

TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y DESARROLLO PRODUCTIVO LOCAL. COGENERACIÓN A PARTIR DE BIOMASA EN LA INDUSTRIA AZUCARERA EN TUCUMÁN

S. Garrido¹

Instituto de Estudios Sociales sobre la Ciencia y la Tecnología (IESCT)
Universidad Nacional de Quilmes (UNQ)
Roque Sáenz Peña 352
(B1876BXD) – Bernal
+54 (11) 4365-7100 (Int. 5851) – santiago.garrido@unq.edu.ar

RESUMEN: El objetivo de este trabajo es analizar una experiencia de generación de energía a partir de biomasa por parte de un ingenio azucarero en la provincia de Tucumán (Argentina), desde una perspectiva socio-técnica. Para ello se propone reconstruir analíticamente los procesos de co-construcción experimentados entre políticas públicas, tecnologías, conocimientos, recursos humanos especializados y prácticas productivas. Asimismo, se propone reflexionar sobre los alcances y limitaciones que presentan este tipo de experiencias para impulsar nuevos procesos de transición energética.

El desarrollo de este tipo de experiencias en el marco de la producción azucarera de Tucumán, permite generar algunas reflexiones en términos de transición energética y su potencial para la generación de dinámicas de desarrollo sustentable. Los resultados obtenidos del presente estudio de caso cuestionan los modelos de análisis lineales basados en procesos de escalamiento desde los nichos hasta el cambio de régimen que predominan en los estudios de transición energética. Este trabajo permite revisar estas afirmaciones, ya que muestra como la transformación de los regímenes no siempre es provocada por la presión ejercida desde los nichos. El caso analizado permite observar un proceso inverso por el que determinados elementos del régimen fueron los que favorecieron la formación del nicho de innovación.

Palabras clave: Transición energética, perspectiva multinivel, bioenergía, Cogeneración

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del sector de Biomasa y bioenergía ha sido promovido en la última década a partir de la adopción de diferentes tendencias globales como las iniciativas relacionadas a economía circular, economía verde o bioeconomía (OCDE, 2015; Ballesteros Perdices, 2018; Zabaniotou, 2018;). En todos estos casos, las iniciativas son impulsadas a través de la cooperación internacional que ofrece las experiencias implementadas en los países desarrollados como receta a imitar. Así, los sistemas de generación de energía a partir de biomasa, son presentados como excelentes formas de avanzar en procesos de transición energética (Ghisellini *et al.*, 2016). Sin embargo, estas iniciativas son también cuestionadas ya que profundizan otro tipo de problemáticas ambientales al consolidar modelos

¹ CONICET. Instituto de Estudios sobre Ciencia y Tecnología (IESCT). Universidad de Quilmes

agrícolas basados en el monocultivo, la sobreexplotación de los suelos y la utilización de agroquímicos (Laurence, 2007; Searchinger *et al.*, 2008).

En el caso de Argentina, el aprovechamiento de biomasa para generación eléctrica fue promovida a partir de la ley 26.190 de 2006 y su reemplazante, la ley 27.191 de 2015. En la ley de 2006 se declaraba de interés nacional la generación de energía eléctrica dedicada al servicio público a través de recursos renovables que establecía como meta lograr abastecer el 8% de la demanda eléctrica con energías renovables para 2016. Los principales cambios que introdujo la ley 27.191 fueron la extensión del plazo para cumplir con la cuota del 8% de 2016 a 2017, la imposición de la obligación de la cuota a los grandes usuarios del sistema eléctrico (ya sea por autogeneración o contratos de provisión entre privados) (Griffa *et al.*, 2018). Esta última norma, fue acompañada con el programa RenovAr que consistía en una serie de licitaciones a través de las cuales se adjudicaron proyectos por 5200 MW a los que se suman otros 1000 MW de los llamados contratos MATER (contratos de provisión para grandes usuarios) (Garrido *et al.*, 2020).

En este marco, se pusieron en marcha los primeros proyectos a partir de residuos agroforestales que se concentraron sobre todo en el norte del país. En su mayoría se implementaron procesos de cogeneración que combinan el aprovechamiento de la energía para los procesos productivos y la generación de electricidad para autoconsumo y comercialización. En la actualidad existen en operación 15 centrales de biomasa lo que permitió cuadruplicar la generación anual por esta fuente de energía en 10 años (Cammesa, 2021)². A estos proyectos se pueden sumar otros tantos que se orientan exclusivamente al autoconsumo o que operan comercializando su excedente en redes de distribución minorista de energía (Manrique *et al.*, 2020).

La mayoría de estos proyectos fueron desarrollados para aprovechar los residuos de actividades forestales y se concentraron en las provincias de Corrientes, Misiones y Chaco del noreste argentino. En la región pampeana se impulsaron el uso de residuos agrícolas como la cáscara de maní y de girasol en las provincias de Córdoba y Buenos Aires. En la industria azucarera también se impulsaron proyectos de cogeneración que se concentraron en el noroeste del país.

La mayoría de los ingenios azucareros queman sus residuos en calderas para obtener la energía necesaria para el proceso productivo. Por este motivo, ya tienen una práctica de aprovechamiento del recurso biomásico generado en su actividad. A partir de los incentivos ofrecidos por la nueva legislación, cuatro ingenios azucareros desarrollaron proyectos de cogeneración en sus plantas industriales y están vendiendo energía eléctrica en el mercado mayorista. Tres de ellos se ubican en la provincia de Tucumán (Santa Bárbara, La Providencia y Leales) y el restante es de la provincia de Salta (Tabacal) (Cammesa, 2021).

El objetivo de este trabajo es analizar una experiencia de generación de energía a partir de biomasa por parte de un ingenio azucarero en la provincia de Tucumán (Argentina), desde una perspectiva socio-técnica. Para ello se propone reconstruir analíticamente los procesos de co-construcción experimentados entre políticas públicas, tecnologías, conocimientos, formación de recursos humanos especializados y dinámicas desarrollo productivo. Asimismo, se propone reflexionar sobre los alcances y limitaciones que presentan este tipo de experiencias para impulsar nuevos procesos de transición energética en términos de sistemas socio-técnicos.

El desarrollo de este tipo de experiencias en el marco de la producción azucarera de Tucumán, permite generar algunas reflexiones en términos de transición energética y su potencial para la generación de dinámicas de desarrollo sustentable. El caso analizado nos ofrece elementos para repensar sobre el carácter sistémico que debe tener el proceso de transición energética para superar las interpretaciones superficiales que la reducen a un proceso de sustitución tecnológica.

² La generación con biomasa pasó de 97,6 GWh en 2011 a 421 GWh en 2020 (Cammesa, 2021).

HERRAMIENTAS TEÓRICAS

El concepto de transición energética fue incorporado en el discurso de la mayoría de los gobiernos nacionales, en línea con una agenda global que se impuso desde finales del siglo pasado. En particular, a partir de la Cumbre de la Tierra realizada en Río de Janeiro en 1992, se comenzó a plantear la necesidad de avanzar en un proceso de transición basado en los principios de desarrollo sustentable (Crump, 1993). Así, el discurso de transición fue incorporado en el diseño de políticas públicas, en programas y proyectos promovidos por organismos internacionales y en acciones impulsadas por activistas y ONG a escala mundial.

Para abordar el análisis de este fenómeno surgieron los estudios sobre transiciones a la sustentabilidad a mediados de la década del noventa, impulsados por académicos de Europa Occidental. Este abordaje articula diferentes aportes conceptuales de la Economía de la Innovación y de los estudios en Ciencia, Tecnología y Sociedad, y busca superar las limitaciones que presentan los análisis centrados exclusivamente en el desarrollo de innovaciones tecnológicas. Los estudios sobre transiciones proponen, en cambio, un marco analítico multinivel que permite comprender los procesos de transformación de amplios sectores de la producción y el consumo hacia regímenes más sustentables en términos económicos y ambientales (Smith y Stirling, 2010). De este modo, el enfoque basado en transiciones a la sustentabilidad propone comprender los procesos de cambio en términos sistémicos combinando tecnologías, prácticas sociales, infraestructuras, regulaciones, mercados y valores culturales (Elzen y Wieczorek, 2005).

Entre los principales trabajos desarrollados en el campo de las transiciones a la sustentabilidad, se destacan los estudios basados en la perspectiva multinivel (*Multi-level perspective*-MLP) que propone analizar los procesos de transición socio-técnica en tres niveles (nicho, régimen socio-técnico y contexto socio-técnico (el término utilizado en inglés es *landscape*)).

Los nichos dan cuenta de espacios protegidos en los que no operan las reglas convencionales de mercado y que, por lo tanto, permiten desarrollar y experimentar con innovaciones radicales (basadas en principios de sustentabilidad, por ejemplo). Las condiciones de nicho se pueden generar a partir de políticas de incentivos, políticas promocionales o incluso políticas de CTI orientadas al desarrollo de cierto tipo de tecnologías. Los nichos son centralmente espacios de experimentación y aprendizajes, y para ello cuentan con normas y prácticas al margen de las normas y prácticas dominantes en los regímenes socio-técnicos (Berkhout *et al.*, 2004).

El régimen socio-técnico es el nivel clave para el análisis de los procesos de transición y se refiere al conjunto de reglas e instituciones (formales e informales), valores culturales, prácticas sociales y tecnologías que operan en un sistema socio-técnico determinado. En definitiva, son los regímenes socio-técnicos los que se transforman para generar cambios sistémicos profundos que marquen una transición (por ejemplo, pasar de un régimen dominado por el uso de hidrocarburos y altas emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) a otro dominado por las energías renovables y bajas emisiones). El concepto de régimen socio-técnico permite superar las interpretaciones de transición entendidas como procesos de sustitución de una tecnología por otra (Geels, 2011).

El contexto socio-técnico se refiere a los elementos de gran escala que pueden influir y afectar la dinámica de los regímenes socio-técnicos (o incluso en los nichos) y en los cuales los actores que participan en los procesos de cambio no tienen capacidad de gobernar. Algunos ejemplos de contexto socio-técnico se pueden referir a fenómenos como el cambio climático o las repercusiones generadas por fenómenos como el accidente nuclear de Chernobyl o la pandemia del COVID 19. En función de cómo operan estos elementos, los regímenes socio-técnicos y los nichos pueden cambiar para proteger un orden establecido, adaptarse a cambios actuales o plantear estrategias de cambio (Geels, 2011).

Los estudios realizados a partir del enfoque MPL, entienden las transiciones como fruto de las interacciones entre estos tres niveles. En contraste con la mayoría de las explicaciones constructivistas del cambio tecnológico, los modelos multinivel tienen la ventaja de llamar la atención sobre los procesos a largo plazo y la dinámica de escalamiento.

Un elemento clave en los estudios sobre transiciones es la tensión la acumulación de capacidades cognitivas y su incorporación en el desarrollo tecnológico productivo (traducida en términos de relación entre nicho y régimen). En el caso argentino, esta situación se muestra notable en los últimos 15 años en los que los instrumentos de política pública en CTI se multiplicaron en cantidad y variedad, pero no así su incidencia en experiencias concretas de desarrollo tecno-productivo.

Las transformaciones socio-técnicas que requieren los procesos de transición sustentable abren la posibilidad de revisar las condiciones vigentes y revisar el orden establecido en términos políticos, económicos y territoriales. Es así que las transiciones pueden abrir posibilidades que la economista Carlota Pérez definió como ventanas de oportunidad (Pérez, 2001). Para esta autora, las ventanas de oportunidad son aquellas posibilidades que tienen los países en desarrollo para insertarse en el desarrollo de lo que denomina como una nueva revolución tecnológica.

Las ventanas de oportunidad, se pueden abrir de diferentes maneras. En tiempos de cambio climático y crisis ambiental, la necesidad de cambiar las formas de producir y consumir generar nuevas reglas de juego que diferentes actores pueden aprovechar a su favor de sus intereses.

METODOLOGÍA

Este trabajo propone un estudio de caso a partir de una investigación cualitativa utilizando una combinación de fuentes de información cruzadas. Los datos se recopilaron mediante a) revisión bibliográfica; b) entrevistas en profundidad con expertos y responsables técnicos del caso analizado; c) documentos tales como estadísticas e indicadores energéticos normativos y oficiales; y d) investigación digital en medios de comunicación y sitios especializados en energía.

Para el análisis de datos, en el caso de las entrevistas y la investigación digital, el análisis de contenido se realizó a través de transcripciones, cuadrículas de codificación y organización de temas (Sovacool *et al.*, 2018). La combinación del análisis de entrevistas en profundidad con la investigación digital (entrevistas y noticias online) permitió identificar entendimientos y explicaciones de actores y expertos. Por otro lado, se llevó a cabo un análisis extenso de revisión de literatura, normativas oficiales, informes y estadísticas.

SECTOR AZUCARERO EN ARGENTINA

El complejo agroindustrial azucarero argentino se concentra en la región noroeste del país en el que se pueden identificar dos modelos estructurales de organización productiva. Por un lado, el modelo dominante en Salta y Jujuy con una alta concentración de la producción de caña (grandes unidades productivas)³ y su industrialización (5 ingenios concentran toda la producción). Entre los actores de este sector agroindustrial se destacan las empresas Ledesma y Tabacal.

El modelo tucumano, por otra parte, se caracteriza por la presencia mayoritaria de pequeñas unidades productivas (con extensiones menores a 50 hectáreas), con una notoria preeminencia de establecimientos de hasta 1 ha. Asimismo, la industrialización también presenta una mayor diversificación ya que la provincia cuenta con 15 ingenios (distribuidos en 10 empresas propietarias) (Pérez *et al.*, 2007).

³ En el caso de Jujuy, se destaca que el 88,4% de la superficie dedicada a la producción de caña de azúcar corresponde a unidades productivas de más de 500 ha. (INDEC, 2021).

Otra diferencia significativa entre estos dos modelos es que mientras en Salta y Jujuy se presenta una alta integración vertical y los ingenios son dueños de la mayor parte de su materia prima, en Tucumán predominan los cañeros independientes que venden su materia prima a los ingenios. Esta relación entre productores de caña e ingenios es un elemento de constante tensión en relación a las negociaciones de precio, volumen y condiciones de la caña entregada por parte de los productores cañeros.

La producción de caña de azúcar y el complejo industrial azucarero, es el sector más representativo de la economía provincial de Tucumán y es el primer productor nacional de azúcar. Sin embargo, los ingenios sufren serias dificultades para competir con las grandes empresas jujeñas y salteñas que cuentan con otra estructura de costos y escala.

Como contrapartida, la agroindustria tucumana (especialmente la azucarera) es también el centro de las principales problemáticas ambientales del noroeste argentino. A comienzos del Siglo XXI, la caña de azúcar era considerado como el principal cultivo implicado en la emisión de Gases Efecto Invernadero (GEI) (Girardin, 2006). Entre los principales causantes de estas emisiones se identificó la quema de cañaverales durante la época de cosecha, el vuelco de efluentes y residuos de los ingenios han contaminado en ríos y arroyos, y el procesamiento y/o combustión de otros desechos (como el bagazo de caña). Asimismo, entre los problemas ambientales atribuidos a la producción azucarera se suma la contaminación atmosférica y sus efectos en la salud humana como por ejemplo la aparición de enfermedades (la bagazosis) entre las comunidades locales.

En los últimos 20 años, la industria azucarera comenzó a realizar inversiones orientadas a la producción de bioetanol y a la cogeneración de energía eléctrica, con el objetivo de diversificar la producción y transformar a los ingenios en unidades productoras de energía. De este modo, los ingenios tucumanos están buscando que la producción azucarera pueda ser una actividad más previsible y sustentable a través de una mayor diversificación de productos. Asimismo, estos proyectos fueron presentados como alternativas más sustentables en términos ambientales en clave de economía verde o bioeconomía.

Esta nueva estrategia, fue iniciada a mediados de la primera década del 2000 y la experiencia del Ingenio Santa Bárbara fue pionera especialmente en el campo de la cogeneración para venta de energía eléctrica a partir de biomasa.

PROYECTO DE COGENERACIÓN DEL INGENIO SANTA BÁRBARA

El Ingenio Santa Bárbara está ubicado en la localidad de Río Chico al sur de la provincia de Tucumán. El mismo es propiedad de la Compañía Azucarera Juan Manuel Terán, una de las históricas empresas azucareras de Tucumán que cuenta además con otros dos ingenios en la provincia (Aguilares y Ñuñorco).

Como la mayoría de la industria azucarera, Santa Bárbara utiliza el bagazo de caña como fuente de energía para llevar adelante su proceso productivo⁴. El bagazo alimenta las calderas que generan el vapor necesario para mover el sistema de molienda y procesamiento de la caña para la obtención del azúcar y el alcohol. Esta práctica se realiza desde hace décadas y parte de la maquinaria utilizada requiere periódico mantenimiento y recambio. Las calderas bagaceras tienen una vida útil de 50 años en Tucumán que, en ocasiones puede extenderse por 20 años más. Sin embargo, el aumento de la productividad genera un mayor desgaste de la maquinaria por lo que se requieren reparaciones cada 10 o 15 años. Estas tareas de mantenimiento se realizan a través de empresas tucumanas

⁴ La reconstrucción del proceso de implementación del proyecto se realizó en base a entrevistas a referentes técnicos del Ingenio Santa Bárbara.

especializadas en este tipo de tareas, aunque parte de los trabajos (sobre todo la parte hidráulica) se debe realizar en Buenos Aires.

A comienzos de los 2000, el Ingenio Santa Bárbara contaba con 4 calderas que habían sido compradas usadas en la década de 1960 a la Central Térmica Costanera de Buenos Aires. Las calderas habían sido instaladas en 1945 y se utilizaban para generar energía eléctrica utilizando carbón pulverizado. Para el proceso productivo del Ingenio sólo se requerían dos de estas calderas. Las que estaban en funcionamiento al comienzo del proyecto eran dos que fueron puestas en marcha en la década de 1980 y tenían un alto costo de mantenimiento por el deterioro propio del proceso productivo. Sobre todo, en los seis meses de parada entre zafra y zafra.

En el año 2005, las autoridades del Ingenio decidieron realizar la inversión para renovar las calderas que habían llegado al final de su vida útil. Esta decisión coincidió con una reunión de la que participaron con otros empresarios del sector con autoridades de la secretaría de Energía de la Nación en la que les recomendaron avanzar en proyectos de cogeneración⁵. De este modo, las autoridades del Ingenio Santa Bárbara optaron por una renovación de calderas que permitieran instalar un sistema de cogeneración (debían contar con mayor capacidad que las previstas originalmente). Asimismo, se debía incorporar una nueva turbina generadora de electricidad y una instalación eléctrica que conectara al Ingenio con la red de distribución.

El proyecto fue desarrollado técnicamente por la misma empresa con sus propios recursos humanos. Personal técnico viajó a Brasil para recolectar información sobre este tipo de sistemas e identificar las mejores opciones tecnológicas disponibles. A partir de este relevamiento, se recomendó que el sistema que se instalara fuera similar a los utilizados en Brasil. El modelo de caldera elegido fue desarrollado por la empresa brasileña *Caldena*, pero se acordó su provisión a través de la empresa Gonella radicada en la localidad de Esperanza en Santa Fe.

En términos de capacidades, la empresa tenía experiencia propia en la quema de bagazo. Por este motivo, el manejo de la caldera no requirió capacitación por parte de los fabricantes. La caldera fue instalada por una empresa de Buenos Aires que se ocupa de realizar el mantenimiento de la parte hidráulica de la caldera. El resto del mantenimiento, es realizado por el personal del Ingenio y con servicios técnicos ofrecidos en Tucumán. El turbogenerador, en cambio, se importó de Brasil un equipo de 8 MW de potencia fabricado por la empresa NG. Esta elección estuvo basada en una cuestión de costos. La empresa proveedora también tenía a su cargo el mantenimiento anual y la puesta en marcha del turbogenerador. También, se acordó la capacitación del personal que opera el sistema con la empresa proveedora, la instalación un software de control en Brasil y el entrenamiento de los operarios del Ingenio en su uso.

Uno de los problemas críticos que enfrentan los proyectos de energías renovables en Argentina es el acceso al financiamiento. La experiencia del Ingenio Santa Bárbara no escapó a estos problemas y sufrió diferentes dificultades para concretar el proyecto. Es así, que la falta de fuentes de financiamiento adecuado produjo un retraso de 3 años en la puesta en marcha del proyecto. La caldera se puso en marcha en el año 2008, mientras que el sistema de cogeneración estuvo en pleno funcionamiento en 2011.

Al final del sistema se termina emitiendo vapor saturado con 200 mg/Nm³ (miligramos por metros cúbicos en condiciones normales) de partículas totales. De esta manera se cumple con la regulación provincial que establece un máximo de 400 mg/Nm³ para calderas nuevas⁶. La planta tiene controles

5 Esta recomendación era realizada en paralelo al debate parlamentario de la nueva ley 26.191 que fue finalmente aprobada en 2006.

6 La norma europea establece 80 mg/Nm³.

mensuales de emisiones de acuerdo a la normativa provincial. Las partículas resultantes se depositan en piletas de sedimentación y luego se extraen y se llevan a sitios de disposición final.

El Ingenio Santa Bárbara fue el primero de desarrollar un proyecto de cogeneración en la Argentina. Luego se sumaron otros en Tucumán y en otras provincias (Por ejemplo, el Ingenio Tabacal en Salta que tiene una planta de 40 MW). Santa Bárbara logró firmar un contrato de provisión de energía a USD 95 el MW/h. Con este precio, la empresa estimaba recuperar la inversión en un periodo de 10 años.

Algo que distinguió al Ingenio Santa Bárbara, en los años en los que se llevó adelante el proyecto es su vocación por vincularse con el sector científico-tecnológico para desarrollar diferentes proyectos para mejorar la eficiencia del proyecto de cogeneración y promover dinámicas productivas más sostenibles ambientalmente.

Es así que la empresa participó de un consorcio público-privado con la Estación experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) en el marco del proyecto FONARSEC “Incremento de la eficiencia energética de sistemas de producción de Bioelectricidad en la Industria Sucoalcoholera a partir de Biomásas Residuales: Bagazo presecado y Residuos Agrícolas de Cosecha (Biorac)”. El principal propósito del proyecto era mejorar las condiciones de recolección para garantizar el potencial del bagazo, reduciendo la humedad y tierra que afectan la combustión.

A este proyecto se puede sumar uno orientado al desarrollo de un nuevo sistema de enfardado del bagazo con financiamiento del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, y otro en cooperación con la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional de Tucumán para experimentar en la fabricación de ladrillos con la ceniza generada en las calderas.

RELACIONES NICHOS-RÉGIMEN SOCIO-TÉCNICO

En los análisis multinivel de las transiciones profundizan en la confluencia del desarrollo de capacidades tecno-productivas en los nichos de innovación que pueden incorporarse eventualmente como parte de los regímenes socio-técnicos. Esta incorporación se puede dar por cambios de las reglas de juego de los regímenes que pueden ser producto de presiones generadas desde el contexto o de los nichos.

En el caso analizado, las reglas de juego que cambiaron en el régimen socio-técnico se pueden relacionar con la implementación de normas nacionales para promover la adopción de energías renovables como la ley 26.190 de 2006. En el marco de esta normativa, en el año 2009 se lanzó el programa GENREN que consistía en una licitación para la provisión de energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables (incluyendo biomasa) a través de la empresa estatal ENARSA. En 2011, se sumó la resolución 108 de la secretaría de energía que ofrecía condiciones similares a las del GENREN para proyectos que habían quedado afuera de los beneficios del programa.

Otro elemento del régimen es la normativa ambiental provincial. En 2007, se promulgó la ley 7.460 que establece límites a la contaminación atmosférica producida por la industria azucarera. En su decreto reglamentario establece como límite máximo permitido 700 mg/Nm³ de partículas totales para generadores antiguos y 400 mg/Nm³ para generadores nuevos (Golato *et al.*, 2012). Como las calderas instaladas en el Ingenio Santa Bárbara eran nuevas, debían cumplir con el límite fijado de 200 mg/Nm³.

Finalmente, un elemento clave del régimen socio-técnico es el mercado azucarero argentino y la posición ocupada por los ingenios tucumanos en el mismo. Como ya se mencionó, la dinámica productiva del sector azucarero tucumano es muy diferente a la de otras provincias competidoras. En Tucumán se impone un modelo que combina pequeños productores y cooperativas que son

proveedoras de la materia prima. Esta condición limita la competitividad de los ingenios azucareros tucumanos en términos de escala e integración vertical de la producción. Es por esto que la diversificación productiva y el aprovechamiento de residuos y subproductos son de vital importancia para la supervivencia de todos los actores del sector.

Es en este contexto que surgen proyectos como el de cogeneración de Santa Bárbara que se puede definir como de nicho. Las reglas de juego del nicho son diferentes a las imperantes en el régimen (aunque son influidas por éste) y están asociadas a una cultura empresarial particular marcada por fuertes vínculos con el sector científico-tecnológico. Asimismo, hay políticas públicas nacionales y provinciales que potencian el desarrollo de este tipo de experiencias de nicho a través de financiamiento como los fondos FONARSEC.

El desarrollo del proyecto y la orientación que tuvo el proyecto puede ser entendido como el aprovechamiento de una ventana de oportunidad que se abrió cuando la necesidad de renovar las calderas se alineó y coordinó con incentivos como la ley 26.190, el programa GENREN y la búsqueda de sobrellevar los períodos de azúcar barata.

CONSIDERACIONES FINALES

La transición energética hacia sistemas socio-técnicos más sustentables, se ha convertido en un desafío crucial a escala global. En este escenario, el aprovechamiento energético de los residuos agrícolas representa una enorme oportunidad para países como la Argentina y, sobre todo, para sus economías regionales.

El desarrollo de proyectos bioenergéticos en casos como el de Tucumán, permite repensar los modelos de transición energética y el uso de herramientas conceptuales utilizadas para su análisis. La perspectiva Multinivel, por ejemplo, suele ser criticada porque la mayoría de los trabajos que la utilizan reproducen un modelo lineal basado en procesos de escalamiento desde los nichos hasta el cambio de régimen. Este trabajo permite revisar estas afirmaciones, ya que muestra como la transformación de los regímenes no siempre es provocada por la presión ejercida desde los nichos a fuerza de acumulación de aprendizajes y capacidades.

La experiencia del Ingenio Santa Bárbara permite observar cómo algunos cambios concretos en el régimen como las leyes de promoción de renovables, las licitaciones y las normas ambientales fueron las que habilitaron la configuración de un proyecto innovador. Asimismo, esos cambios fueron provocados también por la presión que se viene generando a nivel de contexto socio-técnico asociado a las acciones internacionales para mitigar el cambio climático.

En países como Argentina, la constitución de nichos depende en gran medida de la aplicación de políticas públicas de diferente tipo. En el caso analizado en este trabajo, el proyecto se inició con una renovación de tecnología que ya estaba llegando al final de su vida útil y afectaba la competitividad de la empresa, pero también puede ser motivado para adecuarse a determinada normativa ambiental. Asimismo, un tema importante a evaluar es la necesidad de financiamiento apropiado para este tipo de proyectos. No siempre tiene que venir de proyectos de energía, pueden llegar desde organismos ambientales o de promoción industrial.

El proyecto de Santa Bárbara fue desarrollado sin financiamiento público de este tipo y eso provocó una serie de complicaciones y demoras. Esos mecanismos de fondeo siguen siendo uno de los puntos críticos a resolver en el proceso de transición energética en Argentina. En el caso de los proyectos de cogeneración, es fundamental que los recursos financieros no se restrinjan al ámbito energético exclusivamente, pero sí debe considerarse a la venta o el ahorro de energía como un factor clave para garantizar el repago.

En términos de análisis de nicho de innovación, el caso de Santa Bárbara permite observar el rol clave que tienen los vínculos de cooperación con instituciones de Ciencia y Tecnología para buscar soluciones diferentes tipos de problemas. En esta experiencia en particular, estas relaciones se pueden explicar en el hecho de que algunos de sus empleados gerenciales son profesores universitarios también. Es así que esta doble pertenencia es un factor positivo. Sin embargo, no todos los ingenios azucareros tienen esta característica, por eso es imprescindible fortalecer las políticas de vinculación tecnológica.

Finalmente, es importante señalar que, para la producción azucarera de Tucumán, en la que predominan los Ingenios medianos y pequeños, los proyectos de cogeneración como el de Santa Bárbara pueden ser una alternativa clave para darle sustentabilidad a todo el sector azucarero incluyendo a los pequeños productores cañeros y cooperativas que venden su producción a los ingenios. De este modo, se puede sortear los altibajos que se producen en los ciclos de bajos precios del azúcar.

En definitiva, para lograr una transición energética profunda y sostenida, un cambio de matriz de generación es necesario, pero insuficiente. Es necesario pensar políticas públicas articuladas que permitan aprovechar los recursos invertidos en CTI para promover transformaciones sostenidas en los regímenes socio-técnicos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado en el marco de diferentes proyectos de investigación:

- Proyecto de investigación orientada (2014-2016) “Energías renovables en Argentina: Visiones y perspectivas de los actores sociales. Hacia un análisis integral de los Sistemas Tecnológicos Sociales, desarrollo productivo y sustentabilidad socio-ambiental” es financiado por el Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y Fundación YPF
- Proyecto “Transiciones Sustentables en Argentina: análisis de experiencias locales de Energías Renovables, Producción Agroecológica y Conservación Ambiental”, Universidad Nacional de Quilmes, 2019-2021.
- PICT 2016-1522: “Tecnologías de Energías Renovables y dinámicas de desarrollo inclusivo y sustentable. Un análisis socio-técnico de las políticas públicas y las estrategias institucionales para el desarrollo e implementación de Energías Renovables en la Argentina (1991-2016)”, ANPCyT, 2017-2020.
- Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural (ReBiBiR), Red temática N° 719RT0587, del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo – CYTED, 2019-2022.

REFERENCIAS

- Ballesteros Perdices M. (2018). El papel de la bioenergía en la nueva bioeconomía. *Mediterráneo económico* 31: 353-370.
- Belmonte S., Franco J., Garrido S., Díscoli C., Martini I., Escalante K., González J., Viegas G., Chevez P., Barrios M.V., Schmukler M., Sarmiento N., González F., Lalouf A. (2017). Experiencias de energías renovables en Argentina. Una mirada desde el territorio, Belmonte S., y Franco J., (Coords.). Salta, EUNSa.
- Berkhout F., Smith A. y Stirling A. (2004). Socio-technological regimes and transition contexts, en Elzen B., Geels F. y Green K. (eds). *System Innovation and the Transition to Sustainability*. Cheltenham, Edward Elgar. pp. 48–75.
- CAMMESA (2021). MATER. Informes renovables, septiembre 2021.
<https://microfe.cammesa.com/static-content/CammesaWeb/download-manager-files/Informes%20Mater/Informe%20MATER%20SEP%202021.pdf>
- Crump, A. (1993). *Dictionary of Environment and Development*. Cambridge, MIT Press.

- Elzen B. y Wieczorek A. (2005). Transitions towards sustainability through system innovation, *Technological Forecasting Social Change*, 72 (6), pp. 651–661.
- Garrido S., Sanchez Dei Cas L., Ruggeri E., Denuncio A., Santos G., y Bortz G., (2020). Políticas, marcos institucionales y financiamiento sobre biomasa y bioenergía rural en Argentina, en Manrique S., Torreiro Villarino Y., Contreras Rodríguez M.L., Sánchez Hervás J.M., Garrido S., y Curbelo Alonso A. (Editores). *Recursos, Tecnologías, transferencia y políticas: Una mirada desde múltiples perspectivas y dimensiones a los sistemas de bioenergía en Iberoamérica*. Madrid, CYTED. pp. 235-242.
- Geels, F. (2011). The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms, *Environmental Innovations and Societal Transitions*, N°1, pp. 24-40.
- Ghisellini P., Cialani C., Ulgiati S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production* 114:11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Golato, M, Morales, W, Méndez, H, Feijóo, E y Paz, P (2012). Monitoreo de emisiones de material particulado de chimeneas de generadores de vapor de la industria azucarera en Tucumán, R. Argentina. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán Tomo 89 (1)*. pp. 11-19. ISSN 0370-5404.
- INDEC (2021). Censo Nacional Agropecuario 2018. Resultados definitivos. Buenos Aires. https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018_resultados_definitivos.pdf
- Laurence W.F. (2007). Switch to corn promotes Amazon deforestation. *Science* 318: 1721.
- Griffa B., Marcó L., y Goldstein E. (2018). Producir electricidad con biomasa: beneficios, experiencia y actualidad en Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas-UNNE* 19: 67-79. <https://doi.org/10.30972/rfce.0192858>
- Manrique S., Salvo A., Villafañe F., Martín N. y Honorato M. (2020). Panorama de tecnologías de bioenergía en Argentina, en en Manrique S., Torreiro Villarino Y., Contreras Rodríguez M.L., Sánchez Hervás J.M., Garrido S., y Curbelo Alonso A. (Editores). *Recursos, Tecnologías, transferencia y políticas: Una mirada desde múltiples perspectivas y dimensiones a los sistemas de bioenergía en Iberoamérica*. Madrid, CYTED. Pp. 115-125.
- OCDE (2015). *Towards Green Growth: Tracking Progress*, OECD Green Growth Studies. OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/9789264234437-en>
- Perez, C. (2001). El cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil. *Revista de la CEPAL* (75):22.
- Pérez D., Fandos C., Scandalariis J., Mazzone L., Soria F. y Scandalariis P. (2007). Estado actual y evolución de la productividad del cultivo de caña de azúcar en Tucumán y el noroeste argentino en el período 1990-2007. EEAOC, Publicación especial 34.
- Searchinger T., Heimlich R., Houghton R.H., Dong F., Elobeid A., Fabiosa J., Togkoz S., Hayes D., Yu T., (2008). Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land use change. *Science* 319: 1238–1240.
- Smith A. y Stirling A. (2010). The politics of social-ecological resilience and sustainable sociotechnical transitions. *Ecology and Society* 15 (1).
- Sovacool B., Axsen J. y Sorrell S. (2018). Promoting novelty, rigor, and style in energy social science: Towards codes of practice for appropriate methods and research design, *Energy Research Social Science* 45:12–42. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.07.007>
- Zabaniotou A. (2018). Redesigning a bioenergy sector in EU in the transition to circular waste-based Bioeconomy-A multidisciplinary review. *Journal of Cleaner Production* 177: 197–206. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.172>.
- Ziegler, J., 2007. Draft report of the special rapporteur on the Right to Food to the General Assembly, 62/2007T.

ABSTRACT: The objective of this work is to analyze an experience of power generation from biomass by a sugar mill in the province of Tucumán (Argentina), from a socio-technical perspective. For this, we analytically reconstruct the co-construction processes experienced between public policies, technologies, knowledge, specialized human resources and productive practices. Likewise, we propose

to reflect on the scope and limitations of this type of experience to promote new energy transition processes.

The development of this type of experience in the sugar sector of Tucumán, allows generate some reflections in terms of energy transition and its potential for generating sustainable development dynamics. The results obtained from this case study question the linear analysis models based on scaling processes from niches to regime change that predominate in energy transition studies. This work allows us to review these statements, since it shows how the transformation of regimes is not always caused by pressure exerted from niches. The case analyzed allows us to observe an inverse process by which certain elements of the regime were those that favored the formation of the innovation niche.

Keywords: energy transition, multilevel perspective, bioenergy, power cogeneration