



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE**  
**INSTITUTO DE ECONOMIA**  
**MAGISTER EN ECONOMIA**

**TESIS DE GRADO**  
**MAGÍSTER EN ECONOMÍA**

**Fugellie, Carreño, Raúl Lucas**

**Julio, 2022**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
MAGISTER EN ECONOMIA**

**Efecto del acceso a la electricidad a menor costo en EEUU en la  
innovación eléctrica a principios del siglo XX**

**Raúl Lucas Fugellie Carreño**

Comisión

Jeanne Lafortune y Tatiana Rosá

**Santiago, Julio de 2022**

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Literatura previa</b>	<b>2</b>
<b>3. Estrategia empírica y datos utilizados</b>	<b>6</b>
3.1. Estrategia empírica . . . . .	6
3.2. Construcción de variables, datos utilizados y resultados de interés . . . . .	8
<b>4. Resultados</b>	<b>12</b>
4.1. Regresiones de primera etapa . . . . .	12
4.2. Estimación DiD con diferentes resultados de interés . . . . .	14
4.2.1. Cantidad de patentes eléctricas . . . . .	15
4.2.2. Cantidad de patentes totales . . . . .	18
4.2.3. Fracción de patentes eléctricas . . . . .	21
4.2.4. Presencia de al menos una patente eléctrica . . . . .	22
4.2.5. Cantidad de patentes eléctricas estrellas inscritas . . . . .	23
<b>5. Conclusión</b>	<b>24</b>
<b>6. Bibliografía</b>	<b>27</b>
<b>7. Anexos</b>	<b>30</b>

# 1. Introducción

La innovación es considerada como uno de los factores trascendentales para explicar el crecimiento económico (Solow, 1957). Si bien esta puede ocurrir producto de grandes ideas, exógenas a los procesos de producción, también existen diversos autores que plantean su endogeneidad (Romer, 1990) y que parte de la decisión de innovar proviene directamente de las firmas producto del ahorro en los costos que pueden tener (Pakes y Griliches, 1980). Es por ello que entender los motores de la innovación, endógenos a los procesos de producción, cobra una mayor relevancia. En ese sentido, en este trabajo se analiza si la masificación de la electricidad en Estados Unidos impactó la forma de innovar en ese país. En particular, el análisis se centra en la cantidad y en la calidad de la innovación, buscando con ello complementar literatura previa sobre los motores de esta y su relación con el cambio en el costo de un insumo productivo esencial para algunas empresas, como lo es la electricidad.

Para poder establecer una relación causal entre resultados relacionados a la innovación y la electrificación, se establecen dos fuentes de variación. Por un lado se explota la presencia de plantas hidroeléctricas de forma diferenciada entre condados de EEUU, lo cual implica que algunos condados tendrán un acceso menos costoso a la electricidad que otros, y por otro lado se explota la diferencia de incentivos a innovar en ese rubro que tendrán los sectores manufactureros, según cuan intensivos son en el uso de otras energías previo a la masificación de la electricidad. En relación a esto último, aquellos sectores más relacionados al uso de otras energías pre-electrificación, podrán verse más incentivados a innovar en electricidad (producto del recambio en su fuente energética) y de forma distinta a aquellos sectores que no son intensivos al uso de energía. Estas dos fuentes de variación permiten establecer una estrategia de dobles diferencias, entre condados e industrias, con la cual, bajo ciertos supuestos, se obtiene una relación causal.

Usando estas dos fuentes de variación, se estima el efecto causal del acceso a la electricidad a

un menor costo a través de la estrategia de diferencias en diferencias (DiD), obteniendo como principal resultado que en los periodos entre 1890 y 1910 la fracción de patentes eléctricas aumenta de forma significativa. También existen indicios de leves resultados positivos relacionados a la presencia de al menos una patente eléctrica. De igual manera, se muestra que sectores intensivos al uso de energía que tienen acceso a electricidad más barata tienden a innovar menos, en rubros como la química, la metalurgia y la física. Finalmente, no se encuentra una relación significativa ni con el volumen ni con la calidad de las nuevas patentes eléctricas.

En lo que sigue, el trabajo se distribuirá de la siguiente manera: En la sección 2 se revisará literatura previa referente a los tópicos antes mencionados. En la sección 3 se mostrará la estrategia empírica empleada y los datos usados. En la sección 4 se presentarán los principales resultados, para finalmente, en la sección 5, presentar las conclusiones.

## **2. Literatura previa**

Este trabajo parte de la premisa de que hay razones para creer que la innovación es en gran parte producto de una decisión endógena de las empresas, lo cual hace que el cambio en el precio de un factor relevante en la producción pueda generar un efecto en la forma de innovar de estas. En ese sentido, existe una extensa literatura previa relacionada a la endogeneidad de la innovación. Por ejemplo, Acemoglu (2002a) sostiene que parte del enfoque que tiene la realización de la innovación viene dado por la oferta laboral y las habilidades de los trabajadores. En ese aspecto, el desarrollo de nuevas tecnologías fue más orientado a la producción cuando existía una gran cantidad de trabajadores poco calificados, mientras que en la actualidad está relacionado al complemento de las habilidades, puesto que hoy los trabajadores son más calificados. Un ejemplo empírico relacionado a lo anterior es el trabajo de San (2022) el cual demuestra que el término de un programa que facilitaba mano de obra inmigrante en la agricultura tuvo como efecto que se innovara más, sobretodo en aquellos

cultivos que eran más intensivos al uso de mano de obra, con el fin de suplirla y mitigar el efecto negativo de la falta de oferta laboral. A diferencia de esto, en este trabajo el shock que se evalúa no proviene de la mano de obra sino que de un insumo productivo como lo es la electricidad, agregando con ello una arista distinta al problema analizado por estos autores.

En la misma línea, existen diversos trabajos teóricos que relacionan decisiones propias de las empresas o de sus competidores, con la determinación de innovar, reforzando con esto la idea de que la innovación es un proceso endógeno. Por ejemplo, Grossman y Helpman (1994) mencionan que los derechos sobre generalidades pueden hacer difícil la apropiabilidad y con ello generar dificultades para la innovación. En una línea distinta Aghion y Howitt (1992) mencionan que la innovación puede traer consigo externalidades positivas para otras innovaciones complementarias o genera nuevas líneas de innovación. Por último, también está el trabajo de Hortsman et al. (1985) donde proponen un modelo en que las firmas, intencionadamente, pueden decidir no patentar una fracción de sus innovaciones, ya que las patentes pueden revelar información importante a sus competidores. Esto es interesante porque de ser plausible, la cantidad de patentes existente puede ser un “borde inferior” y endógeno de la verdadera innovación producida. Aún así, parte de las limitaciones que tienen los trabajos teóricos anteriormente señalados son los supuestos en los que descansan, por lo que es pertinente avanzar en el sustento empírico de las conclusiones, línea en la cual busca aportar este trabajo.

En ese sentido, también hay literatura empírica relacionada a motores de la innovación que dan cuenta de que existe una decisión endógena al momento de innovar. Por ejemplo, Bointner (2014) muestra que la capacidad financiera, sobretodo en el sector de la energía, es primordial para el desarrollo de nuevas tecnologías. También, Baten et al. (2015) muestran que la competencia entre países durante la segunda guerra mundial hizo que aumentaran las patentes. Además encuentran que la calidad de estas aumentó y que el mayor crecimiento se vió en sectores que antes no tenían competencia. Otro factor que puede influir la decisión de

privados para innovar son los derechos de propiedad. En ese aspecto, Giorcelli y Moser (2020) encuentran que para el caso de la ópera italiana, el generar derechos de propiedad intelectual actuó como incentivo para la innovación en ese rubro, junto a obras de mayor calidad. Tomando en consideración estos trabajos, el cambio en el costo de un insumo productivo como la electricidad y los beneficios de la propiedad intelectual pueden haber repercutido en los incentivos a innovar y a hacerlo de mejor calidad, producto de una decisión endógena óptima, lo cual sirve como punto de partida para el análisis de este trabajo.

También, en otro de sus trabajos, Acemoglu (2002b) propone que hay dos fuerzas que determinan hacia donde se mueve la innovación. Por un lado está el efecto precio que genera el hecho de que se innove más en los factores productivos que son de un alto costo, y por otro lado está el efecto de tamaño de mercado que hace que la innovación se desarrolle más con los factores abundantes y baratos. En el caso de este trabajo, se toma como variación el acceso más barato a un factor productivo como lo es la electricidad. En ese sentido, si el sesgo de innovación del sector manufacturero está determinado en su mayoría por el efecto tamaño de mercado, se debería encontrar que efectivamente se innova más (y/o de mejor calidad) en ese sector. Hanlon (2012), estudió el efecto precio usando la guerra civil en EEUU como un shock exógeno que repercute en el costo del algodón para las textiles inglesas. Ante esta variación exógena, se observa que este cambio hace que la innovación en el rubro del algodón aumente, con el fin de adoptar otros tipos de algodón proveniente de otros lugares del mundo. La diferencia con el presente trabajo es que en este se observa un cambio mucho más amplio dado el impacto de la electricidad en la mayoría de los métodos de producción, lo cual implica un análisis de toda la industria manufacturera y no solo un rubro o industria en particular.

Además de la endogeneidad de la innovación, para el análisis de este trabajo una parte fundamental es la forma en la cual medimos la innovación. En ese sentido, como proxy de innovación, se utiliza la información de las patentes inscritas. Aún cuando esto podría llegar

a ser discutible, hay diversos trabajos que han ocupado esta información. Por ejemplo, el trabajo de Jaffe y Trajtenberg (1999) analiza patrones de citación entre países como indicador de flujos internacionales de conocimiento, encontrando que países que comparten un mismo idioma se citan más, y que las patentes cuyos inventores están en un mismo país tienen más probabilidades de citarse entre sí. Hay otros trabajos que realizan análisis similares como el de Hu y Jaffe (2003) para los casos de Corea y Taiwán, o que estudian la capacidad de absorción del conocimiento como variable relevante de este flujo como es el caso de Mancusi (2008). A pesar de lo mencionado, también existen críticas al uso de las citas de patentes, particularmente en cuanto a su uso como un proxy de la calidad de estas. Por ejemplo, Kuhn et al. (2020) plantea que existen errores de medición significativos al usar este tipo de variables, principalmente por las malas prácticas a la hora de citar. Aún así, Moser et al. (2018) encuentran que existe una correlación robusta entre mejoras en el rendimiento de la producción de maíz y el número de citas del maíz híbrido. Bajo este marco, si bien no se puede concluir que es clara la relación entre número de citas y la calidad de las patentes, existen ciertos trabajos que funcionan como precedente para creer que si es viable. Además de esto, y tomando en relevancia la crítica de Kuhn et al. (2020), en este trabajo se usaron datos de patentes del siglo XIX y XX, donde la práctica de las citas tenía menos incentivos a un mal uso de ellas, por lo que se espera que los errores de medición sean menos significativos.

Finalmente, en relación a la electricidad, la cual es la fuente de variación de este trabajo, hay literatura histórica que señala que sustituyó otras formas de energía (Woolf, 1982) lo cual es relevante para la estrategia empírica utilizada, puesto que representa una primera fuente de diferencia (entre sectores intensivos al uso de energía y los que no). Algunos señalan que es recién a principios del siglo XX que las empresas manufactureras comenzaron a adoptar la electricidad como fuente principal de energía (Du Boff, 1979), lo cual justifica catalogar un periodo pre-electrificación y uno post-electrificación, pero que esta no generó efectos rápidos porque la innovación complementaria de la electricidad se demoró (David, 1990), por lo que hacer un análisis extensivo en el tiempo y no de corto plazo también es necesario. Otro

trabajo interesante es el de Smythe (2001) que busca probar la teoría de Schumpeter en los sectores manufactureros, encontrando que el gran movimiento de fusiones en EEUU en ese sector, hizo que la innovación en electricidad y su uso aumentara. Lo novedoso del presente trabajo en ese sentido es que se sugiere que ese efecto es diferenciado entre los sectores intensivos al uso de energía previo a la electrificación y los que no, por lo cual resultan trabajos complementarios. Además de los trabajos ya mencionados, también existe variada literatura que habla del efecto positivo que tuvo la electricidad en la productividad tales como Rousseau (2008) y Jovanovic (2005), efecto que a su vez también se tradujo en mayor y mejor innovación. Por último, este trabajo está fuertemente inspirado en los trabajos de Fiszbein et al. (2020) y Lavandero (2021) que ocuparon la misma estrategia empírica. En el caso de Fiszbein et al. (2020), encuentran que la electricidad aumentó la productividad laboral de las empresas manufactureras, pero tuvo poco o ningún efecto sobre el empleo. Por otro lado, Lavandero (2021) encuentra que la innovación fue mayor para los cultivos intensivos al uso de energía en los condados con un acceso más barato a la electricidad (debido a la proximidad de una central eléctrica). Tratando de complementar estos trabajos y su enfoque, se busca extender este análisis a los sectores manufactureros y ver si además de un efecto en el número de patentes eléctricas y en el total de patentes, también existe un efecto en la calidad de las patentes medido por la cantidad de citas que reciben estas.

### **3. Estrategia empírica y datos utilizados**

#### **3.1. Estrategia empírica**

Tomando en consideración la literatura presentada, sobretodo aquella que pone en relevancia la endogeneidad de la innovación, en este trabajo se busca analizar si el acceso a la electricidad a un menor costo impacta en la forma en la que se innova en EEUU a fines del siglo XIX y principios del siglo XX. Esta pregunta representa un desafío en sí misma debido a su naturaleza endógena, ya que es probable que lugares más afines al uso de energía eléctrica

sean los que a su vez recibieron primero electricidad a menor costo, sesgando con esto la estimación. Es por ello que en este trabajo se propone, al igual que Fiszbein et al. (2020), ocupar una estrategia de Diferencias en diferencias (DiD). Esta estrategia consiste en tomar dos grupos: un grupo de control y un grupo de tratamiento, los cuales a la vez también tienen dos subgrupos: uno que es más afectado por el tratamiento y otro que es menos afectado. Con esto, condicional a que en ausencia del tratamiento tienen la misma diferencia en el resultado de interés, se puede estimar el efecto tratamiento diferenciando cada uno de los grupos (generando con ello una doble diferencia).

Para realizar esto, se aprovecha como primera fuente de variación la construcción diferenciada de centrales hidroeléctricas entre condados estadounidenses, por lo cual algunos condados poseen acceso a la electricidad de forma menos costosa (tratados) y otros condados no (no tratados). Además, como segunda fuente de variación, se aprovecha que existen sectores manufactureros no intensivos al uso de energía (menos afectados por el tratamiento) y sectores manufactureros intensivos al uso de energía (más afectados por el tratamiento), siendo estos últimos más proclives a generar nueva innovación eléctrica. Sumado a esto, con el fin de capturar el efecto en el tiempo del acceso a la electricidad a menor costo, dado que la complementariedad en la innovación eléctrica fue desarrollándose paulatinamente, se plantea una estimación que considere la diferencia de distintos periodos de tiempo en relación a un periodo base, pudiendo con esto capturar el retraso que puede tener el efecto estimado.

Teniendo en consideración lo ya mencionado y denotando a los condados con el subíndice  $c$ , a los sectores manufactureros con el subíndice  $s$  y al periodo de tiempo en relación al periodo base con el subíndice  $t$ , se busca estimar la siguiente especificación:

$$\Delta y_{sct} = \beta_t * Energy\_intensity_s * Prox_c + \mu_{st} + \delta_{ct} + \epsilon_{sct} \quad (1)$$

Donde  $\beta_t$  corresponde al efecto asociado a la interacción de las dos fuentes de variación consideradas en este trabajo:  $Energy\_intensity_s$  la cual representa la intensidad en el uso de energía del sector manufacturero  $s$  y  $Prox_c$  la cual es una dummy que toma 1 si el condado  $c$  es cercano a una central hidroeléctrica y 0 en caso contrario. En ese sentido, en palabras, este coeficiente estimado refleja el efecto que tiene en el resultado de interés en el periodo  $t$  el estar en un condado próximo a una central hidroeléctrica, cuando el sector de manufactura es más intensivo al uso de energía, en relación a un periodo base. Con ello, se obtienen como resultado de la especificación tantos  $\beta_t$  como número de periodos  $t$  se analicen. Por otro lado  $\mu_{st}$  corresponde al efecto fijo de cada sector en el periodo  $t$ . Este efecto captura toda la variación que viene dada por variables inobservables que son comunes para todos los condados en un mismo sector manufacturero, durante el periodo  $t$ . De la misma forma,  $\delta_{ct}$  corresponde al efecto fijo por condado que captura toda la variación que viene dada por variables inobservables que son comunes para todas las industrias en un mismo condado, durante el periodo  $t$ , y  $\epsilon$  corresponde al error asociado a cada uno de los modelos estimados. Finalmente, por el lado de la variable dependiente,  $\Delta y_{sct}$  corresponde al resultado de interés en el periodo  $t$ , en el sector  $s$  y en el condado  $c$ , menos el resultado de interés en el mismo sector y condado durante un periodo base.

### **3.2. Construcción de variables, datos utilizados y resultados de interés**

Una vez planteada la estrategia a utilizar, se construyen las variables que sirven como referencia para estimar el efecto del menor costo en el acceso a la electricidad. La primera de ellas es  $Energy\_intensity$  la cual corresponde a la intensidad en el uso de energía del sector manufacturero “s”, siendo esta la primera diferencia en la especificación (entre sectores más intensivos y menos intensivos al uso de energía).

El primer desafío que presenta su confección es determinar un proxy tanto del sector manufacturero al cual se hace referencia como un proxy de su intensidad en el uso de energía previo al uso de la electricidad. Es por ello que para construirla, se usa la información de las patentes creadas a principios y mediados del siglo XIX, las cuales por un lado no tienen aún un efecto importante de la electricidad y por otro, se pueden clasificar en distintas clases de patentes. Como contexto institucional, es relevante señalar que el sistema de patentes se incluyó en la constitución al momento de la fundación de EEUU y que en 1836 se promulgó una ley de patentes que, entre otras cosas, creó la United States Patent and Trademark Office (USPTO), la cual es la oficina encargada de revisar y aceptar la inscripción de patentes desde esa fecha hasta la actualidad. Esto es muy relevante, ya que tomando la información de patentes desde 1836 se puede obtener una mayor consistencia y precisión en los datos recopilados de las patentes.

Estos datos se obtienen de la base de datos de Google patents disponible en Google Cloud, la cual da acceso a disntinta información de las patentes de la USPTO como su descripción y su clasificación cooperativa (CPC), creada tanto por la oficina europea de patentes como por la estadounidense, que define la clase de la patente en la cual se enmarca. Con ello, se ocupa la clase de la patente como un proxy del sector manufacturero al cual pertenece la innovación, lo cual si bien puede ser un supuesto fuerte, este se sustenta en el nivel de desagregación que usamos, ya que tomamos como referencia de un sector manufacturero los tres primeros dígitos de la clasificación cooperativa. Estos dígitos corresponden a un núcleo de innovaciones lo suficientemente desagregado para agrupar en ellos solo innovaciones en industrias relativamente parecidas y lo suficientemente agregado para no separarlas, por lo que planteamos que puede servir como un termino intermedio, ciertamente imperfecto, pero cercano a la realidad.

Con esto, refiriéndonos entonces a una clase de patente como los tres primeros dígitos de la clasificación cooperativa que tiene la patente, *Energy\_intensity* se construye con el número

de patentes de una determinada clase que mencionan las palabras “horsepower”, “power”, “steam” y/o “engine” dividido en el total de patentes inscritas con esa clase de patente (por ende, toma un valor entre 0 y 1). En particular “power” debe ser mencionada 2 o más veces, puesto que puede tener otros significados dentro de la descripción que no necesariamente haga alusión al uso de energía. Por otro lado, se ocupan las patentes entre los años 1836 – 1850, ya que se espera que en esos años no exista un traslape entre la innovación energética y la innovación en electricidad. Este periodo se puede clasificar como el periodo pre-electrificación. Finalmente, en caso de que la patente esté asociada a más de un CPC, se utiliza solamente el primero, y se excluyen las patentes sin CPC. La Tabla A presenta el ranking de intensividad en el uso de energía obtenido según la clase de patente. En este caso, se muestran las primeras 10 y las últimas 10 clases con mayor y menor fracción de patentes respectivamente.

Tabla A: Ranking de clases de patentes con mayor y menor fracción de patentes intensivas al uso de energía en 1836-1850

Top 10 Mayor uso		Top 10 Menor uso	
CPC	<i>Energy_intensity</i>	CPC	<i>Energy_intensity</i>
Controlling, Regulating	1.00	Butchering	0
Information Storage	1.00	Making Articles of Paper	0
Steam Generation	1.00	Bookbinding	0
Combustion Engines	.89	Opening Bottles	0
Fluid-Pressure Actuators	.83	Cements	0
Machines or Engines	.81	Coating Metallic Material	0
Life-Saving, Fire-Fighting	.71	Ammunition	0
Organic Chemistry	.71	Photography	0
Centrifugal Apparatus	.67	Computing	0
Heat Exchange in General	.67	Checking-Devices	0

Nota: *Energy\_intensity* corresponde al número de patentes por clase de patente, entre los años 1836 y 1850, que mencionan las palabras “horsepower”, “power”, “steam” y/o “engine” dividido en el total de patentes inscritas por clase de patente en esos años.

Posterior a esto, para representar la segunda diferencia de la especificación (cercanía o lejanía a una central hidroeléctrica), creamos la variable *Prox*, la cual es una variable dummy que

toma el valor de uno cuando el condado  $c$  está próximo a una planta hidroeléctrica y cero en caso contrario. Se toma como una distancia cercana estar a 70 km o menos de una central, motivado por el trabajo de Lafortune et al. (2019), que muestra que existe una relación significativa entre una central eléctrica y el precio de la electricidad, teniendo como cota superior los 70 kms. Para construir esta variable se utiliza como fuente de datos la base de HistPat que proporciona la ubicación geográfica a nivel de condado de las patentes históricas concedidas por la USPTO desde 1790 hasta 1975 (Petralia et al., 2016), considerando sólo las patentes que estuvieran clasificadas bajo el rótulo de “inventores”. Se mide la distancia desde el centroide del condado hasta la central más cercana, utilizando la información del censo de centrales hidroeléctricas en 1912, registros digitalizados por Lafortune et al. (2019), con el que se obtiene la distancia de los condados a una central hidroeléctrica en 1912. Para solucionar el problema de condados que cambian sus fronteras, se unen o separan, se utiliza el procedimiento de unificación de Lafortune et al. (2019).

Por el lado de los resultados, la variable dependiente  $\Delta y_{sct}$  corresponde a cambios en distintos outcomes de interés en el periodo entre 1890 y 1930, comparados a un periodo base. El periodo base que se utiliza como comparación ( $t=0$ ) es el periodo de 1851 a 1855 (5 años). La elección de este periodo base se hace principalmente con el fin de no capturar el efecto positivo de la electrificación en el número de patentes eléctricas y con ello capturar de mejor manera el efecto del menor costo en el acceso a la electricidad. El resto de los periodos de análisis son ocho, desde 1890 a 1930 con intervalos de 5 años. El primer resultado de interés es la variación del número de patentes eléctricas inscritas en un condado  $c$ , en un sector  $s$  y en un periodo  $t$  cada 5 años. El segundo resultado de interés es la misma variación, pero en relación a las patentes totales inscritas (sean eléctricas o no). Un tercer resultado de interés es la proporción de patentes eléctricas inscritas en relación al total de patentes que se inscribieron en el mismo periodo. Un cuarto resultado de interés es la presencia de al menos una patente eléctrica durante el periodo de tiempo analizado. Por último, el quinto resultado de interés es la cantidad de patentes inscritas en el periodo que han sido citadas

posteriormente cinco veces o más, siendo este resultado una variable proxy de la calidad de las patentes. Para determinar si una patente es intensiva al uso de electricidad, se construye la variable *Electric\_intensity* la cual corresponde a si la patente del sector  $s$  entre los años 1890 – 1930 es intensiva al uso de electricidad o no. Al igual que el caso de *Energy\_intensity* se usa la base de datos de Google patents, buscando dentro de la descripción de cada patente la palabra “electr”.

Se eliminan de esta base todas aquellas patentes que tengan una clasificación de sector del grupo E correspondiente a construcción y del grupo A01 (agricultura) e Y10 (otros), principalmente porque no responden a patentes relacionadas a la manufactura. Se eliminan también las patentes del grupo H (patentes relacionadas a la generación eléctrica) porque podrían determinar si un condado tiene acceso o no a la electricidad, existiendo con ello problemas de endogeneidad.

## 4. Resultados

### 4.1. Regresiones de primera etapa

Una vez construidas las variables señaladas en la Sección 3 de este trabajo, con el fin de evaluar la estrategia propuesta, lo primero que se debe establecer es si existe una primera etapa correlacional significativa entre el número de patentes que son eléctricas (*Electric\_intensity*) y las dos diferencias propuestas: la intensidad en el uso de energía pre-electrificación (*Energy\_intensity*) y la proximidad a una central hidroeléctrica (*Prox*). Para ello, se estiman las siguientes regresiones lineales:

$$Electric\_intensity_{sc} = \alpha + \beta * Energy\_intensity_s + \delta_c + \epsilon_{sc} \quad (2)$$

$$Electric\_intensity_{sc} = \alpha + \beta * Prox_c + \mu_s + \epsilon_{sc} \quad (3)$$

En ambos casos se estima un modelo A sin efectos fijos y un modelo B con efectos fijos. Para el caso de la ecuación (2) el efecto fijo corresponde a una dummy por condado, mientras que para la ecuación (3) el efecto fijo corresponde a una variable dummy por sector manufacturero. De todas maneras, a pesar de los efectos fijos aplicados, los resultados de ambos modelos solo se pueden interpretar como una correlación y no como una causalidad. En la Tabla 1.1 se presentan los resultados cuando la variable dependiente es la fracción de patentes eléctricas inscritas, mientras que en la Tabla 1.2 se presentan los resultados cuando la variable dependiente es el número de patentes eléctricas inscritas.

Como se puede observar en la Tabla 1.1, ambas especificaciones estimadas, una vez controladas por efectos fijos, dan cuenta de una correlación positiva y significativa entre la fracción de patentes intensivas al uso de electricidad y las variables *Energy\_intensity* y *Prox*. Los mismos resultados se pueden establecer en la Tabla 1.2 cuando el outcome de interés es la cantidad de patentes eléctricas, demostrando que la relación encontrada es robusta. Con ello, se corrobora las dos diferencias existentes que anteriormente se habían planteado a priori, con el fin de establecer una estrategia de dobles diferencias.

Tabla 1: Relación entre patentes eléctricas post-electrificación y las variables Prox y Energy intensity

Tabla 1.1: Variable dependiente fracción de patentes eléctricas entre 1890-1930				
	Modelo 2A	Modelo 2B	Modelo 3A	Modelo 3B
E.Intensity	0.009*** (0.001)	0.009*** (0.001)		
Prox			0.015*** (0.000)	0.015*** (0.001)
FE	No	Yes	No	Yes
$R^2$	.0004	.0467	.0039	.0428
N	270000	270000	270000	270000
Tabla 1.2: Variable dependiente número de patentes eléctricas entre 1890-1930				
	Modelo 2A	Modelo 2B	Modelo 3A	Modelo 3B
E.Intensity	0.048 (0.030)	0.048*** (0.008)		
Prox			0.264*** (0.015)	0.264*** (0.049)
FE	No	Yes	No	Yes
$R^2$	.000006	.2545	.0011	.0112
N	270000	270000	270000	270000

Nota: Esta tabla muestra una regresión MCO con efectos fijos por Condado y por clase de patente, la cual da cuenta de la correlación entre la fracción de patentes eléctricas y el número de patentes eléctricas con las variables Energy intensity y Prox. En el caso del efecto fijo para el Modelo 1B, este corresponde a uno por Condado, mientras que para el Modelo 2B el efecto fijo corresponde a uno por clase de patente. En paréntesis se muestran los errores estándar agrupados por Condado y por clase de patente.

\* $p < 0,10$  \*\* $p < 0,05$  \*\*\* $p < 0,01$

## 4.2. Estimación DiD con diferentes resultados de interés

Una vez comprobadas las correlaciones positivas entre las dos diferencias que se ocupan en la estrategia de identificación, se realiza la regresión de DiD ocupando distintos resultados de interés, con el fin de capturar a través de la interacción entre las variables *Energy\_intensity*

y *Prox* el efecto causal en la variable dependiente. En todos los casos la variable dependiente representa un cambio entre un periodo base y un periodo dentro de 1890 y 1930 (el periodo post-electrificación especificado en la Sección 3). Tal y como se mencionó anteriormente, el periodo base que se utiliza como comparación ( $t=0$ ) es el periodo de 1851 a 1855 (5 años).

#### 4.2.1. Cantidad de patentes eléctricas

El primer resultado de interés es la cantidad de patentes eléctricas. Este resultado está motivado por la literatura previa presentada en la Sección 2, pero como un aporte a esta, en este trabajo se busca ver si hay un efecto diferenciado por cercanía a una hidroeléctrica y la intensividad en el uso de energía del sector manufacturero, pre-electrificación. Una vez realizada la estimación por medio de la estrategia de diferencias en diferencias, los resultados son los presentados en la Tabla Anexo 1. De la misma manera, en la Figura 1 se presenta de forma gráfica los coeficientes obtenidos. Al observar los resultados, se puede dar cuenta de que ninguno de los coeficientes estimados es significativo, lo cual implica que en ninguno de los periodos la cantidad de patentes eléctricas aumentó en las clases de patentes intensivas al uso de energía durante la época de pre-electrificación, que se encuentran en condados más cercanos a centrales hidroeléctricas. Además de esto, se puede observar que el efecto promedio estimado del aumento en un 1 por ciento en la intensividad en el uso de energía de la clase de la patente cuando el condado está cercano a una central hidroeléctrica, tomando todos los periodos analizados, implica 0,008 patentes eléctricas más, lo cual comparado con el promedio del delta de patentes eléctricas (0,026 patentes eléctricas más) termina siendo un efecto que no solo no es significativo, sino que también es pequeño en comparación con el promedio.

Figura 1: Efecto del mayor acceso a la electricidad en el número de patentes eléctricas

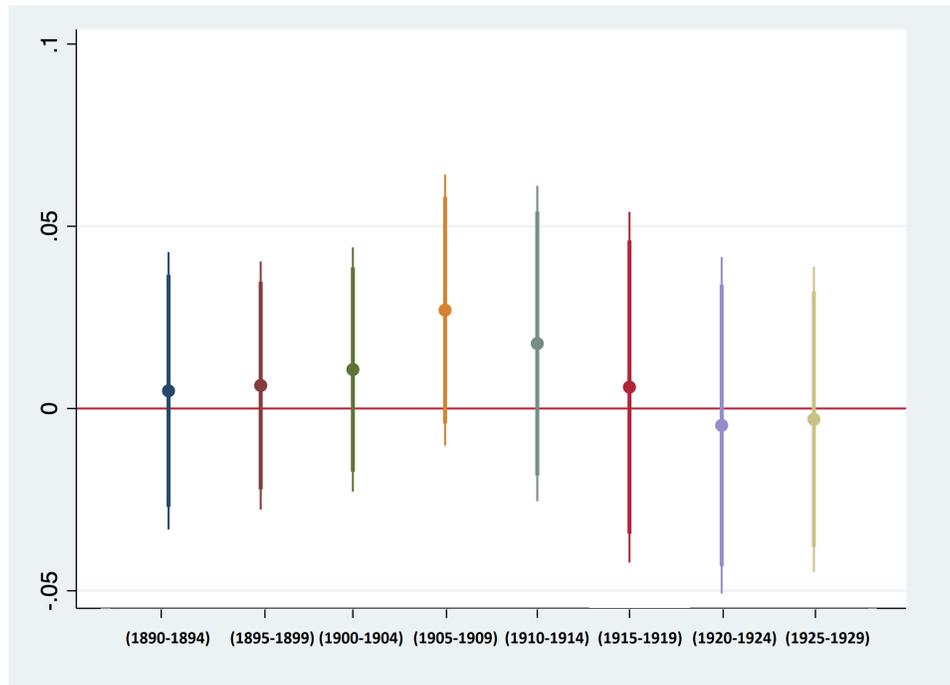


Figura 1: Esta figura presenta los coeficientes de interacción de la especificación (1) siendo la variable dependiente el número de patentes eléctricas. Las líneas muestran un intervalo de confianza de un 95 por ciento.

Con el fin de analizar si en todas las macro industrias sucede un efecto similar, se hace el mismo análisis, pero diferenciado entre clases de patentes más generales. Estos rubros se clasifican en base a la primera letra del CPC perteneciente a cada patente. De acuerdo a la definición de la UPSTO, estos son: Human Necessities (A), Performing Operations and Transporting (B), Chemistry and Metallurgy (C), Textiles and Papers (D), Mechanical Engineering (F) y Physics (G). En ese sentido, hay clases de patentes que pertenecen a un determinado rubro, las cuales son más intensivas al uso de energía, y otros que son menos intensivas al uso de energía, lo que permite ocupar la misma estrategia. Los resultados obtenidos para el outcome de cantidad de patentes eléctricas son los presentados en la Tabla 2.

Tabla 2: Efecto del mayor acceso a la electricidad en el número de patentes eléctricas por macro sector

<b>Human Necessities</b>	(1890-1894)	(1895-1899)	(1900-1904)	(1905-1909)	(1910-1914)	(1915-1919)	(1920-1924)	(1925-1929)
Interacción	0.041 (0.033)	0.037* (0.018)	0.018 (0.016)	0.040 (0.026)	0.031 (0.023)	-0.002 (0.028)	0.012 (0.031)	0.026 (0.049)
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$R^2$	.1481	.1629	.1801	.1632	.2226	.2592	.2407	.2737
N	37800	37800	37800	37800	37800	37800	37800	37800
<b>Performing Operations</b>	(1890-1894)	(1895-1899)	(1900-1904)	(1905-1909)	(1910-1914)	(1915-1919)	(1920-1924)	(1925-1929)
Interacción	0.097 (0.122)	0.080 (0.099)	0.078 (0.089)	0.125 (0.113)	0.080 (0.083)	0.089 (0.091)	0.039 (0.078)	0.035 (0.072)
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$R^2$	.0898	.1140	.1571	.1805	.1996	.1978	.2012	.2154
N	83700	83700	83700	83700	83700	83700	83700	83700
<b>Chemestry, Metallurgy</b>	(1890-1894)	(1895-1899)	(1900-1904)	(1905-1909)	(1910-1914)	(1915-1919)	(1920-1924)	(1925-1929)
Interacción	-0.005 (0.007)	-0.003 (0.009)	-0.011 (0.009)	-0.021* (0.012)	-0.019 (0.012)	-0.025* (0.013)	-0.022* (0.013)	-0.030 (0.018)
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$R^2$	.2409	.1292	.2364	.1817	.2384	.2472	.2536	.2231
N	45900	45900	45900	45900	45900	45900	45900	45900
<b>Textiles, Papers</b>	(1890-1894)	(1895-1899)	(1900-1904)	(1905-1909)	(1910-1914)	(1915-1919)	(1920-1924)	(1925-1929)
Interacción	-0.019 (0.011)	-0.005 (0.011)	0.003 (0.013)	-0.009 (0.019)	-0.016 (0.019)	-0.030 (0.044)	-0.050 (0.066)	-0.086 (0.088)
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$R^2$	.1264	.1538	.0573	.0828	.1193	.0716	.1258	.1007
N	21600	21600	21600	21600	21600	21600	21600	21600
<b>Mechanical Engineering</b>	(1890-1894)	(1895-1899)	(1900-1904)	(1905-1909)	(1910-1914)	(1915-1919)	(1920-1924)	(1925-1929)
Interacción	-0.027 (0.021)	-0.008 (0.018)	0.008 (0.030)	0.012 (0.030)	0.005 (0.051)	-0.021 (0.065)	-0.043 (0.056)	-0.049 (0.054)
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$R^2$	.2017	.2374	.2540	.2915	.2568	.2396	.2705	.2872
N	48600	48600	48600	48600	48600	48600	48600	48600
<b>Physics</b>	(1890-1894)	(1895-1899)	(1900-1904)	(1905-1909)	(1910-1914)	(1915-1919)	(1920-1924)	(1925-1929)
Interacción	-0.001 (0.026)	-0.012 (0.020)	-0.018 (0.015)	0.003 (0.011)	-0.019 (0.022)	-0.020 (0.027)	-0.014 (0.021)	0.002 (0.030)
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$R^2$	.2975	.2984	.4567	.4642	.4366	.5049	.4655	.4143
N	29700	29700	29700	29700	29700	29700	29700	29700

Nota: Esta tabla muestra la estimación del modelo DiD a través de MCO para cada uno de los ocho periodos de 5 años entre 1890 y 1930, donde la variable interacción es la multiplicación de la variable Energy intensity y la variable Prox, mientras que la variable dependiente es el número de patentes eléctricas en cada uno de los periodos menos el periodo base (1851 a 1855), por macro sector. En todos los casos se estima aplicando efectos fijos por Condado y por clase de patente. En paréntesis se muestran los errores estándar agrupados por Condado y por clase de patente.

\* $p < 0,10$  \*\* $p < 0,05$  \*\*\* $p < 0,01$

Como se puede observar, los resultados no son muy distintos a los obtenidos de forma agregada. La única estimación significativa y positiva viene dada por el sector de Necesidades humanas, particularmente para el periodo de 1895-1899. Por otro lado, sorprendentemente, se ve un efecto significativo y negativo importante en el rubro de Químicos y Metalurgia, posterior a 1910. Esto significa que para ese rubro en particular, venir de sectores intensivos al uso de energías y estar cercano a una central hidroeléctrica, hizo que se patentaran menos patentes eléctricas.

#### **4.2.2. Cantidad de patentes totales**

El segundo resultado de interés es la cantidad de patentes totales. Este resultado es interesante en dos sentidos. Primero, en caso de ser significativo y positivo, las clases de patentes intensivas al uso de energía que están en condados cercanos a una central hidroeléctrica estarían experimentando un boom de innovación en general. Esto, por ejemplo, podría tener que ver con otros mecanismos que estén operando debido a una electricidad menos costosa, como sería el caso de un aumento en el flujo de información que posibilita avanzar en innovaciones realizadas en otras partes, o también la capacidad de aprovechar máquinas eléctricas para innovar en otros rubros, o incluso un aumento en el tiempo disponible para innovar debido a la luz artificial, entre otras. Es por esto que se aplica la misma estrategia de identificación a este nuevo outcome, obteniendo los resultados descritos en la Tabla anexo 2. De la misma manera, en la Figura 2 se presenta de forma gráfica los coeficientes obtenidos.

Figura 2: Efecto del mayor acceso a la electricidad en el número de patentes eléctricas

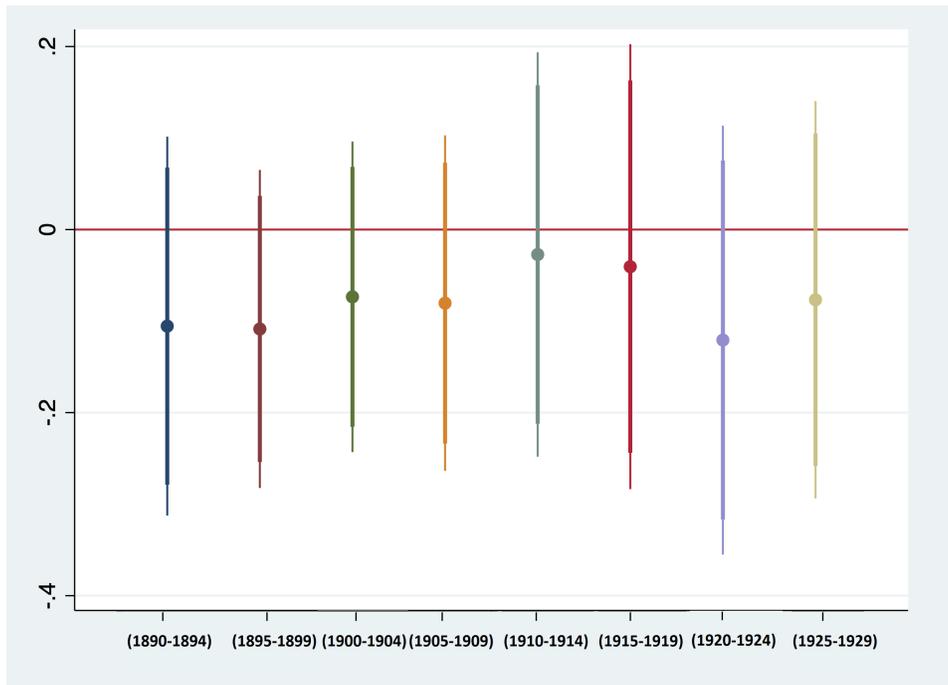


Figura 2: Esta figura presenta los coeficientes de interacción de la especificación (1) siendo la variable dependiente el número de patentes totales. Las líneas muestran un intervalo de confianza de un 95 %.

Nuevamente los resultados obtenidos no muestran una relación significativa entre la interacción de las variables explicativas y la cantidad de patentes totales. En este caso, en promedio (tomando en consideración todos los periodos), un 1 por ciento más en la intensidad del uso de energía de una clase de patente, cuando esta se encuentra cercana a un condado con acceso a electricidad más barata, genera 0,079 patentes menos en general. Poniéndolo en orden de magnitud, en promedio se patentan 0,25 patentes más, con lo cual, aún cuando los resultados no son significativos, estos no son pequeños comparados con el promedio del resultado de interés. Aún así, distinto a la sección anterior, todos los resultados son consistentes en tener el signo negativo, por lo que no es descartable que el ratio entre el número de patentes eléctricas y el número de patentes totales pueda ser significativo (implicando que la fracción de patentes eléctricas es la que aumentó). Para ver cuan consistentes son los resultados obtenidos en cada uno de los rubros definidos en la clasificación de CPCs, se realiza el mismo ejercicio anterior, separando resultados por rubro general. Los resultados obtenidos son los descritos en la Tabla 3.

Tabla 3: Efecto del mayor acceso a la electricidad en el número de patentes totales por macro sector

<b>Human Necessities</b>	(1890-1894)	(1895-1899)	(1900-1904)	(1905-1909)	(1910-1914)	(1915-1919)	(1920-1924)	(1925-1929)
Interacción	0.137 (0.327)	0.024 (0.294)	0.214 (0.381)	0.098 (0.375)	0.113 (0.390)	0.127 (0.468)	0.113 (0.455)	0.347 (0.651)
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$R^2$	.3377	.3499	.3739	.3436	.3744	.3731	.3958	.4071
N	37800	37800	37800	37800	37800	37800	37800	37800
<b>Performing Operations</b>	(1890-1894)	(1895-1899)	(1900-1904)	(1905-1909)	(1910-1914)	(1915-1919)	(1920-1924)	(1925-1929)
Interacción	0.315 (0.588)	0.110 (0.403)	0.176 (0.443)	0.231 (0.471)	0.203 (0.424)	0.119 (0.436)	-0.228 (0.363)	-0.073 (0.313)
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$R^2$	.3595	.3151	.3130	.3103	.3274	.2907	.2653	.3033
N	83700	83700	83700	83700	83700	83700	83700	83700
<b>Chemistry, Metallurgy</b>	(1890-1894)	(1895-1899)	(1900-1904)	(1905-1909)	(1910-1914)	(1915-1919)	(1920-1924)	(1925-1929)
Interacción	-0.102** (0.044)	-0.090* (0.052)	-0.040 (0.052)	-0.126* (0.063)	-0.089** (0.040)	-0.112*** (0.037)	-0.089** (0.032)	-0.122*** (0.042)
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$R^2$	.4312	.2966	.3919	.3882	.4146	.4650	.4154	.2780
N	45900	45900	45900	45900	45900	45900	45900	45900
<b>Textiles, Papers</b>	(1890-1894)	(1895-1899)	(1900-1904)	(1905-1909)	(1910-1914)	(1915-1919)	(1920-1924)	(1925-1929)
Interacción	-0.753** (0.284)	-0.652** (0.244)	-0.311 (0.235)	-0.421** (0.177)	-0.441 (0.266)	-0.271 (0.225)	-0.344 (0.367)	-0.262 (0.371)
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$R^2$	.3315	.2431	.2996	.3075	.2164	.1887	.2244	.2270
N	21600	21600	21600	21600	21600	21600	21600	21600
<b>Mechanical Engineering</b>	(1890-1894)	(1895-1899)	(1900-1904)	(1905-1909)	(1910-1914)	(1915-1919)	(1920-1924)	(1925-1929)
Interacción	-0.218 (0.165)	-0.093 (0.134)	-0.099 (0.128)	-0.093 (0.169)	0.051 (0.222)	-0.032 (0.248)	-0.109 (0.203)	-0.131 (0.191)
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$R^2$	.3208	.3127	.3212	.2936	.3262	.3331	.3193	.3207
N	48600	48600	48600	48600	48600	48600	48600	48600
<b>Physics</b>	(1890-1894)	(1895-1899)	(1900-1904)	(1905-1909)	(1910-1914)	(1915-1919)	(1920-1924)	(1925-1929)
Interacción	-0.155 (0.087)	-0.173** (0.073)	-0.194** (0.070)	-0.138* (0.067)	-0.177* (0.085)	-0.125 (0.088)	-0.089 (0.093)	-0.100 (0.105)
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$R^2$	.5524	.3587	.5933	.5932	.5902	.5869	.5489	.5089
N	29700	29700	29700	29700	29700	29700	29700	29700

Nota: Esta tabla muestra la estimación del modelo DiD a través de MCO para cada uno de los ocho periodos de 5 años entre 1890 y 1930, donde la variable interacción es la multiplicación de la variable Energy intensity y la variable Prox, mientras que la variable dependiente es el número de patentes eléctricas en cada uno de los periodos menos el periodo base (1851 a 1855), por macro sector. En todos los casos se estima aplicando efectos fijos por Condado y por clase de patente. En paréntesis se muestran los errores estándar agrupados por Condado y por clase de patente.

\* $p < 0,10$  \*\* $p < 0,05$  \*\*\* $p < 0,01$

Se puede observar que tanto en Química y Metalurgia, como en Textiles y Papel, y en Física, muchos de los periodos tienen coeficientes negativos y significativos, siendo estos a su vez los que tienen resultados más negativos en la cantidad de patentes relacionadas a la energía eléctrica. Por ello es presumible que el efecto capturado por la sección anterior responda más a la cantidad de patentes totales que a una menor cantidad de patentes eléctricas.

#### **4.2.3. Fracción de patentes eléctricas**

Un tercer resultado de interés, motivado por lo obtenido en la Sección 4.2.1 y Sección 4.2.2, es la fracción de patentes eléctricas, puesto que si bien el número de patentes eléctricas no aumentaba de forma significativa, si presentaba un coeficiente consistentemente positivo (al menos en los seis primeros periodos). De la misma forma, si bien la cantidad de patentes totales no disminuía de forma significativa, el coeficiente era consistentemente negativo. Es por ello que se analiza si el ratio de patentes eléctricas aumentó comparado con el total de patentes producto del acceso a electricidad a menor costo. Para ello, debido a que se ocupa el ratio, se aplica tanto al denominador como al numerador logaritmo natural a las variables más uno, con el fin de no tener problemas de valores perdidos de forma sistemática. Una vez realizado esto, se estima la misma especificación propuesta en (1) con la cual se obtienen los resultados de la Tabla Anexo 3, los que a su vez son representados en la Figura 3. Como se puede apreciar, para los primeros cuatro periodos se obtiene un coeficiente positivo y significativo, lo cual quiere decir que el acceso a la electricidad a menor costo hizo que el ratio de patentes eléctricas aumentara en el periodo de 1890 a 1910. De igual manera, a pesar de que los siguientes periodos el coeficiente no es significativo, si es positivo, lo que da a entender que la dirección del efecto es consistente. En términos de la interpretación del promedio de coeficientes obtenidos, estos dan cuenta de que un aumento en un 1 por ciento en la intensidad en el uso de la energía de la clase de la patente repercute en un 0,023 por ciento mayor en la fracción de patentes eléctricas en relación al periodo base, cuando hay un acceso más barato a la energía eléctrica. Nuevamente, en términos de orden de magnitud, los resultados son relevantes y dan muestra de que el acceso más fácil a la energía eléctrica repercute de forma importante en la fracción de patentes eléctricas.

Figura 3: Efecto del mayor acceso a la electricidad en la fracción de patentes eléctricas

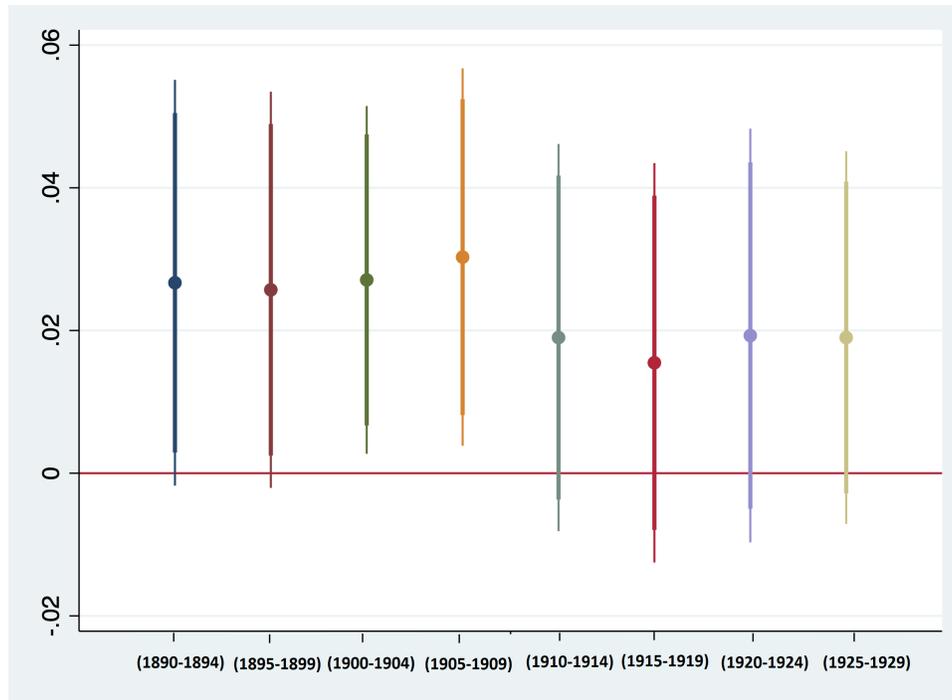


Figura 3: Esta figura presenta los coeficientes de interacción de la especificación (1) siendo la variable dependiente el ratio entre el número de patentes eléctricas y el número de patentes totales. Las líneas muestran un intervalo de confianza de un 95 %.

#### 4.2.4. Presencia de al menos una patente eléctrica

Un cuarto resultado de interés, el cual está motivado por los resultados obtenidos en la Sección 4.2.1, es si aumentó la presencia de patentes eléctricas. En ese sentido, diferente a lo analizado ahí, se quiere ver si en las clases de patentes intensivas al uso de energía en un condado cercano a una central hidroeléctrica, hay más probabilidades de que haya al menos una patente eléctrica, en comparación al periodo base. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4. Como se observa, si bien todos los coeficientes son consistentemente positivos (salvo el caso del periodo entre 1920 y 1924 que es cero), solo el periodo entre 1905 y 1909 tiene un coeficiente significativo, por lo que nuevamente no se puede concluir que la presencia de patentes eléctricas haya aumentado significativamente.

Tabla 4: Efecto del mayor acceso a la electricidad en la presencia de al menos una patente eléctrica

	(1890-1894)	(1895-1899)	(1900-1904)	(1905-1909)	(1910-1914)	(1915-1919)	(1920-1924)	(1925-1929)
Interacción	0.003 (0.004)	0.004 (0.004)	0.005 (0.006)	0.012* (0.007)	0.007 (0.008)	0.005 (0.008)	0.000 (0.007)	0.003 (0.006)
$\Delta Promedio$	0.007	0.007	0.008	0.010	0.012	0.015	0.015	0.017
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$R^2$	.1821	.1720	.1834	.1781	.1757	.2035	.2070	.2208
N	270000	270000	270000	270000	270000	270000	270000	270000

Nota: Esta tabla muestra la estimación del modelo DiD a través de MCO para cada uno de los ocho periodos de 5 años entre 1890 y 1930, donde la variable interacción es la multiplicación de la variable Energy intensity y la variable Prox, mientras que la variable dependiente es una variable binaria que toma el valor de uno en caso de que exista al menos una patente eléctrica menos la variable binaria en el periodo base (1851 a 1855). En todos los casos se estima aplicando efectos fijos por Condado y por clase de patente. En paréntesis se muestran los errores estándar agrupados por Condado y por clase de patente.

\* $p < 0,10$  \*\* $p < 0,05$  \*\*\* $p < 0,01$

#### 4.2.5. Cantidad de patentes eléctricas estrellas inscritas

Finalmente, el quinto resultado de interés es si las patentes eléctricas nuevas que se crean en las clases de patentes intensivas al uso de energía en un condado cercano a una central hidroeléctrica son de mayor “calidad”. Para medir calidad se ocupa las veces en que fue citada la patente hasta el año 2000. Con el fin de definir una categoría de patentes sobresalientes en cuanto a sus citas, se tabula la cantidad de citas recibidas, viendo con ello que las patentes con 5 o más citas representan el 5 por ciento del total. Con ello se define a aquellas patentes como las que son de mayor calidad, en relación al resto. Una vez generada esta variable de resultado, se ocupa la misma estrategia empírica y se obtienen los resultados descritos en la Tabla 5. Como se puede observar, no hay resultados significativos, aún cuando el signo de varios de los coeficientes es negativo. Por ende, no se puede rechazar la hipótesis de que el acceso a la electricidad más barata no impacta la calidad de las innovaciones eléctricas.

Tabla 5: Efecto del mayor acceso a la electricidad en la calidad de las patentes eléctricas

	(1890-1894)	(1895-1899)	(1900-1904)	(1905-1909)	(1910-1914)	(1915-1919)	(1920-1924)	(1925-1929)
Interacción	-0.000 (0.000)	-0.000 (0.000)	-0.001 (0.001)	0.001 (0.001)	-0.000 (0.001)	0.000 (0.003)	-0.002 (0.002)	-0.003 (0.003)
$\Delta Promedio$	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.004	0.006
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$R^2$	.0537	.0697	.0758	.0783	.0968	.1241	.1551	.1463
N	270000	270000	270000	270000	270000	270000	270000	270000

Nota: Esta tabla muestra la estimación del modelo DiD a través de MCO para cada uno de los ocho periodos de 5 años entre 1890 y 1930, donde la variable interacción es la multiplicación de la variable Energy intensity y la variable Prox, mientras que la variable dependiente es el número de patentes eléctricas con más de cinco citas en cada uno de los periodos menos el periodo base (1851 a 1855). En todos los casos se estima aplicando efectos fijos por Condado y por clase de patente. En paréntesis se muestran los errores estándar agrupados por Condado y por clase de patente.

\* $p < 0,10$  \*\* $p < 0,05$  \*\*\* $p < 0,01$

## 5. Conclusión

En este trabajo se buscó analizar si la masificación de la electricidad en Estados Unidos impactó la forma de innovar de ese país durante fines del siglo XIX y principios del siglo XX. En particular, el análisis se centró en la cantidad y calidad de las innovaciones relacionadas a la electricidad, por medio de resultados como el volumen de nuevas patentes eléctricas y patentes totales, la fracción de patentes eléctricas, la presencia de al menos una patente eléctrica, y la calidad de estas representada por su cantidad de citas. Esta pregunta de investigación es relevante puesto que la electricidad, como insumo productivo, tuvo un impacto en la mayoría de los métodos de producción y su masificación implicó que las distintas industrias tuvieran un acceso menos costoso, por lo que la decisión de las empresas al momento de innovar pudo haber cambiado por este factor. Con este análisis, se busca complementar literatura previa que da cuenta de una mayor innovación ante el cambio en el precio de un insumo productivo o el no acceso a este.

Por medio de una estrategia de diferencias en diferencias, donde se relacionó la intensidad en el uso de energía de las clases de patentes previo a la masificación de la electricidad y la proximidad de los condados estadounidenses a una central hidroeléctrica, con la cantidad de patentes intensivas al uso de electricidad, se logró capturar el efecto de la electricidad a menor costo en estos distintos resultados y se obtuvo que esta tuvo algunos efectos significativos en la forma de innovar en los sectores manufactureros. En particular, se obtuvo un importante efecto positivo y significativo en la fracción de patentes eléctricas en el periodo de 1890 a 1910, un leve efecto significativo y positivo en la presencia de patentes eléctricas en el periodo de 1905 a 1909 y un leve efecto significativo y negativo en el total de patentes en algunas macro industrias. Estos resultados sugieren que aún cuando la electricidad representó un insumo clave en el desarrollo industrial, su masificación por medio de un acceso a menor costo no tuvo grandes efectos en la cantidad de patentes eléctricas nuevas ni en su calidad, pero si en el ratio de patentes eléctricas en relación a las patentes totales en los sectores manufactureros.

A pesar de que algunos de estos resultados no den cuenta de grandes cambios en la forma de innovar en EEUU producto de un acceso más fácil a la electricidad, estos también podrían estar respondiendo a otros mecanismos que no son los evaluados dentro de este trabajo, como lo podría ser la reasignación de recursos que genera el menor costo de un insumo productivo dentro de las empresas o también decisiones racionales en cuanto a no patentar ciertas invenciones con el fin de no divulgar el conocimiento, entre otras. Además de esto, otra línea de investigación que puede ser motivada por este trabajo es el rol de la educación en la formación de capital humano apto para el aprovechamiento de las innovaciones y la generación de nueva innovación, ya que parte de la adopción misma de la electricidad, aún cuando fuera menos costosa, requirió una capacidad técnica que fue novedosa para la época y que seguramente provocó que ciertos polos de conocimiento la aprovecharan más que otros.

En conclusión, la innovación es uno de los propulsores del crecimiento a lo largo de la historia, por lo que su estudio y mayor entendimiento es fundamental para los economistas. En relación

a ello, este trabajo busca abrir nuevas y distintas líneas investigativas que busquen dar explicación a los motivos por los cuales se llega a innovar, con las cuales se pueda seguir construyendo la literatura de la endogeneidad de la innovación y con ello dar más luces de cuales son sus motores, junto con las políticas públicas y acciones privadas que logren fomentarla.

## 6. Bibliografía

1. Acemoglu, D. (2002a). Technical change, inequality, and the labor market. *Journal of economic literature*, 40(1), 7-72.
2. Acemoglu, D. (2002b). Directed technical change. *The review of economic studies*, 69(4), 781-809.
3. Aghion, P., Howitt, P. (1992). A model of growth through creative destruction.
4. Baten, J., Bianchi, N., & Moser, P. (2015). Does compulsory licensing discourage invention? Evidence from German patents after WWI (No. w21442). National Bureau of Economic Research.
5. Bointner, R. (2014). Innovation in the energy sector: Lessons learnt from RD expenditures and patents in selected IEA countries. *Energy Policy*, 73, 733-747.
6. David, P. A. (1990). The dynamo and the computer: an historical perspective on the modern productivity paradox. *The American Economic Review*, 80(2), 355-361.
7. Du Boff, R. B. (1979). *Electric power in American manufacturing, 1889-1958*. Ayer Company Pub.
8. Fiszbein, J. Lafortune, E. Lewis, and J. Tessada. New technologies, productivity, and jobs: the (heterogeneous) effects of electrification on us manufacturing. Working Paper, 2020.
9. Giorcelli, M., & Moser, P. (2020). Copyrights and creativity: Evidence from Italian opera in the Napoleonic age. *Journal of Political Economy*, 128(11), 4163-4210.
10. Grossman, G. M., Helpman, E. (1994). Endogenous innovation in the theory of growth. *Journal of Economic Perspectives*, 8(1), 23-44.
11. Hanlon, W. W. (2012). *Innovation and Industry Development: Lessons from the British Cotton Textile Industry During the US Civil War* (Doctoral dissertation, Columbia University).

12. Horstmann, I., MacDonald, G. M., Slivinski, A. (1985). Patents as information transfer mechanisms: To patent or (maybe) not to patent. *Journal of Political Economy*, 93(5), 837-858.
13. Hu, A. G., Jaffe, A. B. (2003). Patent citations and international knowledge flow: the cases of Korea and Taiwan. *International journal of industrial organization*, 21(6), 849-880.
14. Jaffe, A.B., Trajtenberg, M., (1999). International knowledge flows: evidence from patent citations. *Economics of Innovation New Technology* 8 (1/2), 105–136.
15. Jovanovic, B., & Rousseau, P. L. (2005). General purpose technologies. In *Handbook of economic growth* (Vol. 1, pp. 1181-1224). Elsevier.
16. Kuhn, J., Younge, K., Marco, A. (2020). Patent citations reexamined. *The RAND Journal of Economics*, 51(1), 109-132.
17. Lafortune, J., E. Lewis, and J. Tessada (2019): “People and Machines: A Look at the Evolving Relationship between Capital and Skill in Manufacturing, 1860–1930, Using Immigration Shocks,” *Review of Economics and Statistics*, 101, 30–43.
18. Lavandero Corssen, J. (2021). Electricity and endogenous technological change: evidence from the US rural electrification in 1910-1950.
19. Mancusi, M. L. (2008). International spillovers and absorptive capacity: A cross-country cross-sector analysis based on patents and citations. *Journal of International Economics*, 76(2), 155-165.
20. Pakes, A., Griliches, Z. (1980). Patents and RD at the firm level: A first report. *Economics letters*, 5(4), 377-381.
21. Petralia, Sergio, Pierre-Alexandre Balland, and David L. Rigby. Unveiling the geography of historical patents in the United States from 1836 to 1975.” *Scientific data* 3 (2016):160074.
22. Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of political Economy*, 98(5,

- Part 2), S71-S102.
23. Rousseau P.L. (2008) General Purpose Technologies. In: Palgrave Macmillan (eds) The New Palgrave Dictionary of Economics. Palgrave Macmillan, London.
  24. San, S. (2022). Labor Supply and Directed Technical Change: Evidence from the Termination of the Bracero Program in 1964. *American Economic Journal: Applied Economics*.
  25. Smythe, D. J. (2001). The great merger movement and the diffusion of electric power utilization in American manufacturing, 1899-1909: A simple test of the Schumpeterian hypothesis. *Eastern Economic Journal*, 27(3), 253-266.
  26. Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The quarterly journal of economics*, 70(1), 65-94.
  27. Woolf, A. G. (1982). Energy and Technology in American Manufacturing: 1900–1929. *The Journal of Economic History*, 42(1), 230-232.

## 7. Anexos

Tabla Anexo 1: Efecto del mayor acceso a la electricidad en el número de patentes eléctricas

	(1890-1894)	(1895-1899)	(1900-1904)	(1905-1909)	(1910-1914)	(1915-1919)	(1920-1924)	(1925-1929)
Interacción	0.005 (0.019)	0.006 (0.017)	0.011 (0.017)	0.027 (0.019)	0.018 (0.022)	0.006 (0.024)	-0.005 (0.023)	-0.003 (0.021)
$\Delta Promedio$	0.021	0.019	0.018	0.021	0.023	0.034	0.034	0.039
FE	Yes	Yes						
$R^2$	.1085	.1294	.1972	.2191	.2377	.2342	.2451	.2534
N	270000	270000	270000	270000	270000	270000	270000	270000

Nota: Esta tabla muestra la estimación del modelo DiD a través de MCO para cada uno de los ocho periodos de 5 años entre 1890 y 1930, donde la variable interacción es la multiplicación de la variable Energy intensity y la variable Prox, mientras que la variable dependiente es el número de patentes eléctricas en cada uno de los periodos menos el periodo base (1851 a 1855) En todos los casos se estima aplicando efectos fijos por Condado y por clase de patente. En paréntesis se muestran los errores estándar agrupados por Condado y por clase de patente.

\* $p < 0,10$  \*\* $p < 0,05$  \*\*\* $p < 0,01$

Tabla Anexo 2: Efecto del mayor acceso a la electricidad en el número de patentes totales

	(1890-1894)	(1895-1899)	(1900-1904)	(1905-1909)	(1910-1914)	(1915-1919)	(1920-1924)	(1925-1929)
Interacción	-0.105 (0.104)	-0.109 (0.088)	-0.074 (0.086)	-0.080 (0.092)	-0.027 (0.111)	-0.041 (0.123)	-0.121 (0.118)	-0.077 (0.109)
$\Delta Promedio$	0.235	0.216	0.220	0.256	0.264	0.292	0.279	0.262
FE	Yes							
$R^2$	.3195	.2831	.3049	.2880	.3038	.2981	.2799	.2950
N	270000	270000	270000	270000	270000	270000	270000	270000

Nota: Esta tabla muestra la estimación del modelo DiD a través de MCO para cada uno de los ocho periodos de 5 años entre 1890 y 1930, donde la variable interacción es la multiplicación de la variable Energy intensity y la variable Prox, mientras que la variable dependiente es el número de patentes totales en cada uno de los periodos menos el periodo base (1851 a 1855) En todos los casos se estima aplicando efectos fijos por Condado y por clase de patente. En paréntesis se muestran los errores estándar agrupados por Condado y por clase de patente.

\* $p < 0,10$  \*\* $p < 0,05$  \*\*\* $p < 0,01$

Tabla Anexo 3: Efecto del mayor acceso a la electricidad en la fracción de patentes eléctricas

	(1890-1894)	(1895-1899)	(1900-1904)	(1905-1909)	(1910-1914)	(1915-1919)	(1920-1924)	(1925-1929)
Interacción	0.027* (0.014)	0.026* (0.014)	0.027** (0.012)	0.030** (0.013)	0.019 (0.014)	0.015 (0.014)	0.019 (0.015)	0.019 (0.013)
$\Delta Promedio$	-0.061	-0.058	-0.061	-0.072	-0.074	-0.072	-0.065	-0.056
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$R^2$	.3136	.2953	.3035	.3166	.3155	.3212	.3176	.2908
N	270000	270000	270000	270000	270000	270000	270000	270000

Nota: Esta tabla muestra la estimación del modelo DiD a través de MCO para cada uno de los ocho periodos de 5 años entre 1890 y 1930, donde la variable interacción es la multiplicación de la variable Energy intensity y la variable Prox, mientras que la variable dependiente es el ratio entre el logaritmo natural de la suma de patentes eléctricas más uno y el logaritmo natural de la suma de patentes totales más uno (ambas por condado y clase de patente), menos la misma variable en el periodo base (1851 a 1855). En todos los casos se estima aplicando efectos fijos por Condado y por clase de patente. En paréntesis se muestran los errores estándar agrupados por Condado y por clase de patente.

\* $p < 0,10$  \*\* $p < 0,05$  \*\*\* $p < 0,01$