

ISSN: 2730-504X

Serie  
**Documentos de Trabajo**

NÚMERO 2 - 2020

**APORTES DEL CAMPO DE LA CIENCIA,  
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN AL ESTUDIO  
DE LAS TRANSICIONES ENERGÉTICAS**

*Claudia Cohanoff, Soledad Contreras, Andrea Waiter*

Unidad Académica  
Comisión Sectorial de Investigación Científica  
Universidad de la República



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

# APORTES DEL CAMPO DE LA CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN AL ESTUDIO DE LAS TRANSICIONES ENERGÉTICAS

*Claudia Cohanoff, Soledad Contreras, Andrea Waiter*  
*Unidad Académica de CSIC, Universidad de la República*

## *Resumen*

El presente documento de trabajo tiene como objetivo describir los principales aportes que el campo de estudios conocido como *ciencia, tecnología e innovación* (CTI) puede hacer al estudio de las transiciones energéticas. Para ello, en primer lugar se realiza una revisión bibliográfica, repasando las principales discusiones sobre energía y desarrollo y, en particular, sobre las transiciones energéticas. Luego se proponen cinco líneas sobre las cuales los estudios CTI, a través de algunos conceptos y enfoques, pueden aportar a la mejor comprensión de las transiciones energéticas: 1) la relación entre ciencia y tecnología; 2) los estudios sobre innovación; 3) los estudios sobre la relación entre la tecnología, la innovación y la inclusión social; 4) los procesos de difusión de tecnologías y de adopción; y 5) el enfoque de las transiciones sociotécnicas.

Palabras clave: Transiciones energéticas; Energía y desarrollo; Ciencia, tecnología e innovación.

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento de trabajo surge de la necesidad de profundizar en el vínculo entre las transiciones energéticas y el campo de la ciencia, tecnología e innovación (CTI), de tres integrantes de la Unidad Académica (UA) de la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC).

Quienes escribimos este documento nos hemos interesado desde diferentes ámbitos en el estudio de la energía. Si bien cada una de nosotras proviene de una disciplina distinta (antropología, biología y sociología), nos une el ímpetu en el avance del conocimiento en el campo de ciencia, tecnología y sociedad (CTS) en el marco del colectivo de la CSIC.

De hecho, este trabajo se nutre en parte de trabajos personales y colectivos sobre energía y, particularmente, transiciones energéticas. Este tema no es una preocupación nueva para nuestro colectivo, ya que desde hace unos años se ha venido trabajando en los aspectos sociales de la energía y, más concretamente, en el cambio de la matriz energética atravesada por Uruguay. Este trabajo se ha reflejado en algunas publicaciones (Ardanche et al., 2017a; Ardanche et al., 2017b).

A esto se les suman las contribuciones de carácter individual. La tesis de Maestría en Demografía y Estudios de Población de Soledad Contreras constituyó un insumo importante para el estudio de los aspectos sociales de la energía en Uruguay, en particular, para la medición de la vulnerabilidad energética (Contreras, 2019). La tesis de Maestría en Historia Económica y Social de Andrea Waiter ayudó para justificar la importancia de las transiciones energéticas como unidad de análisis histórico (Waiter, 2019). Por último, a partir de la elaboración de su informe final de tesis de Maestría en Manejo Costero Integrado, Claudia Cohanoff aportó en la problemática de la definición de agendas de investigación. Además, las tres autoras llevan adelante un estudio —en el marco de un proyecto liderado por el Área de Estudios Sociales de la Tecnología y la Innovación de la Universidad Nacional de Quilmes— sobre las consecuencias económicas y sociales que tiene el programa denominado Fondo Solar de la Comisión Honoraria Pro Erradicación de la Vivienda Insalubre (Mevir), en la localidad de Solís de Mataojo, Lavalleja. Dicho programa tiene como objetivo la instalación de calentadores solares en viviendas de la población rural vulnerable.

En las páginas que siguen se intenta reflexionar sobre los posibles aportes que el campo de la CTI podría hacer a los estudios de las transiciones energéticas. Para ello, este documento se ordena de la siguiente manera: en la primera sección se exponen las principales contribuciones de la literatura con relación al vínculo entre energía y desarrollo y se aporta evidencia sobre los desafíos actuales en torno a este tema; a continuación, se profundiza en el concepto de transiciones energéticas desde diferentes disciplinas y se muestra su utilidad para los estudios que vinculan la energía y el desarrollo. Posteriormente, se desarrollan diferentes aportes que el campo de la CTI puede hacer al estudio de las transiciones energéticas y, por último, se presentan las reflexiones finales.

## 2. RELACIÓN ENTRE ENERGÍA Y DESARROLLO: PRINCIPALES CONCEPTUALIZACIONES Y DESAFÍOS ACTUALES

En las últimas décadas, la literatura se ha preocupado por estudiar el vínculo entre energía y desarrollo, y se han desarrollado diferentes vertientes con la participación de diversas disciplinas y campos del conocimiento. A continuación, se exponen algunas de las propuestas más relevantes y los principales desafíos que existen en la actualidad.

Existen tres importantes dimensiones a través de las cuales el consumo de energía se relaciona con el desarrollo: a) *económica*: la energía constituye un prerrequisito básico para el crecimiento económico, b) *ambiental*: la extracción, producción y consumo de energía constituyen hoy en día las principales fuentes de estrés ambiental, y c) *social*: la energía constituye un derecho social y es un prerrequisito para alcanzar necesidades humanas básicas (Najam y Cleveland, 2003).

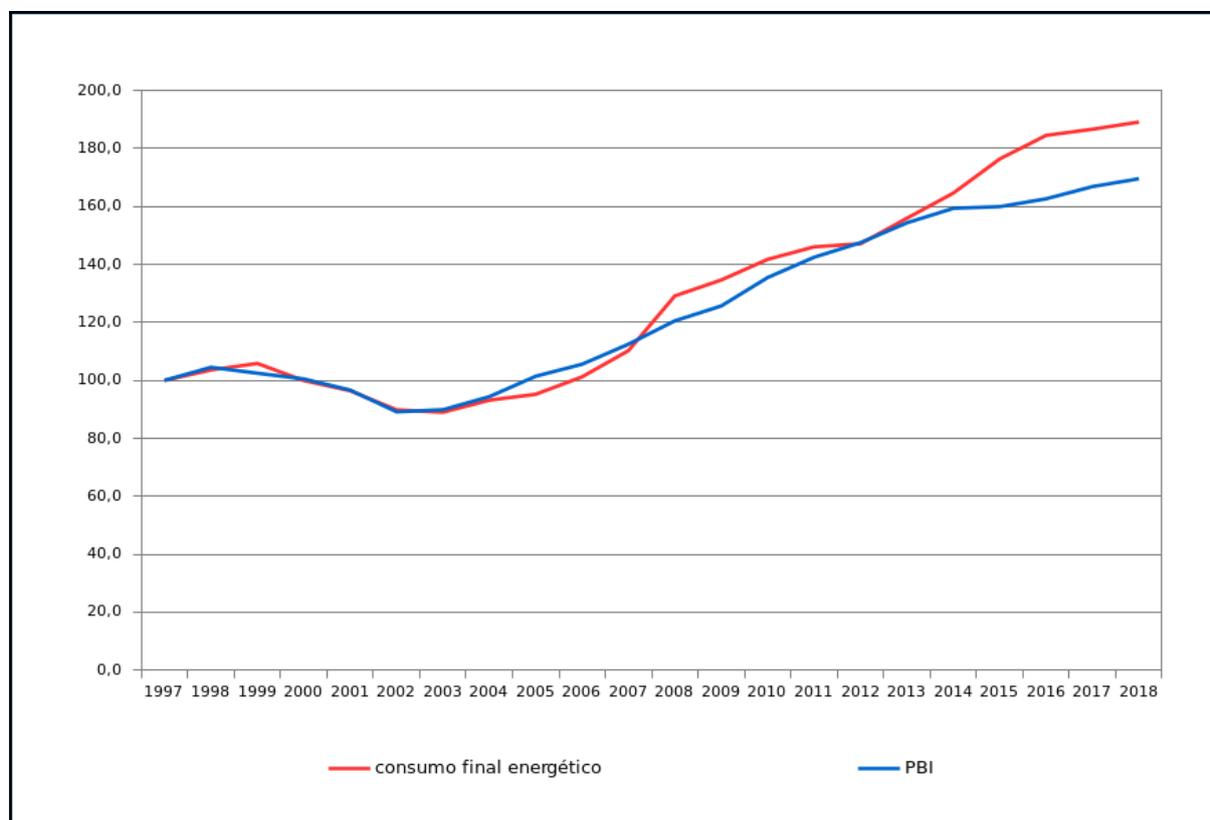
### 2.1. Desarrollo económico

El primer punto hace referencia a la importancia central de la energía para el desarrollo económico de las naciones, ya que está por detrás de todo proceso productivo. Así, la producción puede ser entendida como un proceso físico en el que se necesita energía para transformar la materia prima en bienes económicos (Najam y Cleveland, 2003). No es de extrañar el vínculo estrecho que se constata entre desarrollo económico y consumo de energía en las naciones, como se ve en el gráfico 1 para el caso uruguayo, que muestra la relación entre el producto bruto interno (PBI) y el consumo final total de energía en el periodo 1997-2018.

Sin embargo, como señala Stern (2010), la teoría económica clásica suele ignorar la importancia de la energía para la producción, ya que la incluye en sus modelos como un bien intermedio. Esto ha sido blanco de críticas de corrientes como la economía ecológica, que ven a la producción como una función directa del consumo de energía. Estas corrientes, que no toman en cuenta en su análisis el papel de las instituciones, el conocimiento o la información también pueden ser consideradas incompletas. Para el autor, lo correcto es conceptualizar el crecimiento económico como una función del trabajo, el capital y la energía. Por otro lado, señala que la cantidad de energía utilizada por unidad de *output* ha disminuido en los últimos años debido al cambio técnico y a un aumento en la calidad de los combustibles utilizados. Sin embargo, en el trabajo de Csereklyei, Rubio-Varasand y Stern (2016) se señala que este *desacople* se ha dado solo en algunos países desarrollados.

Más allá de las discusiones señaladas, importa señalar que la energía es un factor determinante para la economía. Los precios de la energía, sobre todo de los combustibles fósiles, tienen efecto en casi todos los indicadores macroeconómicos. Hamilton (1993) mostró que todas las recesiones económicas desde la Segunda Guerra Mundial en los Estados Unidos habían sido precedidas por una suba del precio del petróleo (Hamilton, 1993, en Najam y Cleveland, 2003).

*Gráfico 1. PBI y consumo final total de energía en Uruguay, 1997-2018*



Fuente: Balance Energético Nacional 2019 (DNE-MIEM, 2020).

## 2.2. *Sustentabilidad ambiental*

En relación con la dimensión ambiental, es conocida la relación entre extracción, producción y uso de energía y la degradación ambiental. Esta tensión entre crecimiento económico y degradación ambiental es el principal punto de partida para todas las discusiones sobre desarrollo sostenible. El uso de combustibles fósiles, que siguen siendo hoy en día las principales fuentes de energía, es una de las principales causas del cambio climático a nivel global y del efecto invernadero. De acuerdo con el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) las emisiones de gases de efecto invernadero han crecido, produciendo impactos en el sistema climático que son claramente observables desde mediados del siglo XX (IPCC, 2014). El 75% de las emisiones de dióxido de carbono proviene de combustibles fósiles para la generación de energía. En la actualidad, se calcula que alrededor del 88% de la energía consumida por la humanidad proviene de petróleo, gas natural y carbón, con todas las consecuencias geopolíticas, económicas y ambientales asociadas (Bernardi et al., 2020). Se estima que, si no existiera una reducción significativa de las emisiones, la temperatura podría aumentar en 4°C para 2050 y 6°C para 2100, lo que incrementaría el riesgo de desastres climáticos (Jianzhong, Assenova y Erokhin, 2018). La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) estima que para 2050 la integración de energías renovables a las fuentes con que

cuentan los países, junto con el aumento de la eficiencia energética, reduciría hasta un 90 % de la emisión de gases de efecto invernadero en el sector (IRENA 2017).

¿Cuándo se considera a una energía renovable? ¿Por qué la incorporación de energías renovables disminuye la emisión de gases de efecto invernadero? Las respuestas a estas preguntas se relacionan fundamentalmente con el tipo de energía del que estamos hablando y con las tecnologías asociadas a su producción y utilización. Para que un recurso energético sea sostenible en el tiempo debe cumplir ciertos requisitos, tales como ser inagotable y no perjudicar a los bienes y servicios ambientales. Un recurso inagotable es aquel que es capaz de recuperarse al mismo ritmo en que es utilizado o cuya velocidad de recuperación no es demasiado lenta. En este sentido, «la energía renovable es cualquier forma de energía de fuentes solares, geofísicas o biológicas que se repone mediante procesos naturales a una velocidad que iguala o excede su velocidad de uso» (Moomaw et al., 2011, p. 178), mientras que los combustibles fósiles no lo son, ya que el tiempo que necesitan para recuperarse es demasiado largo en comparación con la velocidad en que son utilizados. Además, para que un recurso energético sea considerado sostenible desde el punto de vista ambiental no debe influir en forma negativa sobre otros recursos necesarios para la vida, como son el agua, los alimentos, la biodiversidad o cualquier otro bien o servicio provisto por el ambiente, incluido el sistema climático, ahora ni en el futuro. Se considera que la mayoría de las tecnologías asociadas a las energías renovables producen emisiones muy bajas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera en comparación con las tecnologías de los combustibles fósiles y, por lo tanto, su utilización colabora en el desarrollo de estrategias para enfrentar problemas como el cambio climático (Moomaw et al., 2011).

La preocupación por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero forma parte de la agenda pública internacional. En la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible se incluyen varias metas relacionadas con el tema: aumentar la proporción de energías renovables en el conjunto de fuentes energéticas (Objetivo 7); lograr un uso eficiente de los recursos naturales y, en particular, racionalizar los subsidios ineficientes a los combustibles fósiles (Objetivo 12); fortalecer la capacidad de adaptación, resiliencia y mitigación al cambio climático (Objetivo 13). Además, el Objetivo 13 también incluye como meta el cumplimiento de los países del compromiso firmado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Nueva York, 1992), cuyo objetivo es «la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático».

### 2.3. *Desarrollo social*

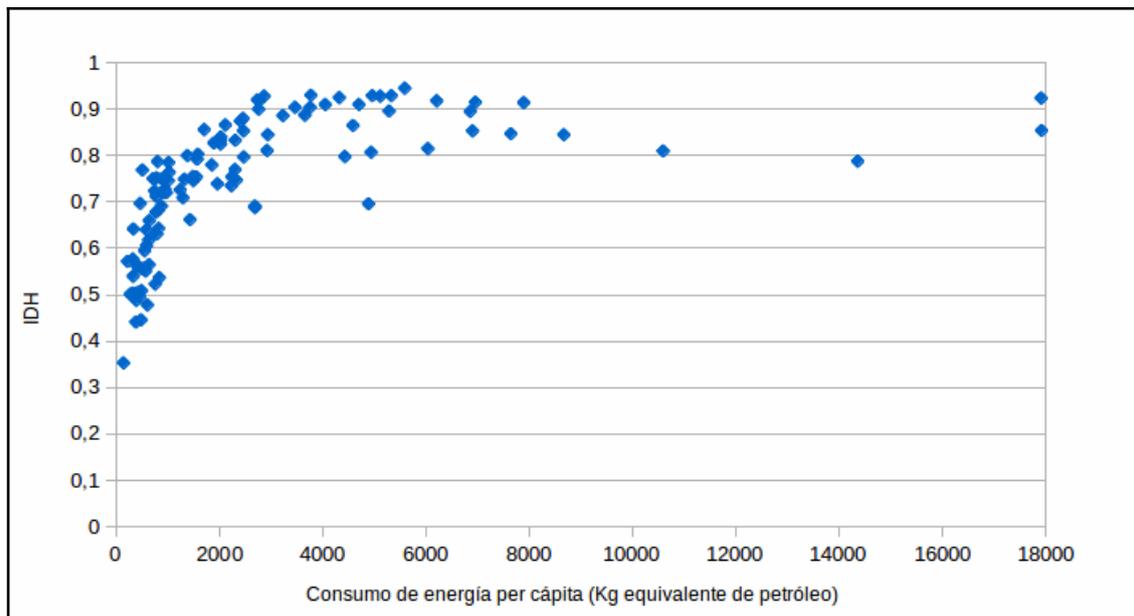
En relación con el último punto, existe un amplio consenso en que el acceso a formas modernas de energía es esencial para la reducción de la pobreza. La energía tiene una relación muy estrecha con la satisfacción de necesidades básicas para una población: alimentación, agua, educación, atención sanitaria, empleo, entre otras (Najam y Cleveland, 2003). Un ejemplo evidente es el vínculo entre consumo de energía y salud: en ciudades y sobre todo en áreas rurales donde no hay acceso a energías modernas, la combustión dentro de las viviendas de energéticos como el carbón genera una gran polución del aire, con graves consecuencias para la salud de las personas.

Si se observa la relación entre el nivel de índice de desarrollo humano (IDH) y el consumo total de energía per cápita de los países, se encuentra cierta correlación entre ambos indicadores. Un bajo nivel de consumo de energía se vincula a un bajo nivel de desarrollo humano. Sin embargo,

también se observa que altos niveles de desarrollo humano son compatibles con distintos niveles de consumo de energía. Esto puede deberse a que los países difieren en su nivel de consumo debido a factores climáticos, aspectos culturales y las políticas locales. Un ejemplo de esto es el alto consumo energético en Estados Unidos, casi el doble que el de Alemania, que se explica por las políticas energéticas y urbanas de este país. Así, es preciso señalar otro punto relevante de la relación entre consumo energético y desarrollo humano: los niveles de consumo per cápita no se traducen linealmente en una mejor calidad de vida de los hogares. Los países productores de petróleo tienen un consumo muy alto debido a los importantes subsidios al consumo y al uso intensivo para la extracción (González-Eguino, 2015).

Por otra parte, siguiendo a Steinberger y Roberts (2010), quienes estudiaron la relación entre el consumo de energía y diversos indicadores sociales como alfabetización, esperanza de vida e IDH, es posible afirmar que, para los países más pobres, grandes beneficios en el nivel de vida se alcanzarían con pequeños incrementos en el consumo de energía. Sin embargo, según se señala en su estudio, a cierto nivel de desarrollo estos beneficios tienden a estabilizarse. El trabajo indica que entre 1975 y 2005 ha habido un paulatino *desacople* de la relación entre consumo de energía y desarrollo humano, con un crecimiento continuo de los niveles de bienestar, incluso con niveles de consumo energético estables (gráfico 2). También en este sentido, Martínez y Ebenhack (2008) realizaron un estudio de la relación del IDH con el consumo de energía para 120 países. Según sus hallazgos existen dos grandes tendencias. La primera, que caracteriza a los países exportadores de petróleo, donde el consumo intensivo de energía no se vincula necesariamente a altos niveles de desarrollo humano. La segunda tendencia incluye al resto de los países estudiados. Allí se encontraron tres zonas diferenciadas: la primera, donde están los países con un IDH inferior y un bajo consumo de energía; la segunda zona, donde se encuentran países con IDH y consumo de energía intermedios; y una tercera zona, donde se ubican los países desarrollados y con grandes niveles de consumo de energía. Estos países se caracterizan por haber llegado a un punto de *saturación*, en el que un aumento del consumo de energía no implica aumento en el bienestar de la población. Esta constatación es de vital importancia, ya que implica que el objetivo de lograr equidad social puede ser conseguido sin grandes costos ambientales derivados del consumo energético.

Gráfico 2. IDH y consumo de energía por persona en países seleccionados, 2014



Fuente: Elaboración propia basada en datos del Banco Mundial (BM), <https://datos.bancomundial.org/?topics=4>

Más allá de la ya constatada relación entre IDH y energía, en los últimos años puede observarse un interés creciente en el estudio de los aspectos sociales y en los problemas distributivos de la energía. Estas investigaciones se nutren de un cuerpo teórico cada vez más rico, de donde han emergido conceptos como el de *pobreza energética*, *pobreza combustible* o *justicia energética*. Estos conceptos están estrechamente relacionados y son complejos en su definición y medición. Además, se suma a las dificultades para el análisis el hecho de que pobreza energética y pobreza combustible se pueden encontrar en la bibliografía como términos intercambiables, por lo cual se hace necesario profundizar en estas definiciones y hacer explícitas sus diferencias.

El concepto de *pobreza combustible* (*fuel poverty*) surge a partir de 1970 en Inglaterra e Irlanda como consecuencia de la crisis del petróleo, la eliminación de los subsidios del Gobierno y la consecuente alza del precio del combustible. Esto tuvo como consecuencia un mayor nivel de privación con relación a las necesidades energéticas de los hogares. Así, se convirtió en un tema de análisis en el ámbito académico y un problema para la política pública. En este contexto se definió por primera vez el término *pobreza combustible*, por Bradshaw y Hutton (1983). En este trabajo se conceptualiza la pobreza combustible como la incapacidad de costear una adecuada calefacción de la vivienda. Allí, se reconoce la creciente importancia de la pobreza combustible en Gran Bretaña y se señala como un problema importante el desencuentro entre la política energética y la política social. Posteriormente, Boardman describe a los hogares con pobreza combustible como aquellos que gastan más del diez por ciento de sus ingresos en costear el total de los servicios energéticos. Para Boardman, la pobreza combustible se basa principalmente en los bajos ingresos de los hogares y en el uso de equipos ineficientes (Boardman, 2010, en García-Ochoa y Graizbord, 2016).

Siguiendo a Thomson (2013) se pueden distinguir tres diferentes enfoques sobre la pobreza combustible, que determinan cómo se la define y los indicadores para medirla: a) enfoque térmico; b) enfoque del gasto; y c) enfoque consensual.

El primer enfoque se basa en la definición de una temperatura adecuada en la que deben vivir las personas en sus viviendas. Por lo tanto, aquellos hogares que no pueden costear la energía necesaria para calefaccionar sus viviendas a este nivel, son considerados pobres combustibles. Este enfoque tiene como principales limitaciones la falta de disponibilidad de datos sobre la temperatura de las viviendas y las dificultades para definir cuál es la temperatura adecuada. Según la definición de Boardman, es de 21°C en el living y 18°C en el resto de la vivienda. Estas medidas son ampliamente utilizadas y tienen origen en las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS). En otros casos, se agregan diferencias según algunas características de los hogares; por ejemplo, se asume la necesidad de una mayor temperatura en hogares con personas en situación de discapacidad, adultos mayores o con problemas de salud y niños (Boardman, 2010, en Thomson, 2013).

En el segundo enfoque, la pobreza combustible se define considerando el porcentaje del ingreso total que implica el gasto en energía. Un hogar es considerado pobre combustible si gasta más de determinado porcentaje de su ingreso en satisfacer sus necesidades energéticas. Se trata del enfoque más extendido en la actualidad, sobre todo en el mundo desarrollado, donde la línea del diez por ciento introducida por Boardman es ampliamente utilizada. Sin embargo, diversas problemáticas vinculadas a la medición han sido objeto de debate académico, como la pertinencia del uso de umbrales absolutos o relativos y el uso del gasto efectivo o el gasto requerido para satisfacer las necesidades de un hogar (Thomson, 2013).

Por último, el enfoque consensual de la pobreza combustible, de más reciente incorporación, es una adaptación de los enfoques relativos de los estudios sobre pobreza. Bajo este enfoque, la pobreza combustible depende de si se satisfacen o no las necesidades consideradas básicas para una sociedad. De esta forma se han elaborado índices que ponderan indicadores tanto subjetivos como objetivos (Thomson, 2013; García-Ochoa, 2014).

El segundo concepto relevante es el de pobreza energética. Una de sus principales definiciones ha sido ofrecida por la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) que establece que se trata de la falta de acceso a las fuentes modernas de energía (como la electricidad, gas natural, etc.) y la dependencia de fuentes tradicionales para la cocción de alimentos (IEA, 2010, en Sovacool, 2012). Por su parte, el PNUD la ha definido como la falta de acceso a fuentes modernas de energía para la cocción de alimentos y de un mínimo de electricidad para la iluminación (Gaye, 2007, en Sovacool, 2012).

En síntesis, las concepciones tradicionales sobre pobreza combustible y pobreza energética tienen por detrás la distinción entre países desarrollados y países subdesarrollados. La pobreza combustible se adapta a la realidad de aquellos hogares de países con altos niveles de acceso a las energías modernas, donde el problema principal son los hogares que no cuentan con ingresos suficientes para costear los servicios energéticos básicos. Por el contrario, la pobreza energética es un concepto que se aplica mejor a los países donde el principal problema es el acceso a las fuentes modernas de energía (Li, Lloyd, Liang y Wei, 2014).

En este sentido, estas definiciones parecen no alcanzar para abarcar la complejidad del problema en América Latina. Para problematizar la pobreza energética o combustible se deben abandonar las posturas más restrictivas y pensar no solo en el acceso y la asequibilidad, sino también en la calidad y seguridad de las conexiones, la eficiencia de los equipos y la calidad de las viviendas. Así,

Los datos más recientes de estudios publicados reflejan la importancia del equipamiento para iguales niveles de acceso y diferentes niveles de ingreso que explicarían las diferencias de consumo por nivel de ingreso en función de la dimensión de acceso a equipos. La evidencia de la diferencia entre *pobreza de acceso* y *pobreza energética* remarca la importancia de acceso a los artefactos y equipos. La diferenciación entre acceso a la energía y cobertura de necesidades energéticas por parte de los pobres, constituye una dimensión adicional con relación a los múltiples nexos entre energía y pobreza. (Kozulj et al., 2013, p. 15)

Además, a la situación de pobreza energética se le suma, sobre todo en zonas urbanas de América Latina, la precariedad derivada de la ocupación ilegal de tierras y las conexiones clandestinas a los servicios eléctricos. En estas familias se puede dar la paradoja de encontrar altos consumos de electricidad debido al uso de equipamiento de segunda mano o de menor costo y bajo grado de eficiencia (Kozulj et al., 2013).

Por ello, más recientemente han surgido nuevos enfoques y conceptos que pretenden abordar el problema del acceso a la energía desde una óptica más amplia. El concepto de *vulnerabilidad energética* tiene la ventaja de ser un término menos restrictivo, ya que pretende tener un alcance global. El término hace énfasis en las características de los hogares que aumentan el riesgo de padecer pobreza energética y, por lo tanto, integra en el análisis otras dimensiones como las necesidades energéticas del hogar, la flexibilidad de los sistemas energéticos, la eficiencia energética de la vivienda y de los artefactos, entre otros aspectos (Bouzarovski y Petrova, 2015).

Por su parte, en el enfoque de la *justicia energética* se analiza la distribución de los beneficios y perjuicios de la producción y del consumo de energía entre distintos grupos. Se basa en algunos conceptos aportados por la teoría de la justicia social como el de *justicia distributiva*, *justicia procedimental* (Sovacool y Dworkin, 2015) y el de *justicia como reconocimiento* (Heffron, McCauley y Sovacool, 2015). Desde el punto de vista de la justicia distributiva, se hace énfasis en la distribución de los beneficios del uso de la energía pero también en los efectos negativos de la producción y consumo de energía. Desde el punto de vista de la *justicia procedural*, se toman en cuenta los mecanismos de acción de la política energética y sus efectos, que pueden ser de carácter inclusivo o excluyente. Por último, la justicia como reconocimiento hace énfasis en el hecho de que la falta de identificación de diferentes necesidades o vulnerabilidades de determinados grupos puede derivar en una distribución, aunque equitativa desde el punto de vista de la distribución de los recursos, injusta.

En el proceso de expansión de la matriz energética en el Uruguay se encuentran presentes los desafíos acerca de la energía en los tres niveles señalados: económico, ambiental y social. La política energética, sobre la cual se apoyó el proceso de expansión, incorpora claramente aspectos relacionados con la sostenibilidad de la energía, como reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, mejora del acceso a la energía sobre todo en poblaciones vulnerables, disminución de la vulnerabilidad que suponen las fluctuaciones climáticas y mejora de la soberanía por incorporación de fuentes de energía renovables y autóctonas (DNE-MIEM, s/f).

La incorporación de la energía eólica en Uruguay ha sido estudiada por algunos autores que consideran temas relacionados con el desarrollo y la incorporación de conocimiento y tecnología, los impactos ambientales y la participación social. En el proceso de desarrollo e incorporación de la energía eólica se dan interacciones entre actores de la academia y el Estado que resultan en la gene-

ración de información necesaria sobre las tecnologías y el potencial eólico existente, que además se ve potenciada con la incorporación de actores de la academia en puestos de decisión (Ardanche et al. 2017a). A lo largo del proceso de desarrollo de la energía eólica surgen además desafíos relacionados con posibles impactos ambientales que la nueva tecnología puede traer y en consecuencia se identifica la necesidad de generar instrumentos adecuados para abordarlos. En el marco del Programa de Energía Eólica en Uruguay, llevado adelante entre 2007 y 2013, se planteó la necesidad de trabajar con herramientas de evaluación de impacto y otras más estratégicas desde el punto de vista ambiental y de ordenamiento territorial (Bernardi et al., 2020). La evaluación de impacto ambiental fue realizada por la Dirección Nacional de Medio Ambiente en los lugares de instalación de los parques eólicos. Esta herramienta analiza en forma puntual el impacto ambiental potencial del lugar específico de instalación del parque. Mientras que se llevó adelante una evaluación ambiental estratégica de la política energética que, de acuerdo con Bernardi et al. (2020), luego debía derivar en un desarrollo normativo específico pero que quedó trunco. La evaluación ambiental estratégica analiza las interacciones del emprendimiento con el ambiente en forma global, teniendo en cuenta los otros emprendimientos localizados en un territorio determinado y la acumulación de impactos. Por ejemplo, en el caso de los parques eólicos, algunos de estos fueron localizados en zonas de alto valor paisajístico con potencialidades turísticas importantes. También, de acuerdo con los mismos autores, hubo iniciativas de desarrollo de instrumentos de zonificación u ordenamiento territorial a nivel del segundo nivel de gobierno que tampoco resultaron aplicados. Los posibles impactos ambientales de la energía son de la mayor importancia ya que, como se mencionó anteriormente, es uno de los aspectos que debe ser considerado a la hora de definir cuán renovable puede considerarse una fuente energética.

También se han señalado carencias en lo que refiere a la participación de actores sociales en el proceso de desarrollo de la energía eólica en Uruguay. Los actores que más fuertemente se vincularon con el proceso fueron la academia y el Estado, mientras que la baja participación de actores de la sociedad civil ha sido señalada como una debilidad del proceso (Ardanche et al., 2017a). La participación de actores de la sociedad civil hubiera sido diferente si, por ejemplo, se hubieran desarrollado las herramientas de evaluación estratégica ambiental y de ordenamiento territorial, ya que implican necesariamente la opinión de estos actores. Para Bernardi et al. (2020), la incorporación de aspectos territoriales y de impactos ambientales locales en el desarrollo de la energía eólica no fue un aspecto central, pues no significaba un impedimento. Además, se consideró que la herramienta de evaluación de impacto ambiental era suficiente para dar respuesta a estos aspectos.

La energía eólica fue considerada una alternativa positiva en comparación con los combustibles fósiles en términos de disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, baja de la vulnerabilidad climática con respecto a la energía hidroeléctrica y disminución de la dependencia de importaciones de petróleo. Sin embargo, su producción y utilización trae aparejada una serie de conflictos desde el punto de vista ambiental y social que deben ser abordados tarde o temprano.

Si bien la energía eólica fue por la que el país apostó en primer lugar, también se desarrollaron en paralelo otro tipo de energías como la solar y la biomasa. Estos desarrollos tuvieron trayectorias distintas, ya que, por ejemplo, en la primera se combinan energía solar de gran escala y de escala residencial, mientras que en el caso de la energía eólica estuvo centrada en energía de gran porte.

### 3. TRANSICIONES ENERGÉTICAS

El concepto de *transición energética* ha cobrado relevancia y puede resultar útil para los estudios que vinculan la energía con el desarrollo.

Los estudios históricos que han abordado las transiciones energéticas surgieron en Europa y tienen, en su gran mayoría, como telón de fondo a la revolución industrial. Los historiadores que han estudiado las transiciones energéticas analizan la transformación de las sociedades tradicionales que utilizaban fuentes de energías autóctonas para la generación y distribución de energía. Según Wrigley (2004), lo que caracterizó a las sociedades tradicionales o preindustriales fue la *economía orgánica*, en que la tierra «era fuente no solo de alimentos para la población, sino también de materias primas» (p. 47). Por lo tanto, en la economía orgánica existía una dependencia de las materias primas de origen animal o vegetal, en última instancia, de la fotosíntesis. Sin embargo, la dependencia de la tierra presentaba dificultades: hay límites a la cantidad de materias primas que pueden ponerse a disposición. La superación de esta etapa se produjo a partir de 1870 en Inglaterra cuando, a través de los sectores intensivos en energía y de economías basadas en minerales, se logró afrontar las dificultades de producción limitada por la naturaleza. Para el autor, «el abandono de una economía exclusivamente orgánica fue una condición *sine qua non* para alcanzar una capacidad de crecimiento exponencial» (Wrigley, 2004, p. 66). A partir de la revolución industrial se produce entonces, el pasaje a las economías inorgánicas:

Si la Revolución Agrícola fue el proceso en virtud del cual el hombre llegó a controlar e incrementar la gama de convertidores biológicos (plantas y animales), podemos considerar que la Revolución Industrial es el proceso que permitió la explotación a gran escala de nuevas fuentes de energía por medio de convertidores inanimados. (Cipolla, 1978, p. 57)

Lo central, en este sentido, no era el carbón en sí mismo (no constituía una fuente desconocida), sino su utilización a gran escala, que fue posible por la introducción de la máquina de vapor. Al decir de Cipolla (1978), «todo comenzó con el vapor». En este sentido, la revolución industrial, además de ser el pasaje de sociedades orgánicas (o agrarias) a sociedades inorgánicas (o industriales), fue una revolución tecnológica. Este fenómeno no se produjo de forma abrupta ni de un día para otro, sino que fue un proceso gradual. Para Mokyr (2008), la revolución industrial no puede entenderse sin la revolución científica del siglo XVII y el movimiento ilustrado del siglo XVIII. Lo que aconteció en la revolución industrial fue que el saber comenzó a interactuar con otras formas de hacer: lo que la gente sabía afectó lo que la gente hacía. Por tanto, se integró el conocimiento en la producción y en la vida cotidiana. Esto sucedió en algunas partes del mundo y no en otras. La revolución industrial muestra un punto de viraje en la historia y en la división del mundo. Tal como señala Paul Bairoch (1982), la industrialización de lo que hoy se conoce como el mundo desarrollado llevó a la desindustrialización del mundo subdesarrollado. En este sentido, la tecnología energética fue un factor clave para la producción en ciertos países y profundizó la divergencia entre centro y periferia: «Unida a otras invenciones, la tecnología energética abrió una brecha entre Europa y el resto del mundo, un desequilibrio temporal que permitió a los europeos consolidar su dominio político y militar sobre el mundo» (Mokyr, 1990, p. 122).

Dicho esto, parecería que el concepto de *transición energética* puede resultar útil para la interpretación histórica. Gran parte de la producción de conocimiento sobre las transiciones energéticas

se desarrolló en Europa y, para abordarlo, se han utilizado estudios de caso ocurridos en esa región del mundo, donde existen claros procesos de cambio de la matriz energética. En este sentido, Smil (2011) se refiere a la transición energética como el proceso de cambio de una fuente de energía dominante (o una combinación de fuentes) a una nueva estructura de oferta energética, caracterizada por nuevas fuentes o nuevos convertidores de energía predominantes. Esta definición se basa en la noción de que una sola fuente de energía dominó el mercado durante un período o una era en particular, para ser desafiada y luego reemplazada por otra u otras fuentes de energía (Sovacool, 2016). Fouquet (2010) analiza las transiciones energéticas en distintos niveles, las que denomina *transición energética mayor*, *transición energética intermedia* y *transición energética menor*. La *transición energética mayor* es definida como una transformación radical en la economía y en la creación de nuevos tipos de civilización. En este sentido, la revolución industrial fue una transición energética mayor que implicó un proceso largo<sup>1</sup>, complejo e involucró a un gran volumen de servicios y sectores (Fouquet, 2010). La *transición energética intermedia* es definida como el cambio de una estructura energética a otra (por ejemplo, el pasaje del carbón al petróleo); generalmente, las transiciones intermedias conducen a importantes transformaciones en la economía. Y las *menores* sugieren cambios en el nivel o la calidad de los energéticos consumidos, que no alteran el perfil técnico de la producción o los rasgos más generales del proceso económico (por ejemplo, la elaboración de gasolina sin plomo o con bajo contenido de azufre para bajar los niveles contaminantes). Por otra parte, las teorías de las transiciones sociotécnicas (Geels y Schot, 2007) han cobrado relevancia para el estudio de las transiciones energéticas. Estos autores observan cómo el desarrollo o la introducción de nuevas tecnologías conduce a nuevas configuraciones sociotécnicas: constituye un proceso en el que nuevas tecnologías, productos, organizaciones, regulaciones, prácticas, entre otros elementos, pueden emerger o declinar. Para estos autores, el cambio verdaderamente transformador es resultado de alteraciones en todos los niveles del sistema en forma simultánea; denominan a dichos niveles: *nicho*, *régimen* y *paisaje*.

Asimismo, existen otras disciplinas que han abordado el estudio de las transiciones energéticas y que han puesto el foco en diversas perspectivas. Sovacool (2016) subraya las siguientes: la teoría de la modernización ecológica estudiada por las ciencias ambientales, la sociología ambiental y la ciencia política ambiental, que tienen como principal preocupación la regulación ambiental y su gobernanza; la teoría de la sociología y la práctica social, que apunta a estudiar las prácticas cotidianas y las rutinas producto de cada una de las transiciones energéticas; y la ecología política, que aborda las transiciones energéticas a través de los conflictos sobre los recursos naturales.

Las líneas precedentes intentaron relevar algunas de las muchas perspectivas desde diferentes disciplinas y subdisciplinas que han orientado el estudio de las transiciones energéticas. Si bien presentan sus diferencias, relacionadas con sus principales preocupaciones, todas ellas poseen una característica en común: sus análisis fueron basados en países centrales que, entre otras cosas, vivieron la revolución industrial. El estudio de las transiciones energéticas en países periféricos es bastante más reciente. En América Latina, el pasaje de economías basadas en energía orgánica a economías basadas en minerales se llevó a cabo a través de la difusión de tecnologías energéticas desarrolladas en los países centrales. Este proceso tuvo como resultado que la transición energética

---

1 Para el autor, la revolución industrial como proceso de transición energética mayor llevó alrededor de 200 años (Fouquet, 2010, p. 5).

se haya producido de forma acelerada, sin causar cambios significativos en la estructura productiva latinoamericana como sí ocurrió en los países centrales. La transición energética de fines del siglo XIX y principios del siglo XX, encontró a América Latina bajo el modelo primario-exportador, de crecimiento hacia afuera, y el arribo de las energías modernas a la región estuvo asociada a la profundización de este modelo (Bertoni, 2011; Folchi y Rubio, 2006 y 2008; Travieso, 2015). Concretamente, en Uruguay la transición energética se produjo en el período 1902-1912, durante la primera globalización, y fue inducida desde los países centrales a través de la demanda internacional para su producción primaria. Esta etapa estuvo caracterizada por la demanda de carbón por parte del complejo primario-exportador. La transición energética uruguaya significó la sustitución de energías autóctonas (leña y energía muscular animal) por energéticos importados; se hizo importando carbón —principalmente de Gales, Reino Unido— hecho que convirtió a Uruguay en un país energéticamente dependiente. El carbón estuvo destinado en su mayoría a los ferrocarriles que transportaban, en gran medida, ganado, lana y cuero. El ferrocarril fue la principal consecuencia de la transformación energética de la cadena de valor que comenzaba en la ganadería de lanas y carnes y culminaba en la exportación hacia los países centrales, y constituyó el primer núcleo clave de demanda del energético líder de la época (Bertoni y Román, 2013; Travieso, 2015). La era del carbón en Uruguay fue efímera y la transición hacia el petróleo (*transición energética intermedia*, en términos de Fouquet) se procesó rápidamente y de forma temprana (Folchi y Rubio, 2008). Esta etapa coincidió con novedades en lo que refería a la tecnología energética: la electricidad y los derivados del petróleo se convirtieron en el nuevo escenario en los países avanzados. Aunque el recurso natural más abundante que posee Uruguay es el agua, la hidroelectricidad llegaría tarde; fue recién a partir de 1950 que puede decirse que el país contó con energía eléctrica mixta: térmica e hidroeléctrica. En este sentido, Uruguay como otros países latinoamericanos fueron dependientes energéticamente.

Tuvo que pasar más de medio siglo para que en Uruguay se iniciara un nuevo proceso de diversificación y cambio de la matriz energética. En el año 2005 comenzaron las acciones para la incorporación de energía eólica, biomasa y solar a la matriz eléctrica. Esto llevó a que el país pudiera alcanzar una independencia importante en lo que refiere a la importación de combustibles fósiles y a la variación del clima, que incide en la producción de hidroelectricidad. La diversificación de la matriz energética se dio en pocos años. A modo ilustrativo, el desarrollo de la energía eólica pasó de representar el 1% de la matriz de generación en 2013 a 15,5% en 2015 (Ardanche et al., 2017b). En 2019, la energía eólica alcanzó el 30% de la matriz, a la que se suman la biomasa con 15% y la energía solar, de desarrollo más reciente, con 3% (DNE-MIEM, 2020).

Si las aproximaciones conceptuales a las transiciones energéticas tuvieron como telón de fondo los países centrales que vivieron la revolución industrial, los países periféricos como los de América Latina —caracterizados por una alta desigualdad fruto de la inserción en un orden económico mundial que ubicó un centro industrial hegemónico, que establece transacciones desiguales con una periferia agrícola y subordinada— deberían, al menos, revisar tal conceptualización. Ya en 1956, la CEPAL sostenía que «la escasez de energía es, sin duda, uno de los obstáculos que más seriamente limita el proceso económico y un bajo nivel de consumo es expresión clara de subdesarrollo» (CEPAL, 1956, p. 3).

Los estudios que relacionan las transiciones energéticas con la desigualdad pueden ayudar a la comprensión de los procesos que vivieron países periféricos.

#### 4. TRANSICIONES ENERGÉTICAS Y DESIGUALDAD SOCIAL

Algunos autores han señalado el vínculo entre las transiciones energéticas y la pobreza energética. Esta, definida como la falta de acceso a energías modernas, podría ser aliviada tras una transición hacia energías limpias y modernas. Sin embargo, esta relación no es lineal: según muestra la literatura sobre el tema, las transiciones energéticas pueden tener un efecto positivo o negativo en la pobreza energética y en la inequidad energética.

Los nexos entre las transiciones energéticas y la pobreza energética han sido anteriormente discutidos, aunque a veces de forma implícita. Una de las principales teorías detrás de la idea de las transiciones energéticas es la de *escalera energética*. Diferentes fuentes de energía varían en su rendimiento energético, o sea, en su capacidad de brindar un servicio energético por unidad de energía empleada. Los países o los hogares pobres no solo utilizan menor cantidad de energía per cápita, sino que también la obtienen de fuentes de menor calidad, frecuentemente asociadas a las energías tradicionales, como la leña o la biomasa (Najam y Cleveland, 2003). La hipótesis de la *escalera energética* refiere a la correlación entre los ingresos y la elección de fuentes de energía modernas, que son consideradas superiores por ser más eficientes y limpias, en comparación con las fuentes llamadas tradicionales. Según esta hipótesis, a medida que aumenta el ingreso se sustituyen los combustibles tradicionales por los modernos, en tres etapas: en la primera se utilizan combustibles como la leña o desechos de la agricultura; en la segunda se utiliza el carbón o el querosene; y en la tercera etapa se utiliza la electricidad, el gas licuado de petróleo (GLP) y los biocombustibles (Pauño, 2018). La hipótesis de la escalera energética se basa en la idea de elección racional de la teoría microeconómica: se supone que todos los combustibles están disponibles, que las preferencias sobre las fuentes de energía son universales y que, por tanto, los hogares subirán la escalera a medida que aumenten sus ingresos (Kowsari y Zerriffi, 2011).

Posteriormente se ha criticado esta postura señalando que la transición de fuentes tradicionales a modernas no ocurre de manera unidireccional: los hogares suelen utilizar una combinación de energéticos, tanto tradicionales como modernos, según sus preferencias, costumbres y necesidades, y, por tanto, muchas fuentes de energía son utilizadas con fines específicos en hogares de ingresos medios y altos, sin que esto implique una pérdida en la calidad de vida. De esta forma, subir la *escalera energética* no implica abandonar el uso de ningún combustible, sino sumarlos según sus preferencias. Las transiciones energéticas implican entonces un cambio en el uso de las fuentes de energía y, más que nada, de la proporción de determinada fuente de energía en el total de energía utilizada (Nguyen, Nguyen, Hoang, Wilson y Managi, 2019).

En la literatura que analiza de forma más explícita el vínculo entre pobreza energética y transiciones energéticas se encuentran tres grandes grupos: a) la incorporación de una fuente de energía, pensada como una tecnología que se difunde desigualmente desde el punto de vista social y territorial, o sea, la desigual distribución de los *beneficios* de las transiciones energéticas; b) incluso cuando una fuente de energía está ampliamente distribuida en la sociedad pueden existir diferentes *costos*, ya sea económicos, ambientales, etc., de las transiciones energéticas que pagan determina-

dos grupos sociales; c) las transiciones energéticas son vistas como herramientas para la lucha contra la pobreza energética.

En relación con el primer punto, se puede señalar como ejemplo lo ocurrido a nivel nacional con el proceso de electrificación y los beneficios al bienestar de la población. La generalización de la electricidad en los hogares marcó una serie de cambios en el esfuerzo y la cantidad de tiempo dedicados al trabajo doméstico. En Uruguay el proceso de electrificación fue particularmente intenso durante las primeras cuatro décadas del siglo XX. A partir de la década de 1940 la cantidad de suscriptores creció más lentamente pero comenzó la incorporación de los electrodomésticos como bienes de consumo fundamentales de los hogares (Bertoni, Camou, Maubrigades y Román, 2007). Literatura sobre el tema señala que la tecnificación del hogar ha tenido impactos positivos, especialmente para las mujeres, ya que facilitó el trabajo doméstico con la reducción de horas dedicadas a este, lo que permitió su paulatina incorporación al mercado laboral (Cardia, 2008). Sin embargo, no todos los hogares accedieron por igual a estos beneficios. El desfase en los momentos de acceso a la electricidad y a los distintos electrodomésticos, tanto territorial como según nivel socioeconómico, profundizó las diferencias en las condiciones de vida entre sectores sociales (Pérez, 2012). Se concluye entonces que el proceso de electrificación de los hogares en Uruguay fue desigual y marcó profundas inequidades y, por tanto, constituye un ejemplo de cómo las transiciones energéticas pueden marcar desigualdades en la distribución de los recursos energéticos.

En relación con el segundo punto, encontramos el ejemplo de Alemania en donde la introducción de nuevas tecnologías como la generación eléctrica eólica y fotovoltaica, localizadas de forma descentralizada, requirió la inversión en redes de transmisión eléctrica. Estos costos se reflejan en las facturas de energía eléctrica, ya que son uno de los componentes del total a pagar. Estos cargos son más bajos para los usuarios industriales y para los hogares que tienen paneles fotovoltaicos en sus azoteas y aportan a la red. Por tanto, se produjeron desigualdades derivadas del costo de la tarifa ya que, por ejemplo, los hogares situados en zonas con baja densidad poblacional pagan un costo mayor por la red eléctrica (Schlesewsky y Winter, 2018).

En relación con el tercer punto, encontramos literatura en donde se hace énfasis en las nuevas tecnologías energéticas, más específicamente en las energías renovables, como herramientas para lograr la satisfacción de las necesidades energéticas de las poblaciones vulnerables de manera eficiente y limpia. En Brasil se estudió la relación entre la electrificación rural a partir de fuentes renovables y la pobreza energética. Se demostró que este proceso incidió favorablemente en los niveles de pobreza energética e inequidad energéticas. A pesar de esto, se señala también que el aumento del consumo de energía en los hogares a partir de este proceso de electrificación no llega a los umbrales señalados por la literatura para conseguir niveles de bienestar deseables (Giannini Pereira, Vasconcelos Freitas y da Silva, 2011; Pereira, Freitas y da Silva, 2010).

## 5. ¿QUÉ PUEDE APORTAR LA CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN A LA CONCEPTUALIZACIÓN DE LAS TRANSICIONES ENERGÉTICAS?

Una vez presentadas las principales perspectivas sobre las transiciones energéticas y los desafíos actuales enfrentados por los países que atraviesan este tipo de transformación, se analizarán algunos de los aportes que la mirada desde el campo de la CTI podría realizar. Este apartado no

pretende ser exhaustivo pero se enfoca en algunas dimensiones que el campo de la CTI puede aportar al estudio de las transiciones energéticas.

### 5.1. *La relación entre ciencia y tecnología*

La llamada primera transición energética en América Latina fue, como se decía en páginas anteriores, producto de la adopción de tecnología realizada y pensada en los países centrales, lo que provocó que la transición energética latinoamericana se haya producido de forma acelerada sin causar cambios significativos en su estructura productiva, como sí ocurrió en los países centrales. La tecnología que posibilitó que el carbón fuera utilizado a gran escala en la producción y en la vida cotidiana de las personas fue la máquina de vapor.

Siguiendo esta línea de razonamiento, un posible aporte que el campo de la CTI podría hacer a este proceso es, sin dudas, estudiar en profundidad el papel que tuvo la tecnología en las diferentes regiones. La tecnología es definida, usualmente, como el conocimiento aplicado a la resolución de problemas. Los problemas responden a una coyuntura histórica y a un contexto particular. La máquina de vapor, en este sentido, respondió a problemas y necesidades propias de una Europa que vivía en un contexto histórico muy distinto al que vivía América Latina. La máquina de vapor como nueva tecnología posibilitó resolver una cierta gama de problemas de los sectores productivos en países centrales, y atender sus necesidades y demandas internas. Para Rosenberg (2006), la capacidad de una sociedad o un sistema económico de generar nuevos productos o adaptar productos a sus necesidades es, tal vez, una de las mayores contribuciones del progreso técnico al bienestar de la humanidad. Y, aunque la máquina de vapor se basó más en conocimientos empíricos que en teorías científicas, marcó una acumulación en el saber científico que posibilitó que grandes cambios técnicos ocurrieran, sobre todo, en los países centrales. Tal como señala Rosenberg (2006), las tecnologías del siglo XX tienen una creciente dependencia de la ciencia. Si bien no existe una determinación de la ciencia sobre la tecnología, las relaciones entre ellas son interactivas. En palabras de Mokyr (2008, 2008, p. 13), «la historia de la tecnología trata del desarrollo de la relación entre el conocimiento y la explotación de las regularidades naturales y de los recursos». Y estas surgen, además, como se dijo, para resolver problemas. La difusión de las tecnologías energéticas en la primera década del siglo XX en países que vivían bajo el modelo agroexportador, como Uruguay, respondió a las demandas de los países centrales para la producción primaria y los convirtió en países dependientes energéticamente, ya que para la generación de energía térmica se importó primero carbón y más tarde petróleo. Así pues, las transiciones energéticas beneficiaron de forma desigual a la población mundial.

El papel de la tecnología energética en la agenda de investigación científica de cada país constituye un tema relevante y el campo de la CTI puede contribuir a su comprensión. La agenda de investigación, las prioridades que cada país tiene sobre qué investigar y qué problemas resolver, constituyen preguntas a las que el campo de la CTI podría aportar en el estudio de las transiciones energéticas. Las preguntas que podría hacerse son las siguientes: ¿Existen en las agendas políticas demandas tendientes a la construcción de conocimiento, desarrollo tecnológico e innovación orientadas a la desigualdad social? ¿Las agendas latinoamericanas han incorporado las desigualdades en materia de energía y sus vinculaciones con la desigualdad socioeconómica y territorial? ¿Qué papel

tiene la energía en la construcción de la agenda cognitiva? ¿La perspectiva socioambiental está incluida en la agenda que guía la producción de conocimiento?

El avance de la tecnología hoy ejerce sobre las agendas de investigación una influencia mucho más importante que en el pasado, lo que se ha denominado como «la tecnologización de los sistemas de investigación» (Sutz, 2005, p. 108). Parte de esta influencia tiene que ver con el redireccionamiento de la agenda a partir de una relación entre academia y sector productivo mucho más estrecha y con la contratación directa de investigadores en la industria de alta tecnología basada en resultados de investigación. Pero, una vez más, esto sucede en los países ya industrializados, mientras que en los países subdesarrollados los cambios no son tan significativos, en parte, debido a que la demanda desde la industria a la investigación local es débil. En este contexto, el fomento de la investigación se centra principalmente en las agencias de financiamiento y parte del sector público, por lo tanto, las influencias sobre las agendas de investigación se componen de otros problemas. Las transiciones energéticas pueden ser generadoras de demandas hacia la investigación, ya que implican innovación y desarrollo tecnológico de importancia.

## 5.2. *Los estudios sobre la innovación*

Los estudios de la CTI pueden contribuir a la comprensión de los procesos de transición energética a través de los conceptos desarrollados por los neoschumpeterianos y evolucionistas, tales como *paradigma tecnológico* y *trayectoria tecnológica*. El *paradigma tecnológico* (PT) define un cierto potencial de desarrollo tecnológico a partir del cual existen varias posibilidades de investigación, de desarrollos y de realizaciones. Un PT determinado trae aparejado un modo específico sobre cómo hacer las cosas y mejorarlas; implica una definición de los problemas relevantes y de los patrones de investigación, de las necesidades a satisfacer y de los principios científicos y la tecnología material a utilizar (Cimoli y Dosi, 1994).

La emergencia de un paradigma implica un salto y, por lo tanto, una discontinuidad en la evolución tecnológica. Cada nuevo paradigma define un nuevo horizonte de posibilidades que abre un abanico de nuevas *trayectorias tecnológicas* posibles. Los PT definen las oportunidades para la realización de innovaciones y ofrecen un espacio de esfuerzos y creatividad para los científicos. Las *trayectorias tecnológicas* son, de alguna manera, el resultado de historias particulares de tecnologías, empresas e instituciones. Dichas categorías analíticas pueden resultar útiles para el estudio de las diferencias que existen en las transiciones energéticas de las diferentes regiones o países debido al hecho de que existen diferentes patrones de desarrollo relacionados con el aprendizaje, el conocimiento y las capacidades que configuran las diversas trayectorias tecnológicas. Cada trayectoria es singular, es local y es dependiente de su propio contexto. Asimismo, estudiar la trayectoria tecnológica implica comprender los procesos de acumulación de conocimientos, de capacidades y de recursos, considerando que las decisiones pasadas repercutirán en los resultados futuros (*path dependence*). Lo que se pueda hacer desde el punto de vista tecnológico está condicionado por lo que ya se hizo en el pasado, siguiendo una trayectoria propia. Una de las razones que explican el ingreso lento y tardío de la hidroelectricidad en la matriz energética uruguaya (a partir de 1945), tiene que ver con la dependencia en la trayectoria energética marcada por la termoelectricidad. Desde 1887, año en que se inauguró la primera central térmica en Montevideo, hasta 1945, año en que se puso en funcionamiento la primera turbina de la represa hidroeléctrica en Rincón del Bonete, toda la

generación de energía eléctrica se realizó a través de la termoelectricidad. Este hecho no puede pasar desapercibido, ya que marca una trayectoria tecnológica determinada en materia energética. Las instituciones, organizaciones y las tecnologías que existieron formaron parte de la trayectoria tecnológica que estuvo marcada, en este caso, por la termoelectricidad. La termoelectricidad como trayectoria tecnológica no se reduce a la forma de generar energía, sino que además incluye un conjunto de características: las decisiones de la empresa de servicio eléctrico, el conocimiento, la ingeniería disponible, así como los equipamientos (Waiter, 2019).

Para Pérez (2002), las nociones de trayectoria o paradigma resaltan la importancia de las innovaciones incrementales en la ruta de crecimiento seguida por cada innovación radical. Esta línea de pensamiento define la innovación siguiendo a Schumpeter (1911), quien la define como «la introducción de un nuevo producto, la introducción de un nuevo método de producción, la apertura de un nuevo mercado, la apertura de una nueva fuente de materia prima, la puesta en práctica de una nueva organización» (Labini, 1987, p. 25). A modo de ejemplo, es posible estudiar cómo a través de la introducción de una fuente de energía barata, como fue el petróleo a partir de la primera década del siglo XX, se dio lugar a un conjunto de innovaciones tales como la producción de automóviles y se posibilitó un amplio acceso a la electricidad, a través de redes eléctricas.

Existen otros enfoques, como el de los sistemas nacionales de innovación (SNI), que entienden que la innovación es un proceso social e interactivo en un entorno social específico y sistémico constituido en la interacción entre actores, organizaciones e instituciones (Lundvall, 1994). Esta perspectiva es útil para identificar la red de relaciones que se producen en un determinado proceso de innovación: la influencia del sistema educativo nacional, las relaciones laborales, las instituciones técnicas y científicas, las políticas gubernamentales, las tradiciones culturales y muchas otras instituciones nacionales son de vital relevancia. Este enfoque pone especial atención en los actores, las instituciones y sus relaciones, y contribuye a una mejor comprensión tanto de la dinámica intrínseca de la innovación como de sus conexiones con los procesos de desarrollo:

[...] comprende todos los elementos que contribuyen al desarrollo, la introducción, la difusión y el uso de innovaciones. Incluye no solo universidades, institutos técnicos y laboratorios de investigación y desarrollo, sino también elementos y relaciones aparentemente lejanos de la ciencia y la tecnología. Por ejemplo, el nivel general de educación y destreza, la organización laboral y las relaciones industriales, los bancos y otras instituciones para financiarlas. (Johnson y Lundvall, 1994, p. 697)

El enfoque de los SNI, en este sentido, puede introducir categorías analíticas nuevas: las transiciones energéticas pueden ser estudiadas bajo el enfoque sistémico que considera a los actores que intervienen en el proceso, las instituciones y, sobre todo, sus relaciones. El *triángulo de Sábado* propuesto por Sábado y Botana (1968), constituye una herramienta analítica que, además de ser presentada con anterioridad al concepto de SNI, es compatible con su abordaje y resulta de gran utilidad para la identificación de los actores claves involucrados en el proceso que se quiere estudiar. El triángulo da cuenta de que la innovación es un proceso social que requiere de la acción múltiple y coordinada de tres elementos fundamentales en el desarrollo: el gobierno, la estructura productiva y la infraestructura científico-tecnológica.

El aporte de estos enfoques al estudio de las transiciones energéticas deriva de la importancia que poseen las relaciones entre diversos actores para que determinados procesos sucedan. En los

países subdesarrollados, las relaciones entre actores se caracterizan por ser débiles y poco virtuosas, a diferencia de lo que sucede en países los desarrollados. Esto implica que existen dificultades en los vínculos entre quienes demandan investigación y quienes investigan. El papel que juega el conocimiento es clave para los procesos de innovación. Los países periféricos se especializan en actividades que demandan comparativamente poco conocimiento, a diferencia de los países centrales, que se especializan en actividades demandantes en conocimiento que dan lugar a economías basadas en conocimiento y motorizadas por la innovación (Arocena y Sutz, 2003). La baja incorporación de conocimiento en los procesos productivos en diversos sectores y a lo largo del tiempo ha dado lugar a una debilidad estructural de la demanda de conocimiento endógeno en el subdesarrollo (Fajnzylber, 1992). Johnson y Lundvall (1994) afirman que, si el conocimiento es un factor clave en la sociedad y en la economía, el aprendizaje entonces es el proceso social más importante. El aprendizaje y el cambio económico son fenómenos enraizados socialmente, que no pueden entenderse fuera del contexto cultural e institucional en el que se desarrollan (Lundvall, 1992). Los procesos de aprendizaje están condicionados por el contexto histórico, social, productivo, político y cultural en los que están inmersos. Los países subdesarrollados, en general, no se caracterizan por innovar ni por incorporar investigación en forma sistemática a su producción o comercialización. Esto pauta una característica fundamental del contexto en el que se produce conocimiento: la no utilización sistemática de este por una parte de la producción. Este fenómeno deviene en la generación de pocas oportunidades de aprender. Cabe realizar entonces las siguientes preguntas: ¿En qué medida las transiciones energéticas pueden servir de estímulo a la generación de espacios interactivos de aprendizaje y de desarrollo de nuevo conocimiento? ¿Pueden ser una oportunidad para tener a todo el aparato científico-técnico resolviendo problemas en conjunto con el gobierno y el sector productivo? ¿Cómo se produce la interacción entre estos tipos de actores en países desarrollados y subdesarrollados? ¿Hay espacio para la participación de los usuarios de la energía, incluyendo a la sociedad civil?

En este sentido y ante esta situación, se han propuesto enfoques alternativos al concepto de innovación para atender con mejor precisión la realidad de los países subdesarrollados.

### 5.3. *Tecnología, innovación e inclusión social*

Las diferencias antes mencionadas en la incorporación de conocimiento a los procesos productivos entre países periféricos y centrales, obliga a poner en discusión la relación entre la tecnología, la innovación y la desigualdad social. Desde la década de 1960 han surgido numerosas propuestas conceptuales, entre las que se encuentran las ideas de tecnologías sociales y de innovación desde abajo (*grassroot innovation*). El término *tecnologías sociales* define a aquellas tecnologías, adecuadas desde el punto de vista sociotécnico, que se orientan a la resolución de la pobreza y la exclusión social (Thomas, 2011). El enfoque de innovación desde abajo hace énfasis en la capacidad de las poblaciones vulnerables de producir innovaciones y trata de rescatar sus conocimientos para generar soluciones tecnológicas que permitan el desarrollo inclusivo y sustentable de la comunidad (Gupta, 2012; Smith y Stirling, 2016).

Desde la perspectiva de la innovación para la inclusión social, la tecnología puede ser vista como una herramienta para combatir ciertas expresiones de la desigualdad social o ciertas esferas de la exclusión (Sutz, 2003), por ejemplo, aquellas relacionadas con el acceso a medicamentos para la población de bajos recursos y por qué no, en el caso de la energía, el acceso a fuentes de energía

limpias y suficientes para satisfacer las necesidades energéticas. El caso de Brasil ya presentado muestra que la electrificación rural a partir de fuentes renovables incidió favorablemente en la reducción de los niveles de pobreza energética e inequidad energética, aunque no llega a los niveles de bienestar deseables. Los estudios de CTI señalan que la relación no es para nada sencilla, ya que muchas veces la innovación genera desigualdad y, además, existen diversas dificultades para que se produzca el encuentro entre una innovación y el problema que pretende solucionar. Así, se hace énfasis en las dificultades en los países periféricos para orientar las agendas de investigación a la búsqueda de soluciones tecnológicas a los problemas sociales locales (Bianco, Gras y Sutz, 2016), o en las limitantes en el mercado para que las innovaciones dirigidas a la población más vulnerable logren llegar a la etapa de escalamiento y para hacer que esas innovaciones sean accesibles a la población de bajos recursos. En este sentido, se señala la importancia de la articulación entre políticas de innovación y políticas sociales, que en el contexto de los países del subdesarrollo es particularmente débil (Sutz, 2010).

#### 5.4. *Los procesos de difusión y adopción de tecnología*

Otra línea de análisis en que la CTI podría dar elementos a considerar en el estudio de las transiciones energéticas, está relacionada con la difusión de las innovaciones, que Rogers (1962) define como el proceso por el cual una innovación es comunicada a través de ciertos canales a lo largo del tiempo entre los miembros de un sistema social. Discute la aceptación de una determinada tecnología a través de las dimensiones sociales y psicológicas de los beneficiarios. Esto puede ser de gran utilidad para el estudio de las transiciones energéticas, pues pone al usuario en el centro. Los autores allegados a Schumpeter ubican el proceso de difusión, adopción y selección de las innovaciones como una dimensión analítica relacionada al papel del mercado (Nelson y Winter, 2002).

Para los países subdesarrollados, muchas veces la adopción de una innovación es producto de la difusión internacional de una tecnología. Esto sugiere las siguientes interrogantes: ¿Qué criterios son considerados a la hora de elegir una innovación tecnológica que se va a difundir? ¿Prima la reducción en las tarifas, el acceso a la energía de los sectores energéticamente vulnerables o las industrias consumidoras de energía? ¿Qué factores influyen la difusión y adopción de determinada tecnología energética (por ejemplo, la adopción de energías renovables)? ¿Todas las tecnologías pueden ser apropiadas o existen barreras sociales, culturales, económicas, institucionales que dificulten o impidan la adopción y difusión tecnológica?

Es relevante el aporte del análisis sociotécnico, que discute el enfoque lineal de la transferencia tecnológica. Según este enfoque, la identidad de un artefacto depende del escenario sociohistórico donde se inserte. Así, la adecuación sociotécnica involucra procesos de construcción social de la utilidad de las nuevas tecnologías a través de alianzas entre diversos actores (usuarios, gobierno, productores, etc.) (Thomas, 2009, en Garrido, Lalouf y Thomas, 2011). La adopción de una nueva tecnología tiene que ver con la construcción de alianzas sociotécnicas estables, definidas como

[...] una coalición que se conforma como resultado de un movimiento de alineamiento y coordinación de elementos heterogéneos tales como artefactos, ideologías, regulaciones, conocimientos, instituciones, actores sociales, recursos económicos, condiciones ambientales y materiales. (Garrido, Lalouf y Thomas, 2011, p. 1).

Este enfoque además señala que aquellas tecnologías que tienen mayores posibilidades de ser transferidas con éxito son las *tecnologías fluidas*, o sea, aquellas que adquieren características locales, ya sea desde el punto de vista físico o en los significados que se les asignan (De Laet et al., 2000, en Garrido, Lalouf y Thomas, 2011).

### 5.5. *El enfoque multinivel de las transiciones sociotécnicas*

Otro de los posibles aportes a los estudios de las transiciones energéticas es la perspectiva multinivel de las transiciones sociotécnicas. Según Verbong y Geels (2006), la literatura sobre los sistemas de innovación se enfoca en el estudio de la nueva tecnología y los actores involucrados en la innovación, pero no profundiza en la tecnología existente o en la interfase entre lo antiguo y lo nuevo. Estos autores hacen énfasis en el aporte de la perspectiva multinivel (MLP, por sus siglas en inglés), ya que analiza las interacciones entre las innovaciones tecnológicas y los regímenes existentes, en un contexto determinado. Esta perspectiva toma aportes de la economía evolucionista y de la sociología de la tecnología.

Según esta perspectiva, las transiciones sociotécnicas se conceptualizan a través de tres dimensiones de análisis. El mesonivel está constituido por el régimen sociotécnico, que implica a la tecnología dominante y los aspectos cognitivos, institucionales y técnicos asociados a esta. Consiste en las siguientes tres dimensiones: 1) redes de actores y grupos sociales; 2) reglas y normas; 3) elementos materiales y técnicos. Los mecanismos subyacentes a estas tres dimensiones generan verdaderos *path dependences* que hacen a los regímenes relativamente estables. En el nivel micro están los nichos, que funcionan como espacios protegidos de la competencia de mercado, en donde se generan procesos de aprendizaje e innovación. Por último, en el nivel macro está el concepto de *paisaje*, que refiere al contexto general que influencia a los anteriores niveles e incluye aspectos macroeconómicos, patrones culturales, etc. Los paisajes sociotécnicos suelen ser muy estables y, por tanto, su transformación puede llevar años o décadas (Verbong & Geels, 2006). Las transiciones ocurren cuando suceden cambios en los tres niveles: a) se genera un impulso dentro del nicho, a través de procesos de aprendizaje que llegan a cierto estado de madurez, mejoras en la relación precio/rendimiento o el apoyo de grupos influyentes; b) cambios en el paisaje generan presiones en el régimen sociotécnico dominante; c) la desestabilización del régimen genera una ventana de oportunidades para que las innovaciones del nicho ganen terreno (Geels y Schot, 2007).

En el trabajo de Ardanche et al. (2017a) se estudia la transición energética uruguaya hacia energías renovables iniciada en la primera década del siglo XXI. Según las autoras, la transformación de la matriz energética fue posible gracias al desarrollo durante décadas de un espacio protegido de aprendizaje en el ámbito universitario, entendido como un *nicho cognitivo*. En este se fueron construyendo conocimiento y capacidad de innovación vinculadas a las energías renovables, principalmente solar y eólica. En la primera década del presente siglo, el régimen sociotécnico asociado a una matriz energética basada en la importación de petróleo y en la hidroelectricidad se vio presionado por nuevas condiciones de paisaje: la necesidad de aumentar la producción de energía bajo el contexto de crecimiento económico del país, condiciones en el mercado internacional, agotamiento de la capacidad de generación hídrica uruguaya, creciente preocupación en la agenda pública por el cambio climático. La ventana de oportunidad surgida del desarrollo de una nueva

política energética a largo plazo generó las condiciones para que el nicho cognitivo, antes limitado a los espacios universitarios, irrumpiera en el régimen sociotécnico, transformándolo.

La tabla que se presenta a continuación busca resumir los aportes que la CTI podría hacer al estudio de las transiciones energéticas.

*Tabla 1. Principales aportes del campo CTI a los estudios de las transiciones energéticas*

	Principales conceptos	Autores seleccionados	Posible preguntas y desafíos a abordar
La relación ciencia-tecnología	Ciencia Papel de la tecnología Agendas de investigación	Joel Mokyr Nathan Rosenberg Judith Sutz	- Función histórica y contemporánea de la tecnología energética. - Difusión desigual de la tecnología energética. - Relaciones interactivas entre ciencia y tecnología - Conformación de las agendas de investigación en los estudios de las transiciones energéticas. - Oportunidad de las transiciones energéticas para la orientación de las agendas de investigación y para la innovación.
Estudios sobre la innovación	Paradigma tecnológico Trayectoria tecnológica Path dependence Sistema nacional de innovación Proceso de aprendizaje	Rodrigo Arocena y Judith Sutz Mario Cimoli y Giovanni Dosi Björn Johnson y Bengt-Åke Lundvall Carlota Pérez Jorge Sabato y Natalio Botana Joseph A. Schumpeter	- Estudio de las transiciones energéticas con sus características locales, específicas y dependientes en la trayectoria. - Estudio de las transiciones energéticas bajo el enfoque sistémico que considera a los actores que intervienen en el proceso, las instituciones y, sobre todo, sus relaciones. - ¿Podrían los procesos de transiciones energéticas convertirse en espacios interactivos de aprendizaje y de despliegue de capacidades?
Vínculo entre tecnología, innovación e inclusión social	Innovación para la inclusión social Sistemas tecnológicos sociales Grassroot innovation	Judith Sutz Hernán Thomas Anil Gupta Adrian Smith	- Relación entre la innovación en el área de la energía, la pobreza energética e inequidad energética. - Articulación entre políticas de innovación y políticas sociales. - Conocimientos e iniciativas locales para el desarrollo de energías limpias e inclusivas.
Difusión y adopción tecnológica	Difusión de la innovación Adopción tecnológica Adecuación sociotécnica Alianzas sociotécnicas	Everett M. Rogers Santiago Garrido, Alberto Lalouf, Hernán Thomas	- Criterios de adopción y difusión de una determinada tecnología energética. - Estudio de barreras sociales, culturales, económicas, institucionales que dificulten o impidan la adopción y difusión

			tecnológica. - Características sociales y psicológicas de los beneficiarios para el estudio de la difusión de las tecnologías energéticas.
Enfoque multinivel	Régimen sociotécnico Nicho Paisaje	Frank Geels Johan Schot	- Transiciones energéticas. - Barreras para el desarrollo y difusión de nichos verdes. - Estudio de regímenes sociotécnicos sustentables.

Fuente: Elaboración propia.

## 6. REFLEXIONES FINALES

Este trabajo es producto de un esfuerzo de tres integrantes de la Unidad Académica de la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) en reflexionar y aportar al estudio de las transiciones energéticas desde el campo disciplinar en el que se están formando: la CTI y su vinculación con el desarrollo.

El tema energético cobra cada vez mayor centralidad en la orientación para un desarrollo sustentable. Las relaciones entre conocimiento, desarrollo tecnológico e innovación pueden servir para estudiar procesos tanto históricos como contemporáneos. Estas relaciones asumen características propias según el contexto y cambian constantemente, y pueden resultar de gran utilidad para abordar el estudio de las transiciones energéticas.

Así, en este trabajo se propusieron cinco líneas diferentes en las que la CTI puede aportar a las transiciones energéticas. El primer aporte tiene que ver con la relación entre ciencia y tecnología, en donde se señala la relevancia del proceso de tecnologización de la ciencia, por el cual la tecnología va adquiriendo un rol más importante en la generación de demandas de nuevo conocimiento científico. Las transiciones energéticas podrían verse como una oportunidad para la orientación de las agendas de investigación y para la innovación. Por otro lado, el ejemplo de lo que significó la máquina a vapor en los países desarrollados advierte sobre la importancia de estudiar el desarrollo y el impacto de tecnologías concretas en un contexto con determinada estructura productiva. Bajo esta lupa, el nexo entre ciencia y tecnología en los países periféricos —que vivieron sus transiciones energéticas inducidas por la demanda internacional de los países centrales sin grandes modificaciones en su estructura productiva— cobra otras características. Estas categorías de análisis pueden ser de utilidad para el estudio de las actuales transiciones energéticas hacia la sustentabilidad que están viviendo algunos países periféricos y su relación con la oportunidad (o no) para el desarrollo científico.

La segunda contribución son aportes conceptuales derivados de los estudios sobre el proceso de innovación, tales como paradigma tecnológico y trayectoria tecnológica. Para estos enfoques, la tecnología involucra —además de los equipos, las máquinas y el conjunto de instrucciones generales de cómo hacer las cosas— los conocimientos y las capacidades para llevarlas a cabo. El carácter local y específico de la tecnología y su relación con la dependencia en la trayectoria constituyen categorías analíticas que pueden resultar útiles para la comprensión de las transiciones energéticas. Asimismo, se intentó complejizar el concepto de innovación al referirlo como un proceso social

complejo e interactivo que requiere de conocimientos, de capacidades, de recursos económicos, de instituciones y de actores que se relacionan para que tales innovaciones sucedan. Estos enfoques pueden resultar de utilidad para el estudio de las transiciones energéticas considerando todos los aspectos que intervienen de forma sistémica. En este sentido, ¿podrían los procesos de transiciones energéticas convertirse en espacios interactivos de aprendizaje y de despliegue de capacidades?

El tercer punto se vincula con el tema de la tecnología y la innovación para la inclusión social. Así, si bien las transiciones energéticas actuales, donde el énfasis está puesto en la importancia de las energías renovables, pueden tener un efecto positivo desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental, enfrentan varios desafíos a la hora de convertirse en herramientas contra la exclusión social. La literatura muestra que las tecnologías energéticas han tenido tanto un impacto positivo como negativo en la equidad social. En particular, algunos problemas de pobreza energética, de mucha relevancia en países subdesarrollados, podrían tener una respuesta tecnológica. Sin embargo, la falta de articulación entre políticas sociales y de innovación y la escasez de estímulos para la orientación de las agendas de investigación hacia la búsqueda de resolución a los problemas locales concretos, son obstáculos importantes para la concreción de ese tipo de respuestas.

El cuarto aporte involucra los procesos asociados con la difusión y adopción de una nueva tecnología, en donde aparecen nuevas dimensiones a considerar como las características sociales y psicológicas de los beneficiarios. Esto es de suma importancia al analizar la difusión y adopción de tecnologías involucradas en las transiciones energéticas de países subdesarrollados, que muchas veces son importadas y pueden adaptarse o no a las necesidades y características de los beneficiarios. También aparece el aporte del enfoque sociotécnico que señala que la identidad de un artefacto es relativa al escenario sociohistórico en donde es insertado, y que su adecuación depende de las alianzas sociotécnicas generadas entre diversos actores. Cobra gran relevancia la inserción local de la tecnología que acompaña a las transiciones energéticas y el modo en que los diferentes actores se involucran para utilizarlas y adaptarlas.

El último aporte refiere a un enfoque que ha tomado relevancia en las últimas décadas para el estudio de las transiciones sociotécnicas: el enfoque multinivel. Se propone el estudio de las transiciones sociotécnicas en tres niveles de análisis y sus interacciones. Uno de los aportes de esta perspectiva es señalar que para que una transición suceda, no basta con la emergencia de una innovación, sino que es necesario que sucedan transformaciones en los tres niveles. Por lo tanto, en lo que refiere a las transiciones energéticas actuales, no solo es necesaria la existencia de nichos donde se desarrollen las energías renovables, sino que además es necesaria la transformación de actores, de las relaciones entre estos y el cambio de algunas reglas y prácticas. Esto da lugar a algunas interrogantes, por ejemplo: ¿Qué estrategias son apropiadas para estimular el desarrollo de nichos especializados en energías renovables? ¿Qué transformaciones son necesarias para que estos nichos maduren hacia configuraciones sociotécnicas estables (regímenes)?

Este documento de trabajo no pretende ser un texto acabado, sino todo lo contrario. Nació con la intención de reflexionar sobre aspectos que el campo de la CTI podría aportar al estudio de las transiciones energéticas. En este sentido, sirve como una invitación para seguir profundizando y estudiando sus vinculaciones, ya que muchos aspectos no fueron incluidos en esta oportunidad.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Ardanche, M., Bianco, M., Cohanoff, C., Contreras, S., Goñi, M., Simón, L., y Sutz, J. (2017a). The power of wind: an analysis of a Uruguayan dialogue regarding an energy policy. *Science and Public Policy*, 45(3), 2018, 351-360. doi: 10.1093/scipol/scx041
- Ardanche, M., Bianco, M., Cohanoff, C., Contreras, S., Goñi, M., Simón, L., y Sutz, J. (2017b). Diálogo entre comunidades para la construcción de políticas CTI: la energía eólica en Uruguay. En G. Dutrénit y J. Natera, J. (eds.) *Procesos de diálogo para la formulación de políticas de CTI en América Latina y España* (pp. 335-366). LALICS-CYTED, CLACSO.
- Arocena, R., y Sutz, J. (2003). *Subdesarrollo e Innovación. Navegando contra el viento*. Madrid: Cambridge University Press.
- Bairoch, P. (1982). International industrialization levels from 1750 to 1980. *Journal of European Economic History*, 11(2), 269.
- Bernardi, R., Arimón, L., D'Ambrosio, L., y Carranza, A. (2020). Integración ciencia-política en el desarrollo eólico de Uruguay. *ENERLAC. Revista de energía de Latinoamérica y el Caribe*, 3(2), 8-25.
- Bertoni, R. (2011). *Energía y desarrollo: la restricción energética en Uruguay como problema (1882-2000)*. Montevideo: Ediciones Universitarias.
- Bertoni, R., Camou, M., Maubrigades, S., y Román, C. (2007). Energía y bienestar en Uruguay: electricidad y calidad de vida en el siglo XX. En *Primer Congreso Latinoamericano de Historia Económica*, Montevideo.
- Bertoni, R., y Román, C. (2013). Auge y ocaso del carbón mineral en Uruguay. Un análisis histórico desde fines del siglo XIX hasta la actualidad. *Revista de Historia Económica*, 31(3), 459-497.
- Bianco, M., Gras, N., y Sutz, J. (2016). Academic evaluation: Universal instrument? Tool for development? *Minerva*, 54(4), 399-421.
- Bouzarovski, S., y Petrova, S. (2015). A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty-fuel poverty binary. *Energy Research and Social Science*, 10, 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.06.007>
- Bradshaw, J., y Hutton, S. (1983). Social policy options and fuel poverty. *Journal of Economic Psychology*, 3(3-4), 249-266.
- Cardia, E. (2008). Household technology: was it the engine of liberation. En *2008 Meeting Papers*, Society for Economic Dynamics, (enero).
- CEPAL (1956). *La energía en América Latina*. México: Departamento de Asuntos Económicos.
- Cimoli, M., y Dosi, G. (1994). De los paradigmas tecnológicos a los sistemas nacionales de producción e innovación. *Comercio exterior*, 44(8), 669-682.
- Cipolla, C. (1978). *Historia económica de la población mundial*. Barcelona: Crítica
- Cohanoff, C. (s/f). *Capacidades de investigación en manejo costero integrado en Uruguay*. (Tesis de Maestría, Maestría en Manejo Costero Integrado del Cono Sur. Udelar).
- Contreras, S. (2019). Vulnerabilidad energética en Montevideo y área metropolitana: conceptualización, medición y distribución. (Tesis de Maestría, Maestría en Demografía y Estudios de Población. FCS, Udelar) Recuperado de [https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/23444/1/TUM\\_ContrerasSoledad.pdf](https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/23444/1/TUM_ContrerasSoledad.pdf)
- Csereklyei, Z., Rubio-Varas, M., y Stern, D. I. (2016). Energy and economic growth: the stylized facts, *The Energy Journal* International Association for Energy Economics, 37(2)
- MIEM (s/f). *Política Energética 2005-2030*. Recuperado de <http://www.eficienciaenergetica.gub.uy/documents/20182/22528/Pol%C3%ADtica+Ener%C3%A9tica+2005-2030/841defd5-0b57-43fc-be56-94342af619a0>
- MIEM (2020). Balance Energético Nacional 2019. *MIEM*. Recuperado de <https://ben.miem.gub.uy/>
- Fajnzylber, F. (1983). *La industrialización trunca de América Latina*, México D.F.: Nueva Imagen
- Folchi, M., y Rubio, M. (2006). El consumo de energía fósil y la especificidad de la transición energética en América Latina, 1900-1930. En *III Simposio Latinoamericano y Caribeño de Historia Ambiental*, Carmona (Sevilla).
- Folchi, M., y Rubio, M. (2008). El consumo aparente de energía fósil en los países latinoamericanos hacia 1925: una propuesta metodológica a partir de las estadísticas de comercio exterior. En M. Rubio y R.

- Bertoni, *Energía y Desarrollo. Uruguay en el marco latinoamericano*. Montevideo: Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de la República.
- Fouquet, R. (2010). The slow search for solutions: Lessons from historical energy transitions by sector and service. *Energy Policy*, 38(11), 6586-6596.
- García Ochoa, R. (2014). *Pobreza energética en América Latina*. (Colección de Documentos de proyectos, CEPAL). Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36661/1/S2014039\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36661/1/S2014039_es.pdf)
- García-Ochoa, R., y Graizbord, B. (2016). Caracterización espacial de la pobreza energética en México. Un análisis a escala subnacional. *Economía, Sociedad y Territorio*, XVI(51), 289-337.
- Garrido, S. Lalouf, A., y Thomas, H. (2011). Resistencia y adecuación socio-técnica en los procesos de implementación de tecnologías. Los dispositivos solares en el secano de Lavalle. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15.
- Geels, F. W., y Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways, *Research Policy*, 36 (3) 399-417.
- Giannini Pereira, M., Vasconcelos Freitas, M. A., y da Silva. N. F. (2011). The challenge of energy poverty: Brazilian case study, *Energy Policy*, 39(1), 167-175. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.09.025>
- González-Eguino, M. (2015). Energy poverty: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 377-385.
- Gupta, A. (2012). Innovation for the poor by the poor. *International Journal of Technological Learning, Innovation and Development*, 5(1-2), 28-39.
- Heffron, R., McCauley, D., y Sovacool, B. (2015). Resolving society's energy trilemma through the energy justice metric. *Energy Policy*, 87, 168-177. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.033>
- IPCC (2014). *Cambio climático 2014* (informe de síntesis, resumen para responsables de políticas). Ginebra: Panel Intergubernamental de Cambio Climático.
- IRENA (2017). *Untapped potential for climate action renewable energy in nationally determined contributions*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- Jianzhong, X., Assenova, A., y Erokhin, V. (2018). Renewable Energy and Sustainable Development in a Resource-Abundant Country: Challenges of Wind Power Generation in Kazakhstan. *Sustainability*. 10(9), 3315. <https://doi.org/10.3390/su10093315>
- Johnson, B., y Lundvall, B-Å. (1994). Sistemas Nacionales de Innovación y aprendizaje institucional. *Comercio Exterior (México)*, 44(8), 695-704.
- Kowsari, R., y Zerriffi, H. (2011). Three dimensional energy profile: A conceptual framework for assessing household energy use. *Energy Policy*, 39(12), 7505-7517.
- Kozulj, R., Landaveri, R., Lallana, F., Bouille, D., Nadda, G., Bravo, G., y Seger, S. (2013). *Energía: una visión sobre los retos y oportunidades en América Latina y el Caribe*. CAF-CEPAL.
- Labini, P. (1987). *The Forces of Economic Growth and Decline*. Cambridge: MIT Press.
- Li, K., Lloyd, B., Liang, X., y Wei, Y. (2014). Energy poor or fuel poor: What are the differences? *Energy Policy*, 68, 476-481.
- Lundvall, B-Å. (ed). (1992). *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Londres: Pinter.
- Lundvall, B-Å., y Johnson, B. (1994). The Learning Economy. *Journal of Industry Studies*, 1(2), 23-42.
- Martinez, D., y Ebenhack, B. (2008). Understanding the role of energy consumption in human development through the use of saturation phenomena. *Energy Policy*, 36(4), 1430-1435.
- Mokyr, J. (1990). *Twenty five centuries of technological change: an historical survey*. Taylor & Francis.
- Mokyr, J. (2008). *Los dones de Atenea: los orígenes históricos de la economía del conocimiento*. Madrid: Marcial Pons.
- Moomaw, W., Yamba, F., Kamimoto, M., Maurice, L., Nyboer, J., Urama K., y Weir, T. (2011). Introduction. En O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer y C.von Stechow (eds.) *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Cambridge y Nueva York: Cambridge University Press.
- Najam, A., y Cleveland, C. J. (2003). Energy and Sustainable Development At Global Environmental Summits : an Evolving Agenda. *Environment, Development and Sustainability*, 5, 117-138.
- Nelson, R., y Winter, S. (2002). Evolutionary theorizing in economics. *Journal of Economic Perspectives*, 16(2), 23-46.

- Nguyen, T., Nguyen, T., Hoang, V., Wilson, C., y Managi, S. (2019). Energy transition, poverty and inequality in Vietnam. *Energy Policy*, 132, 536-548.
- Paunio, M. (2018). *Kicking away the energy ladder. How environmentalism destroys hope for the poorest*, (GWPF Briefing 30). The Global Warming Policy Foundation. Recuperado de <https://www.thegwpf.org/content/uploads/2018/05/Paunio-EnergyLadder.pdf>
- Pereira, M. G., Freitas, M. A. V., y da Silva, N. F. (2010). Rural electrification and energy poverty: Empirical evidences from Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(4), 1229-1240. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.12.013>
- Pérez, C. (2002). Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil. *Revista de la CEPAL*, 75, 115-136.
- Pérez, C. (2012). Una visión para América Latina: dinamismo tecnológico e inclusión social mediante una estrategia basada en los recursos naturales. *Revista Económica*, 14(2), 11-54.
- Rogers, E. (1962). *Diffusion of Innovations*. Nueva York: Free Press.
- Rosenberg, N. (2006). Por dentro da caixa preta. *Revista Brasileira de Inovação*, 5(2), 241-271
- Sábato, J., y Botana, N. (1968). La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América latina. *Revista de la Integración*, 3.
- Schlesewsky, L., y Winter, S. (2018). *An empirical investigation on the distributional impact of network charges in Germany*. (n.º 4/2018, Discussion Paper, Center for Interdisciplinary Economics).
- Schumpeter, J. (1911). *The theory of economic development*. Cambridge: Harvard Economic Studies.
- Smil, V. (2011). Global Energy: The Latest Institutions. *American Scientist*, 99(3), 212.
- Smith, A., y Stirling, A. (2016) *Grassroots Innovation and Innovation Democracy*, (STEPS Working Paper 89), Brighton: STEPS Centre.
- Sovacool, B. (2012). The political economy of energy poverty: A review of key challenges. *Energy for Sustainable Development*, 16(3), 272-282.
- Sovacool, B. (2016). How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 13, 202-215. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.020>
- Sovacool, B., y Dworkin, M. (2015). Energy justice: Conceptual insights and practical applications. *Applied Energy*, 142(C), 435-444.
- Steinberger, J., y Roberts, J. (2010). From constraint to sufficiency: The decoupling of energy and carbon from human needs, 1975-2005. *Ecological Economics*, 70(2), 425-433.
- Stern, D. I. (2010). The role of energy in economic growth. En *Centre for Climate Economics & Policy. Crawford School of Economics and Government*. Canberra: The Australian National University.
- Sutz, J (2003). Inequality and University Research Agendas in Latin America. *Science Technology Human Values*, 28(1), 52-68
- Sutz, J. (2005). Sobre agendas de investigación y universidades de desarrollo. *Revista de Estudios Sociales*, 22, 107-115.
- Sutz, J. (2010). Ciencia, Tecnología, Innovación e Inclusión Social: una agenda urgente para universidades y políticas. *Psicología, Conocimiento y Sociedad*, 1(1), 3-49.
- Thomas, H. (2011). Tecnologías sociales y ciudadanía socio-técnica. Notas para la construcción de la matriz material de un futuro viable. *Ciência & Tecnologia Social*, 1(1), 1-22.
- Thomson, H. (2013). Fuel Poverty Measurement in Europe: A rapid review of existing knowledge and approaches conducted for eaga. *Charitable Trust*, 47.
- Travieso, E. (2015). *Cómo hacer una transición energética sin revolución industrial. Los usos de la energía moderna en Uruguay, 1902-1954*. (Tesis de Maestría, Maestría en Historia Económica y Social. PHES, FCS, Udelar)
- Verbong, G., y Geels, F. (2010). Exploring sustainability transitions in the electricity sector with socio-technical pathways. *Technological Forecasting and Social Change*, 77, 1214-1221. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.04.008>.
- Waiter, A. (2019). *Trayectoria tecnológica, capacidades nacionales y aspectos institucionales: la construcción de la represa hidroeléctrica en Rincón de Bonete, Uruguay. 1904-1945*. (Tesis de Maestría, Maestría en Historia Económica y Social. PHES, FCS, Udelar).
- Wrigley, E. A. (2004). *Poverty, Progress and Population*. Cambridge: Cambridge University Press.