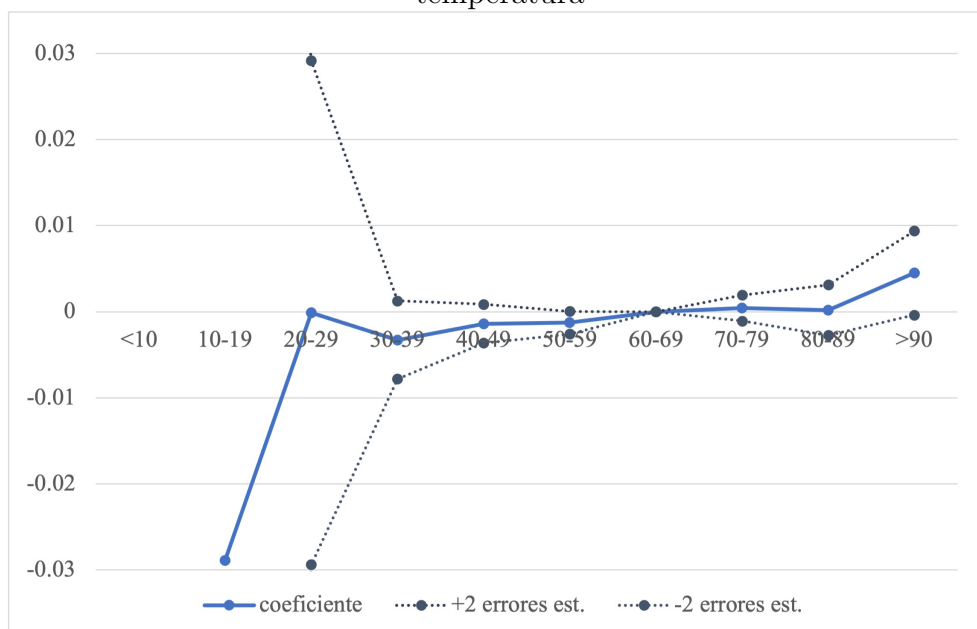
menores a  $10^{\circ}\text{F}$  o entre  $10^{\circ}\text{F}$  y  $20^{\circ}\text{F}$ . En cambio, las temperaturas extremadamente cálidas son más propensas a suceder, dado que en promedio aproximadamente 25 días al año la temperatura se encuentra entre  $80^{\circ}\text{F}$  y  $90^{\circ}\text{F}$ , aunque en promedio no llega a haber un día de donde la temperatura media supere los  $90^{\circ}\text{F}$ . A su vez, se puede ver que en promedio, la mayor cantidad de días al año, la temperatura se encuentra en los intervalos de  $50^{\circ}$ - $59^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ - $69^{\circ}$  y  $70^{\circ}$ - $79^{\circ}$ , lo cual resulta consistente con los datos presentados en la Tabla 2.

Por último, los datos de la población fueron obtenidos de los datos abiertos del INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), organismo a cargo de llevar a cabo los censos en la Argentina. Utilizamos los datos de la población para el 2001 y el 2010, reportada en los censos nacionales para cada año, para construir la población anual mediante un método de interpolación y extrapolación. Asumimos que la población anual es una variable lineal, por ende calculamos su pendiente y logramos obtener valores para la población entre 2003 y 2011, que luego utilizamos para construir las variables de control en la regresión.

## 5. Resultados

Esta sección está dedicada a ilustrar y explicar los resultados del modelo econométrico presentado en las secciones anteriores. En primer lugar graficamos la función de impacto de los distintos bins de temperatura sobre el logaritmo natural del consumo eléctrico residencial anual en cada departamento en el Gráfico 2. Los coeficientes estimados son el resultado de la regresión con efectos fijos presentada en la sección 3, basada en una muestra de 2,756 observaciones a nivel departamento-año. Dado que la temperatura media histórica está comprendida dentro del bin número 7 que representa el intervalo de temperaturas entre  $60^{\circ}\text{F}$  y  $69^{\circ}\text{F}$ , este bin lo excluimos de la regresión, de modo que los coeficientes graficados representan el impacto que tiene un día adicional del bin número  $j$  en el consumo de energía residencial anual, relativo a el consumo de electricidad en un día donde la temperatura media cae dentro del intervalo  $60^{\circ}$ - $69^{\circ}$ .

Gráfico 2 - Relación entre el logaritmo natural del consumo residencial de energía y la temperatura



Deschenês & Greenstone (2011) encuentran que para Estados Unidos la función de impacto de los distintos intervalos de temperatura sobre el consumo de energía anual tiene forma de U, es decir que para las temperaturas extremas, tanto cálidas como frías, un día adicional donde la temperatura se encuentra en alguno de los bins extremos el consumo de electricidad aumenta significativamente relativo a un día donde la temperatura media es promedio. Como se puede ver en el Gráfico 2, para Argentina la función de reacción no tiene forma de U, sino que sólo sucede para temperaturas por encima de los 90°F que el consumo de energía residencial anual aumenta significativamente. En el caso de los bins de temperaturas extremadamente frías, para Argentina, el intervalo de temperaturas menores a 10°F queda omitido ya que no hay observaciones que pertenezcan al mismo. Adicionalmente, los intervalos de temperaturas entre 10°F y 19°F y entre 20°F y 29°F poseen pocas observaciones, sólo 3 días caen dentro del bin 2 y 132 dentro del bin 3. La falta de observaciones y por ende la inestabilidad de los coeficientes se puede ver en el Gráfico 2 ya que este ilustra los coeficientes sumándoles y restándoles dos veces su error estándar y estos intervalos son los que poseen los errores estándar más grandes. Esta limitación proviene de la falta de datos para las provincias del sur, mencionada anteriormente.

Para complementar la información presentada en el Gráfico 2, se incluyó la Tabla 3 que contiene en detalle los resultados de la regresión del modelo econométrico planteado en la sección 3. En la primera columna se puede encontrar el promedio del consumo de electricidad

residencial anual, medida en mega watts por hora. El resto de las columnas contienen los coeficientes para cada bin, al igual que sus errores estándar robustos, para la regresión realizada a nivel nacional, es decir considerando todos los departamentos entre los años 2003 y 2011, y luego a nivel regional, es decir considerando sólo aquellos departamentos que estén dentro de la región modelada.

Se puede observar en la Tabla 3 que para la regresión a nivel nacional solo resulta significativo al 10 % el efecto que tienen las temperaturas mayores a 90°F sobre el consumo de electricidad residencial anual en cada departamento. Este efecto está asociado con un incremento del 0.45 % en el consumo de energía residencial anual a nivel departamental por cada día adicional cuya temperatura es igual o mayor a 90°F. Lo mismo sucede para la región de Cuyo, que en su caso un día adicional con temperaturas pertenecientes al último bin provoca un aumento del consumo residencial de electricidad anual del 0.82 %.

Por otro lado, se puede observar que para todos los intervalos por debajo de la temperatura media los coeficientes son negativos y no son estadísticamente significativos. Esta es una de las mayores diferencias que posee nuestro estudio con respecto al de Deschenês & Greenstone (2011), ya que en su caso los coeficientes de los primeros dos intervalos resultan positivos y significativos a un nivel del 5 %. Creemos que la diferencia de los resultados recae en dos factores primordialmente. En primer lugar, la falta de información sobre las provincias de Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego, que podrían aportar más observaciones a los intervalos de temperaturas extremadamente frías y ayudar a que los coeficientes sean más estables o hasta significativos. En segundo lugar se encuentra la diferencia de métodos de calefacción entre Estados Unidos y Argentina.



Tabla 3 - Estimaciones del impacto de la temperatura sobre el consumo de electricidad residencial

	Promedio Consumo Eléctrico Residencial	Impacto de la temperatura sobre el logaritmo natural del consumo eléctrico residencial								
		10°-19°	20°-29°	30°-39°	40°-49°	50°-59°	70°-79°	80°-8°	>90°	
Nacional	78,868.42	-0.0289 (0.0819)	-0.0001 (0.1463)	-0.0033 (0.0023)	-0.0014 (0.0011)	-0.0013 (0.0007)	0.0004 (0.0007)	0.0002 (0.0015)	0.0045*	0.0024)
Cuyo	39,293.57	-0.0428 (0.0306)	0.0026 (0.0062)	-0.0023 (0.0038)	-0.0006 (0.0012)	-0.0005 (0.0007)	0.0001 (0.0012)	-0.0003 (0.0011)	0.0082*	0.0047)
Litoral	59,443.16	0.0093 (0.0112)	-0.0206 (0.0175)	-0.0076* (0.0042)	-0.0037 (0.0033)	-0.0080 (0.0071)	0.0032 (0.0053)			
NOA	32,474.91	-0.0004 (0.0025)	0.0002 (0.0020)	-0.0001 (0.0008)	0.0026 (0.0016)	0.0036 (0.0022)	-0.0013 (0.0037)			
Pampeana	119,459.2	-0.0054 (0.0690)	-0.0031 (0.0022)	-0.0003 (0.0009)	0.0000 (0.0009)	0.0007 (0.0009)	0.0028 (0.0018)	0.0122 (0.0230)		

\* $p < 0,1$

## 6. Conclusión

El propósito de este trabajo es estudiar la relación entre el cambio climático y el consumo de electricidad como medio de adaptación al mismo en el marco de la Argentina, utilizando datos climáticos y de consumo de electricidad entre los años 2003 y 2011. Con este objetivo se planteó un modelo econométrico de datos de panel con efectos fijos, poniendo al logaritmo natural del consumo de electricidad anual a nivel departamental como variable endógena y se incluyó como variables explicativas principales 10 intervalos de  $10^{\circ}\text{F}$  para lograr estimar con mayor detalle el efecto de cada intervalo en el consumo de adaptación al mismo.

En función de las regresiones realizadas, el resultado obtenido indica que un día adicional con temperaturas iguales o mayores a  $90^{\circ}\text{F}$  produce un incremento del 0.45 % en el consumo de electricidad residencial departamental anual. El mismo demuestra que el sostenido aumento de las temperaturas implica mayores costos de adaptación, que se desarrollan en base al uso extensivo de métodos de refrigeración eléctricos en la Argentina, tales como el ventilador y el aire acondicionado. A pesar de las limitaciones que se encontraron relacionadas con la falta de información en la Argentina, los resultados de este estudio son consistentes con el trabajo de Deschenês & Greenstone (2011) para Estados Unidos. Además, a través de los gráficos se puede apreciar cómo la relación positiva entre las temperaturas altas y el consumo energético no se replica para aquellas situadas en el extremo izquierdo de la distribución. Esta diferencia, planteada inicialmente, permite suponer que la población argentina tiende a utilizar el gas para calefaccionarse, mientras que los norteamericanos optan por la electricidad.

En adición, la investigación arroja una implicación de gran relevancia: a la hora de analizar los efectos del calentamiento global se debe tener en cuenta el aumento en la demanda de energía eléctrica. En consecuencia, los países podrían sufrir múltiples problemas de distribución y abastecimiento, llevándolos hacia nuevos niveles de consumo que generarán un aumento de la competencia por este recurso.

Por último, este trabajo aporta a la literatura existente sobre los costos de adaptación al cambio climático en la región ya que propone un modelo distinto, en donde se construyen intervalos de temperatura a modo de variables explicativas y se abarca una mayor extensión del territorio argentino.

## 7. Bibliografía

- Olivier Deschenês & Greenstone (2011). Climate Change, Mortality, and Adaptation: Evidence from Annual Fluctuations in Weather in the US. *American Economic Journal: Applied Economics* 3.
- Auffhammer et al (2011). Global Climate Models and Climate Data: A User Guide for Economists. *Review of Environmental Economics and Policy*.
- Beyrne et al (2015). Modelo Estacional de Demanda de Energía Eléctrica. *Secretaría de Política Económica y Planificación*.
- Mastronardi et al (2016). La temperatura y su influencia en la demanda de energía eléctrica: un análisis regional para Argentina usando modelos econométricos. *Anales, Asociación Argentina de Economía Política*
- Barreca et al (2016). Adapting to Climate Change: The Remarkable Decline in the US Temperature-Mortality Relationship over the Twentieth Century. *Journal of Political Economy*.
- Barreca et al (2015). Convergence in Adaptation to Climate Change: Evidence from High Temperatures and Mortality, 1900-2004. *American Economic Review*.
- Filippín et al (2012). Historical Consumption of Heating Natural Gas and Thermal Monitoring of Multifamily High-Rise Building in a Temperature/Cold Climate in Argentina. *MDPI*.
- Auffhammer et al (2011). Impacts of Climate Change on Residential Electricity Consumption *National Bureau of Economic Research*.
- Auffhammer et al (2016). Climate change is projected to have severe impacts on the frequency and intensity of peak electricity demand across the United States. *National Bureau of Economic Research*.
- Witulski et al (2020). Valoración de la mortalidad atribuible a las temperaturas extremas actuales y al cambio climático futuro. *Universidad Católica Argentina*.