

# POTENCIAL DE LA BIOENERGÍA EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN, ARGENTINA. ANÁLISIS Y PERSPECTIVAS DESDE EL CONCEPTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Potencial da Bioenergia na província de Tucumán, Argentina. Análise e Perspectivas a partir do Conceito de Desenvolvimento Sustentável

Sergio Iván BRATICEVIC\*

**Resumen:** La relación entre ambiente y sociedad se plantea como una interacción sumamente compleja, tanto en el campo de las ciencias sociales como naturales, tendiendo diversos puentes epistemológicos. En este panorama, se han promovido diversas energías alternativas para el desarrollo sostenible. En el presente trabajo se analiza, la promoción de la bioenergía para el caso de la Provincia de Tucumán (Argentina), donde se observa un enorme potencial de las energías renovables. Asimismo, como suele suceder con los temas de “agenda pública”, se comienzan a promover novedosas perspectivas, conformando un escenario que merece ser discutido.

**Palabras clave:** Ambiente, Sociedad, Bioenergía, Biomasa, Desarrollo Sostenible.

**Resumo:** A relação entre ambiente e sociedade é apresentada como uma interação sumamente complexa, tanto no campo das ciências sociais quanto naturais, construindo pontes epistemológicas. Neste panorama, as energias alternativas foram promovidas tendo como objetivo o desenvolvimento sustentável. No presente trabalho, analisa-se a promoção da bioenergia para a Província argentina de Tucumán, onde existe um enorme potencial das energias renováveis. Igualmente, como acontece com os temas de “agenda pública”, começam-se a promover novas perspectivas, assentindo um cenário que merece ser discutido.

**Palavras-chave:** Ambiente, Sociedade, Bioenergia, Biomassa, Desenvolvimento sustentável.

## Introducción al concepto de desarrollo sostenible

Según diversos autores, el término “desarrollo sostenible” posee múltiples definiciones a partir de la enunciación original del Informe Brundtland, realizado en 1987 en el marco de la Organización de la Naciones Unidas (ONU). Para no adentrarnos en un debate extensamente largo, que excede los propósitos de este trabajo, sólo nos referiremos a algunos autores de manera muy genérica, previo a adentrarnos al objetivo principal del escrito, que es analizar un estudio de caso específico para el desarrollo de la bioenergía en Tucumán.

De acuerdo con O’Connor (2002), se trata de un concepto polisémico que se puede utilizar casi para cualquier cosa, lo que lo hace sumamente atractivo, especialmente en el uso político del

\* Doctor en Antropología y Licenciado en Geografía por la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires. Correo electrónico: sergiobraticevic@gmail.com.

término. Por su parte, Reboratti (1999) afirma que el concepto de “desarrollo” se relaciona estrechamente con la visión imperante de progreso económico y social, marcando una correlación con la Ilustración de fines del siglo XVIII. Una idea de proceso unidireccional hacia el desarrollo.

En esta dirección, la “invención del desarrollo” tuvo como obligación llevar adelante un programa para traspasar los avances científicos y los progresos industriales a las regiones “insuficientemente desarrolladas”. No era un objetivo menor, sino ni más ni menos que el de crear las condiciones necesarias para reproducir en todo el mundo los rasgos característicos de las sociedades avanzadas de la postguerra en el siglo XX: altos niveles de industrialización y urbanización, tecnificación de la agricultura, rápido crecimiento de la producción material de los niveles de vida, y adopción generalizada de la educación y los valores culturales modernos (ESCOBAR, 1998, p. 20).

Por otra parte, se dio enorme preponderancia a la mayor producción de bienes, teniendo siempre en cuenta el volumen y no la distribución del producto. De ahí también la importancia que adquirió la medición del Producto Bruto Nacional (PBN). Este indicador, basado en las cifras de contabilidad nacional, parecería tener mayor seriedad ya que la matematización pasa por una garantía de objetividad (RIST, 2002, p. 91).

Asimismo, se crearía a partir de aquel momento una interesante innovación en el término y una nueva dicotomía: *desarrollo versus subdesarrollo*. El concepto pasa a tener un carácter transitivo, asumiendo desde una visión puramente etnocéntrica una unilinealidad evolutiva del mundo desde un estado de atraso y pobreza hacia una fase de riqueza y adelanto casi inevitable, siempre y cuando se siguiese el sendero de los “desarrollados”.

A su vez, esta oposición terminológica tiene su correlato con la nueva organización del sistema mundial de los estados-nación modernos. La antigua relación de dominación entre metrópolis y colonias se transformaría en una novedosa opacidad en la que domina la “igualdad de derecho” entre los diferentes estados, aunque las condiciones materiales de unos y otros sigan siendo disímiles. De todas maneras, este conjunto de metáforas incluye a los *subdesarrollados* al interior de la misma familia de los *desarrollados*, reduciendo así el enfrentamiento entre los opuestos y proponiendo la posibilidad de alcanzar alguna vez ese deseable estado de desarrollo.

Por su parte, se puede aseverar que la “sostenibilidad” es una cuestión simbólica, ideológica y política, antes que un problema exclusivamente ecológico y económico. El concepto original sobre el que se basa es el de resiliencia, que es la capacidad de un ecosistema de volver a su equilibrio anterior luego de recibir un impacto. Sin embargo, y a decir verdad, este equilibrio es algo aparente y los ecosistemas son dinámicos y van modificando constantemente su supuesto “equilibrio”.

En efecto, el desarrollo sostenible se utiliza como un concepto de validez universal y atemporal, que envuelve situaciones diversas, lo cual es sumamente problemático. Según O'Connor (2002) el sistema económico planteado en términos actuales tiende a la destrucción de los recursos naturales. De este modo, la “sostenibilidad” de la economía global podría verse afectada por la misma dinámica depredadora del capitalismo. Así, el autor plantea dos contradicciones: la “primera contradicción” respecto de la naturaleza de acumulación produce crisis recurrentes y autodestrucción; mientras que la “segunda contradicción” se relaciona con la reducción de las ganancias marginales generada por la contradicción entre el capital y la naturaleza asociada a los efectos económicos adversos para el capital.

Expresada de manera sencilla, la segunda contradicción plantea que los intentos de los capitales individuales por defender o restaurar sus ganancias recortando o externalizando sus costos producen un efecto no deseado: la reducción de la “productividad” de las condiciones de producción, lo cual a su vez eleva los costos promedio. A su vez, esto se encuentra sumamente vinculado

con la depredación de los recursos de la tierra, ya que la búsqueda incesante de incrementar la tasa de ganancia tiene a la destrucción de los recursos naturales.

Una posibilidad de capitalismo sostenible definido de como “ecológicamente racional o sagaz” consistiría en presupuestos nacionales que obligaran a pagar impuestos elevados sobre insumos de materias primas y sus productos derivados o de mediano-alto impacto ecológico. Otro paso consistiría en políticas nacionales de gasto que subsidien las “energías limpias”; así como a otras fuentes alternativas. En este sentido, es que se plantea la propuesta del presente trabajo para el desarrollo de la bioenergía en Tucumán, mostrando las enormes posibilidades que posee la biomasa como alternativa ante los combustibles de origen fósil. De manera previa, se muestra un paneo general de la situación a escala global y el estado actual en la República Argentina, para finalmente analizar el estudio de caso específico.

## La bioenergía en la matriz energética mundial

A nivel global, y durante los últimos años, la cuestión de la bioenergía y los biocombustibles ha ido ganando espacio en las agendas públicas de los países en “vías de desarrollo” y, en especial, en América Latina. En este sentido, el estímulo a las energías limpias renovables por parte de los gobiernos nacionales y locales se convierte en una de las prioridades si se tiene en cuenta no sólo la dependencia de los combustibles fósiles en la matriz energética actual, sino también las externalidades negativas derivadas de su utilización, así como otros factores tales como la emisión de gases de efecto invernadero. Asimismo, el uso de este tipo de energías supone diversos “ahorros” en materia medioambiental, económica e institucional.

El término biomasa abarca a una variada serie de fuentes energéticas que van desde la simple combustión de leña para calefacción, hasta las plantas térmicas para producir electricidad (usando como combustible residuos de la producción o, incluso, lo que se denomina cultivos energéticos), pasando por el biogás de los vertederos o lodos de depuradoras o los biocombustibles. De acuerdo a las características particulares que poseen, los residuos pueden provenir de las siguientes actividades: forestales, foresto-industriales, agrícolas, pecuarias, agroindustriales o urbanas.

En particular, la energía derivada de biomasa posee diversas ventajas a la hora de su implementación en los países en desarrollo. Una relación más amigable con el medio ambiente a través de la utilización de residuos provenientes de actividades industriales, agropecuarias y forestales; el reemplazo del petróleo y el gas por fuentes menos contaminantes y más baratas; externalidades positivas

en materia de desarrollo sustentable y empleo rural, son algunos de los enormes potenciales que posee la bioenergía.

El acceso a servicios de energía moderna es señalado como uno de los prerrequisitos para alcanzar las metas de desarrollo del milenio y proveer la plataforma de crecimiento futuro, es decir para contribuir a la erradicación de la pobreza extrema y el hambre. Así, la energía aparece como condición necesaria –aunque no suficiente– del desarrollo sostenible a escala local, nacional y regional, por lo tanto su extracción primaria, transporte, transformación, distribución y consumo deben ser analizados en las dimensiones físico natural, social, económica, cultural y política. Dentro del mundo en desarrollo, el porcentaje de población que depende de la forma tradicional de biomasa varía entre el 23 por ciento para Latinoamérica, al 89 por ciento en África Subsahariana.

Entre los tipos de fuentes de biomasa, se ha destacado históricamente la leña ya que ha sido la primera fuente en abastecer usos energéticos exosomáticos, tales como la cocción y calefacción, necesarios para la alimentación y la protección frente a las inclemencias climáticas. A consecuencia de que aún existen regiones no abastecidas por fuentes modernas de distribución comercial, como la electricidad y otras ligadas a los combustibles fósiles o tecnologías alternativas que aprovechan en forma más eficiente fuentes renovables de abastecimiento local, el uso tradicional de la leña actualmente constituye un elemento vital para la satisfacción de necesidades energéticas diarias de más de 2.000 millones de personas en los países en desarrollo (FAO, 2010).

El consumo promedio mundial de dendrocombustibles es de dos kilos diarios por persona, el que se incrementa en áreas rurales aisladas de la redes de distribución de combustibles y en aquellas en donde el poder calórico ofrecido por las especies vegetales disponibles es relativamente bajo. Dentro de las fuentes renovables de energía, la biomasa cumple con dicha condición según el modo de uso y en la medida que su extracción no supere su umbral de crecimiento medio anual. Ello deriva en la progresiva retracción de la oferta del recurso, trayendo aparejado graves efectos en las dimensiones del desarrollo sostenible, en la social poniendo en riesgo la satisfacción de necesidades energéticas básicas y en la ambiental al incidir en procesos de desertificación y la contaminación de espacios interiores, por mencionar algunas.

## El sistema energético nacional y el desarrollo de la bioenergía

En primer lugar, para realizar una estimación del potencial de biomasa es necesario considerar como tal a toda la materia orgánica de origen vegetal o animal

no fósil, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial, clasificándola de la siguiente forma: biomasa natural, producida en la naturaleza sin la intervención humana; biomasa residual, generada por cualquier actividad humana, principalmente en procesos agrícolas, ganaderos y los del propio hombre, tales como basuras y aguas residuales; biomasa producida, cultivada con el propósito de obtener biomasa transformable en combustible, en algunos casos al conocimiento del recurso disponible como la caña de azúcar, orientada a la producción de etanol para carburante (SECRETARÍA DE ENERGÍA, 2009).

Según las cifras del Balance Energético Nacional (BEN) para el año 2014 un 86,5 por ciento de la oferta total de energía primaria provenía de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón); mientras que un 6,5 por ciento se obtenía sobre fuentes no fósiles renovables no bioenergéticas. Por su parte, el restante 7 por ciento corresponde a leña, bagazo, aceites vegetales (biodiesel), alcoholes vegetales (bioetanol) y otros recursos primarios (cáscara de girasol, licor negro, marlo de maíz, cáscara de arroz y residuos pecuarios). Al igual que lo que ocurre en general a nivel internacional, se verifica el predominio de los combustibles fósiles; aunque el rasgo diferencial característico de la matriz argentina es la participación substancial del gas natural.

Ahora bien, si se compara la estructura de esta matriz con la perteneciente al año 2004, puede identificarse que existió un reemplazo –en términos relativos– de la oferta fósil por la bioenergética (en alrededor de un 4 por ciento). Para aquel año la oferta de combustibles fósiles era de casi un 90 por ciento, mientras que la biomasa suponía apenas algo más del 3 por ciento. En este sentido, se puede observar una tendencia hacia el reemplazo de las fuentes no renovables, que implicó grandes esfuerzos en materia de inversión, realizada principalmente por el Estado Nacional.

La participación relativa de la biomasa en el BEN entre los años 2004 y 2008 osciló alrededor del 3-4 por ciento del total de la oferta energética nacional. Tras diversas intervenciones estimulando la oferta energética de este tipo, se logró alcanzar un 7 por ciento. El gran crecimiento del biodiesel contrasta con el pequeño incremento que se dio para el caso del bioetanol, que posee un gran potencial aún escasamente desarrollado. Para el ejemplo de biodiesel, éste pasó en diez años de ser prácticamente inexistente a un 3,3 por ciento en la actualidad, mientras que el etanol alcanzó un 0,4 por ciento para 2014. Por último, el restante 3,3 por ciento corresponde a la leña y al bagazo (1,4 por ciento cada uno) y a otros primarios (cáscara de girasol, licor negro, marlo de maíz, cáscara de arroz y residuos pecuarios) que representan un 0,5 por ciento.

## Potencialidad en biomasa y bioenergía

Según un estudio publicado en 2009, el WISDOM Argentina, más de un 95 por ciento de la biomasa disponible correspondía a residuos de explotación forestal de plantaciones y formaciones de bosque nativo (excluyendo áreas protegidas). Así, se sugiere que la enorme disponibilidad de los recursos energéticos en biomasa se contraponen con su exigua utilización. De acuerdo con las cifras estimadas por este estudio, alrededor del 83 por ciento estaría disponible comercialmente.

Por su parte, en un documento más reciente se estima que a nivel nacional existe un potencial comercial excedente disponible y accesible de biomasa seca mucho mayor que el estimado para 2009. Este potencial sostenible incluye sólo excedentes de flujos seleccionados de biomasa residual excluyendo la biomasa necesaria para mantener la calidad del suelo. Para efectos de la NAMA-PROBIOMASA se asume de forma conservadora (mientras se concluye la implementación de los planes de ordenamiento territorial) que solamente una mínima parte (5 por ciento) de los residuos comercialmente disponibles de explotación de formaciones de bosque nativo estaría disponible. Se asume que la demanda de biomasa para consumo residencial, industrial y comercial se abastece fundamentalmente de biomasa de formaciones de bosque nativo (NAMA, 2015).

Siguiendo los lineamientos de este documento, los sectores objeto de las Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA) serán los que demuestren el mayor potencial de producción de biomasa de forma más concentrada geográficamente y, podría agregarse, en economías de escala o conglomerados productivos. Así, se afirma que los sectores más preponderantes según su potencial se enumeran siguiendo este orden, de acuerdo a las posibilidades de oferta en el sector de producción primaria y secundaria:

- Foresto-industrial y forestal (residuos de procesamiento de madera y de cosecha);
- Azucarero industrial (bagazo) y de producción primaria;
- Cerealero industrial (arroz, girasol, maní) y de producción primaria (maíz, arroz);
- Pecuario (tambos, *feedlots*, granjas porcinas y avícolas);
- Frutícola (olivo, cítrico y vid; producción primaria e industrial).

## Características de los sistemas de energía a partir de la biomasa

Desde el punto de vista del aprovechamiento energético, la biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido de carbono, un elevado contenido de



oxígeno y compuestos volátiles. Estos compuestos volátiles son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa. El poder calorífico de la biomasa depende mucho del tipo de biomasa considerada y de su humedad. Así normalmente estos valores de poder calorífico de la biomasa se pueden dar en base seca o en base húmeda.

Cabe destacar que, desde el punto de vista ambiental, el aprovechamiento energético de la biomasa no contribuye al aumento de los gases de efecto invernadero, dado que el balance de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera es neutro. En efecto, el CO<sub>2</sub> generado en la combustión de la biomasa es reabsorbido mediante la fotosíntesis en el crecimiento de las plantas necesarias para su producción y, por lo tanto, no aumenta la cantidad de CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera. Al contrario, en el caso de los combustibles fósiles, el carbono que se libera a la atmósfera es el que está fijo a la tierra desde hace millones de años. Desde el punto de vista energético resulta conveniente dividir la biomasa en dos grandes grupos.

Aquella que puede obtenerse en forma natural con un tenor de humedad menor al 60 por ciento, como la leña, paja –entre otros- se la denomina biomasa seca. Este tipo se presta mejor a ser utilizada energéticamente mediante procesos termo-químicos o físico-químicos que producen directamente energía térmica o productos secundarios en la forma de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. Mientras tanto, se designa como biomasa húmeda a la que supera el porcentaje de humedad en un 60 por ciento, como por ejemplo en los restantes vegetales, residuos animales, vegetación acuática. Resulta especialmente adecuada para su tratamiento mediante procesos químicos o, en algunos casos particulares, mediante simples procesos físicos, obteniéndose combustibles líquidos y gaseosos.

Por su parte, los procesos termoquímicos comprenden básicamente la combustión, gasificación y pirolisis, encontrándose aún en etapa de desarrollo la licuefacción directa; mientras que los procesos bioquímicos comprenden los procesos bioquímicos se basan en la degradación de la biomasa por la acción de microorganismos, y pueden dividirse en dos grandes grupos: los que se producen en ausencia de aire (anaeróbicos) y los que se producen en presencia de aire (aeróbicos).

La fermentación anaeróbica, para la que se utiliza generalmente residuos animales o vegetales de baja relación carbono/nitrógeno, se realiza en un recipiente cerrado llamado “digestor” y da origen a la producción de un gas combustible denominado biogás. La fermentación aeróbica de biomasa de alto contenido de azúcares o almidones, da origen a la formación de alcohol (etanol), que, además de los usos ampliamente conocidos en medicina y licorería, es un combustible



líquido de características similares a los que se obtienen por medio de la refinación del petróleo. Las materias primas más comunes utilizadas para la producción de alcohol son la caña de azúcar, mandioca, sorgo dulce y maíz.

## Desarrollo de las energías renovables para la Provincia de Tucumán

La provincia de Tucumán es una fuerte promotora de la producción de energía a partir de fuentes renovables, sustituyendo los combustibles fósiles por biomasa, hidroelectricidad y energía solar, con el objetivo de aportar a la sustentabilidad de las actividades productivas agrícolas y agroindustriales y a la preservación del medio ambiente. Asimismo, Tucumán elaboró un plan, para ajustar proyectos de aprovechamiento hidroeléctrico en las cuencas de los ríos Gastona, Medina, Pueblo Viejo, Angostura, Los Sosas y Lules, en correspondencia con el objetivo de alentar la inversión privada y pública en la generación hidroeléctrica, la regulación de los ríos y el aprovechamiento del recurso agua. Por otra parte, se analiza la concreción de un proyecto de generación de energía eléctrica a partir de energía solar, en el oeste provincial (Valles Calchaquíes), con el fin de eliminar la generación térmica con gasoil en el área y volcar los excedentes en el mercado eléctrico mayorista (MEM).

La potencia instalada supera los 1.000 MW, mayoritariamente centrales térmicas de alto rendimiento que operan con gas natural; 45 MW corresponden a centrales hidroeléctricas. En el año 2012 comenzó a funcionar una nueva central térmica, con capacidad para generar 120 MW, lo que equivale a poco más del 25 por ciento del consumo provincial total, que hasta el presente llegó a un pico máximo de 460 MW. Esto implica que en la provincia, se produce tres veces más energía eléctrica de la que se consume. Esta capacidad de generación convierte a Tucumán en el nodo a partir del cual se distribuye energía eléctrica a la región del Noroeste Argentino y otras provincias, a través del sistema interconectado nacional. En ese sentido, se construyó recientemente un tendido de línea de extra alta tensión de 500 kilovoltios, que une la región Noroeste con la región Noreste, permitiendo el transporte de energía producida en Tucumán y en el sur del país hacia esta región.

En cuanto al bioetanol, el Gobierno Provincial promovió la modificación introducida a la Ley Nacional 26.093 de biocombustibles, que habilita la mezcla de bioetanol que se obtiene de la caña de azúcar con naftas. Con este estímulo, el sector azucarero inició un fuerte proceso de inversión para la adecuación y construcción de nuevas destilerías y deshidratadoras de alcohol, mezcladoras de combustibles y otras inversiones. Por su parte, Tucumán fue la primera provincia

argentina en co-generar energía eléctrica a partir del bagazo de la caña de azúcar y producir biogás a través del aprovechamiento de la industria cítrica. Hacia fines de 2009, un ingenio tucumano, fue el primero en generar energía eléctrica a partir del bagazo de caña de azúcar.

La planta produce 11 megavatios en la primera etapa. También se encuentra avanzada la inversión en un nuevo emprendimiento para la cogeneración de 30 MW. Las inversiones realizadas y proyectadas, por los ingenios tucumanos, convertirán a estas fábricas en verdaderas usinas energéticas. Por último, en 2010 entró en funcionamiento la central térmica a partir de biomasa en el Ingenio Santa Bárbara, con una potencia de 16 MW y una generación eléctrica de 10,8 GWh/año; mientras que el Ingenio La Providencia entre junio y agosto de 2015 (periodo de zafra) generó 5,02 GW/h (MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO, 2015).

## Oferta potencial y desarrollo de la bioenergía en Tucumán

Con el propósito de evaluar la oferta de la provincia, se categorizó a la misma entre directa e indirecta. A continuación se muestra toda la oferta potencial que podría ser transformada como energía alternativa a partir de su utilización. Se entiende, entonces, por oferta directa a la biomasa que se encuentra en campo. Una de las características de la oferta directa es su dispersión territorial. Entre las fuentes directas de biomasa potencialmente disponibles para usos energéticos en la Provincia de Tucumán pueden ser consideradas: el residuo agrícola de cosecha (RAC) de la caña de azúcar y del tabaco, los residuos de cosecha de las plantaciones forestales y las podas o renovación de plantas proveniente del manejo de los cítricos. En relación a los cultivos agrícolas extensivos, como la soja o el maíz, los residuos de cosecha no han sido considerados para usos energéticos ya que bajo la práctica del sistema de siembra directa, los mismos se mantienen sobre el suelo para conservar su fertilidad y estructura.

### *Caña de azúcar*

El cultivo de la caña de azúcar es el más extenso en la provincia y, a su vez, es una importante fuente de biomasa con fines energéticos, tanto si se considera el residuo agrícola de cosecha (RAC) como la generación de bagazo y vinaza en la etapa industrial. Las labores culturales y la industrialización de la caña de azúcar permiten la transformación de sus excedentes en biogás de vinaza y energía eléctrica (cogeneración de bagazo y RAC).

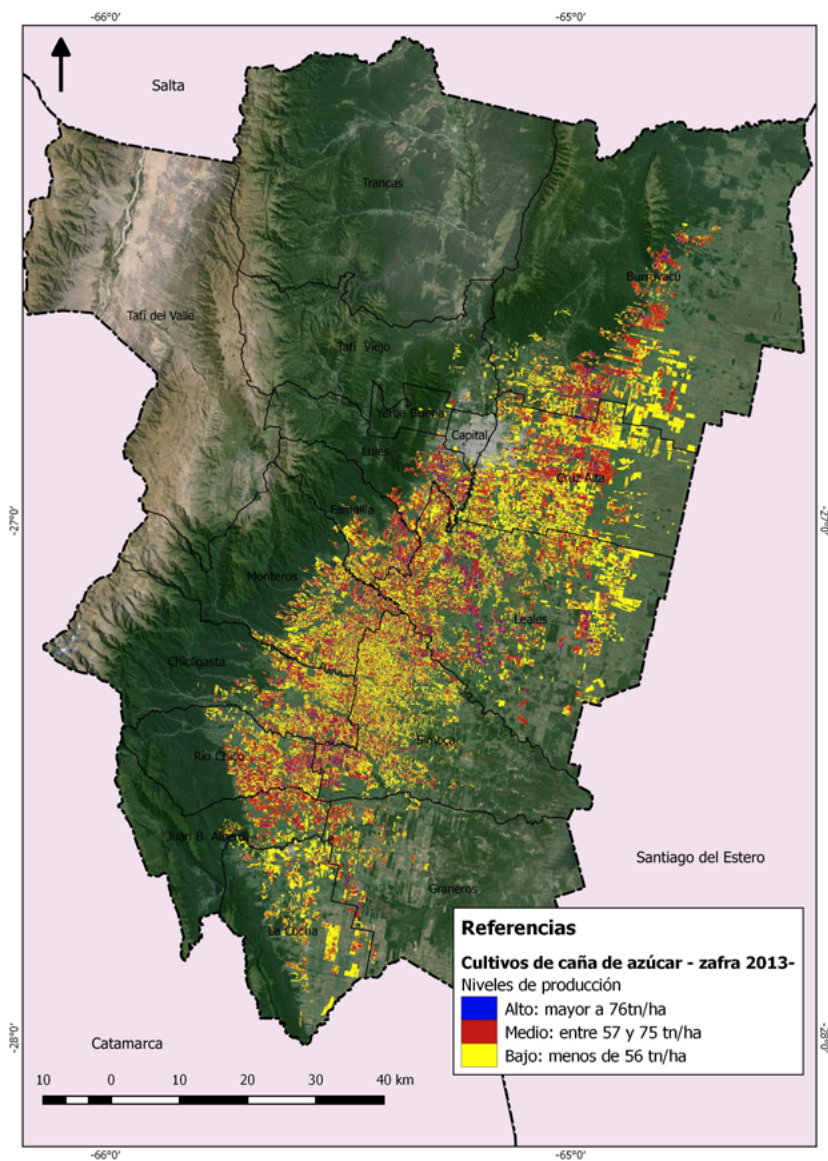
La cantidad de energía teórica que puede obtenerse de una tonelada de caña de azúcar utilizando el bagazo, RAC, el alcohol y la vinaza, es equiparable a la energía que puede obtenerse de un barril de petróleo (EEAOC, 2011). De todos modos, en la actualidad, el bagazo sobrante de la producción de azúcar no deja excedentes ya que se utiliza casi en su totalidad en la generación de vapor para el proceso de fabricación de azúcar y alcohol, aunque también puede usarse para la fabricación de papel o como *chip* para combustión. El volumen de RAC factible de recolección por hectárea de caña de azúcar cultivada depende del rendimiento, la tecnología empleada y las necesidades edáficas de la zona. Ensayos realizados por el PRECOP-INTA (Proyecto de Eficiencia de Cosecha y Postcosecha de Granos) arrojaron un potencial de recolección del residuo de 13tn/ha por año (REYES MONTIEL et al, 2013).

La quema de la caña de azúcar en pie y la posterior quema de los residuos luego de la cosecha es una práctica muy arraigada en la Provincia de Tucumán, que responde a causas culturales, tecnológicas y económicas. Esta actividad disminuye el rendimiento de los suelos, contamina el aire, causa incendios en viviendas y tendidos eléctricos, además de desaprovechar los residuos biomásicos para su utilización como posible fuente de energía (VALEIRO Y SOPENA, 2009).

Actualmente, son diversas las instituciones que buscan soluciones alternativas a esta compleja problemática (INTA, INTI, Universidades, organismos ambientales). Por su parte, la provincia ha legislado al respecto, restringiendo progresivamente la quema de caña. Actualmente, se ha prohibido totalmente cualquier tipo de quema, independientemente del tamaño del productor y se ha creado un Sistema de Certificación de Buenas Prácticas. El empleo del RAC con fines energéticos es una alternativa que convierte a este residuo en un insumo que contribuye al ingreso económico del productor, evitando las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), entre otros impactos ambientales.

El cultivo de caña de azúcar se desarrolla al este de la provincia sobre la llanura comprendida dentro de la provincia fitogeográfica Chaqueña (Mapa 1). Los límites de este cultivo están definidos al oeste por las características climáticas y topográficas de la zona (pendientes y altas temperaturas) y al este por la expansión de los cultivos de granos como la soja, maíz, trigo. Así, el sector cañero podría aportar al sistema 1.184.273 tn/año de residuos biomásicos.

**Mapa 1.** Niveles de producción de caña de azúcar. Zafra 2013.



Fuente: elaboración propia en base a EEAOCa (2013).

### Cítricos

En Argentina existen 46.794 hectáreas destinadas al cultivo del limón de las cuales el 82 por ciento se ubican en Tucumán, con una producción de 1,3 millones de toneladas. De manera reciente, el limón ha desplazado fuertemente a los otros cítricos. Asimismo, después de la crisis de la industria azucarera de

mediados del sesenta se ha instalado en antiguas zonas cañeras y constituye hoy el segundo sector agroindustrial de la provincia. En la actualidad, Argentina ocupa el tercer puesto en el *ranking* mundial del cultivo del limón, con un volumen de 1,5 millones de toneladas y lidera su industrialización, con casi el 45 por ciento del total mundial (EEAOCb, 2013).

Un significativo porcentaje de la superficie destinada a este cultivo se localiza en el territorio metropolitano, en el sector del piedemonte. Aproximadamente el 70 por ciento de la producción de limón se destina a la elaboración de jugos concentrados, aceite esencial y cáscara deshidratada. El restante 30 por ciento se comercializa en fresco. Tanto en lo que hace a la producción primaria como industrial, la actividad limonera de Tucumán es estructuralmente exportadora.

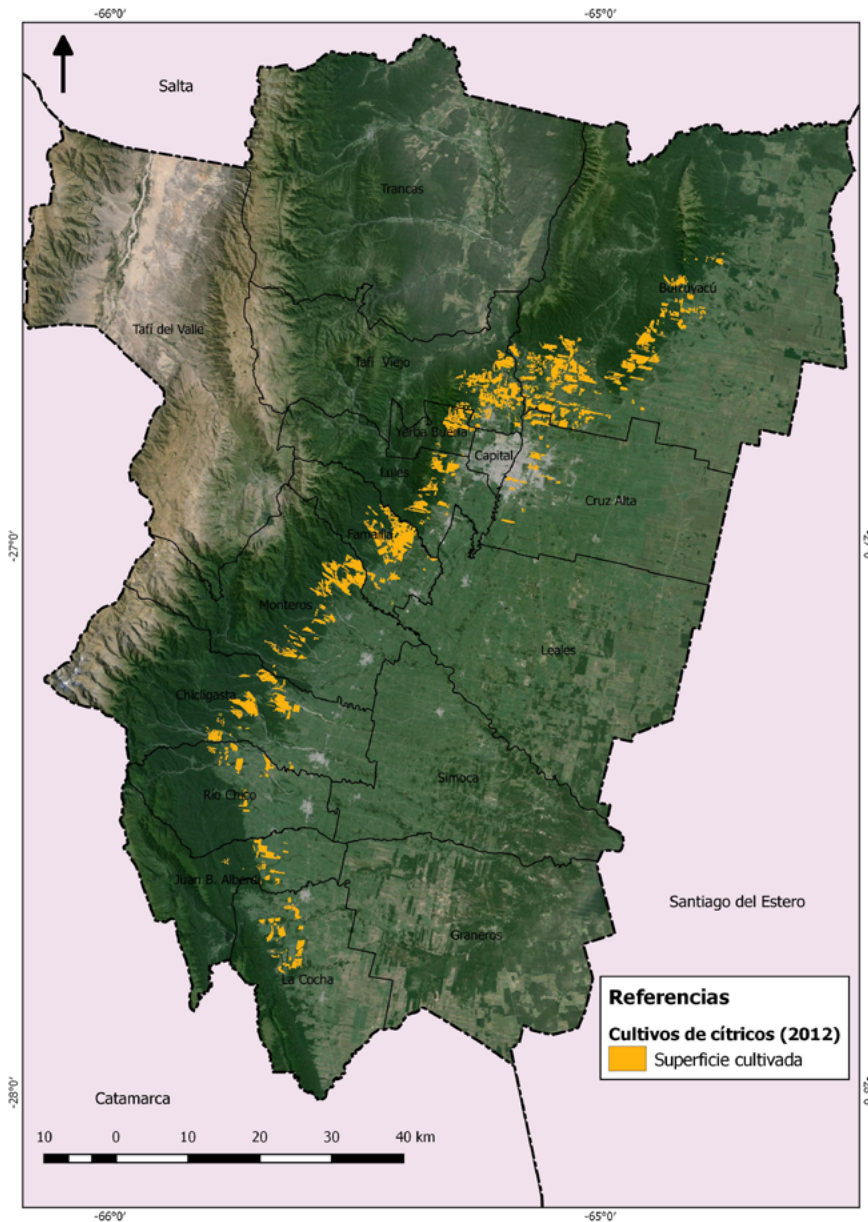
El jugo concentrado es el primer derivado del procesamiento del limón y se destina fundamentalmente a la elaboración de gaseosas y otras bebidas sin alcohol. El aceite esencial se destina a la industria de bebidas no alcohólicas y, en menor medida, a los cosméticos y farmacéuticos. Es el producto de mayor valor unitario del complejo. En la citricultura tucumana son prácticamente inexistentes las fincas minifundistas. En toda la provincia existen seis industrias cítricas y 40 empaquetadoras registradas, de las cuales 30 se ubican en la zona metropolitana de San Miguel (DAMI, 2014).

La oferta de biomasa seca del cultivo de cítricos proviene de los residuos de poda y reemplazo de plantas. Actualmente, las cinco cítricas más importantes de la provincia retornan al campo esta biomasa, cumpliendo con las exigencias ambientales de sus clientes. Los residuos de poda ascienden a 1,5 tn/ha anuales. Asimismo, es considerable el reemplazo de plantaciones por vejez y heladas, por lo que para el presente trabajo se consideró un residuo biomásico seco anual de 3tn/ha.

Los resultados del análisis arrojaron una estimación de 1.184.273 tn/año de residuos provenientes de los cultivos de cítricos. Los departamentos de Burruyacú con 30.370 tn/año y Tafí Viejo con 11.844 tn/año son las unidades administrativas con los valores más altos de producción de residuos biomásicos con potencial para aprovechamiento energético. El cultivo se ubica principalmente en la zona del pedemonte y se extiende desde el departamento de Burruyacú al nordeste hasta La Cocha al sur de la provincia (Mapa 2). Esta distribución longitudinal de la zona cítrica se debe a limitaciones por temperatura hacia el este, donde la intensidad de las heladas aumenta y hacia el oeste por la topografía donde las pendientes impiden el desarrollo del cultivo (PÉREZ, 2001).



Mapa 2. Superficie cultivada de cítricos. Campaña 2012.



Fuente: elaboración propia en base a EEAOCb (2013).

### Forestaciones

Las actividades de poda y raleo y los residuos de cosecha de las plantaciones forestales representan una oferta de biomasa potencialmente utilizable con fines

energéticos. Para la determinación del volumen del rodal es necesario conocer su ubicación y superficie. Además, para su cuantificación, se requiere que la superficie del rodal esté acompañado de otros atributos, tales como edad, especie, densidad y si es posible, diámetro cuadrático medio. En la Provincia de Tucumán, se contabilizaron doce especies forestales pertenecientes a cinco géneros con un total de alrededor de 3.000 hectáreas plantadas para el año 2014. El pino constituye el 75 por ciento del total de la superficie forestada. Los resultados de este análisis indican que el sector forestal de la provincia aportaría 4.709 tn/año de recursos biomásicos con fines energéticos.

### *Tabaco*

La actividad tabacalera en Argentina se concentra principalmente en las provincias de Salta, Jujuy, Misiones, Tucumán, Chaco, Corrientes y Catamarca. En el caso de las dos primeras provincias predomina el cultivo de la variedad Virginia y en las restantes, la producción se concentra en las variedades Burley y Criollos. El 98,8 por ciento de la superficie de tabaco cultivada en Tucumán corresponde a la variedad Burley, mientras que el 1,2 por ciento restante se dedica al tipo Virginia. Este cultivo se desarrolla en cuatro departamentos del sur de la provincia (en la totalidad de áreas cultivables de La Cocha y Alberdi, en el sur de Río Chico y en el oeste de Graneros) y en el departamento Trancas del norte tucumano. En tanto que, la producción de la variedad Virginia, se extiende a lo largo de la Cuenca Tapia-Trancas ubicada al norte de la provincia, que se corresponde con la continuidad de la faja de cultivo de esta variedad en el Valle de Lerma (Provincia de Salta). El 85 por ciento de los predios dedicados al tabaco en la provincia corresponden a pequeños productores con superficies cultivadas menores a 5 ha (CORRADINI, 2005).

La cosecha del tabaco Virginia se realiza hoja por hoja quedando en campo el resto de la planta como residuo biomásico. Las fuentes consultadas indican que la relación residuo-producto es de 0,5. A los fines del análisis espacial de la oferta potencial de biomasa, se consideró un rendimiento de 2,2 tn/ha anuales y un índice de disponibilidad de 0,85 por lo que se estimó que cada hectárea cultivada de tabaco Virginia generaría 0,94 tn/año de residuo biomásico (MANRIQUE Y FRANCO, 2012). Cabe aclarar que, para este análisis, la variedad Burley se desestimó dado que no deja residuos significativos en campo, ya que se cosecha la planta entera y el corte de las hojas se realiza en los secaderos. Los residuos que se producen en esos establecimientos se analizan en el módulo de oferta indirecta. El análisis efectuado arrojó un potencial de biomasa disponible de 274 tn/año.



**Cuadro 1.** Oferta directa por fuente y departamento. 2015.

Departamento	Oferta Directa (tn/año)			
	Cultivos			
	Caña de Azúcar	Cítricos	Forestaciones	Tabaco Virginia
Burruyacú	130.827,5	30.370,2	1.157,7	0,0
Cruz Alta	209.180,5	4.539,8	36,4	0,0
Chicligasta	77.880,1	5.730,5	221,7	0,0
Famaillá	41.561,6	8.583,3	1.298,6	0,0
Graneros	30.651,9	0,0	101,4	0,0
Juan B. Alberdi	35.743,2	2.252,8	75,1	0,0
La Cocha	49.720,0	3.126,3	31,2	0,0
Leales	257.716,2	0,0	70,5	0,0
Lules	38.681,8	5.371,4	818,8	0,0
Monteros	92.491,1	6.895,3	200,8	0,0
Río Chico	59.487,9	2.445,6	27,4	0,0
Capital	996,6	15,0	0,0	0,0
Simoca	154.930,1	0,0	11,1	0,0
Tafí del Valle	0,0	0,0	0,0	0,0
Tafí Viejo	3.507,8	11.844,5	591,3	0,0
Trancas	0,0	0,0	0,0	274,4
Yerba Buena	897,0	2.961,8	66,8	0,0
<b>Subtotales</b>	<b>1.184.273,2</b>	<b>84.136,4</b>	<b>4.709,0</b>	<b>274,4</b>
<b>Aporte Relativo</b>	<b>93,0%</b>	<b>6,6%</b>	<b>0,4%</b>	<b>0,02%</b>
<b>Totales</b>	<b>1.273.393,0</b>			

Fuente: elaboración propia en base a Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Dirección de Producción Forestal y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

Por su parte, la oferta indirecta es la resultante de algún proceso de transformación industrial o manufacturera. Este residuo o subproducto, a diferencia de la biomasa considerada como oferta directa, se encuentra más concentrado espacialmente. En la Provincia de Tucumán la oferta indirecta está determinada por los subproductos como el bagazo que se genera en los ingenios a partir de la transformación de la caña de azúcar, los residuos de la foresto-industria como costaneros, despuntes, virutas, aserrín, corteza y astillas, y los resultantes de las tareas de secado y acopio del tabaco.

### *Ingenios*

Para el caso de la oferta indirecta, en la Provincia de Tucumán operan 15 ingenios cuya producción de azúcar representa el 65 por ciento del total nacional. Los tallos verdes al ser molidos en el trapiche se separan en un jugo azucarado y en un residuo fibroso, denominado bagazo, que representa el 30 por ciento de la caña molida. El mismo se queda con un 50 por ciento de humedad (REYES MONTIEL et al, 2013, ROCA ALARCÓN et al, 2006). Sin embargo, del total de los ingenios tucumanos, hay cinco que desmedulan el bagazo para vender la fibra a la industria del papel. En esos casos, sólo el 2 por ciento del bagazo generado es destinado al desmedulado. Así, se estimó para la zafra de 2013 alrededor de 3.8 millones de toneladas (que representa casi el total de la oferta indirecta provincial).

### *Secaderos de tabaco*

En Tucumán el tabaco Burley es la variedad cultivada con mayor extensión. La técnica de cosecha de este tabaco no deja residuos en campo. Éstos son generados en los secaderos, donde se cortan las hojas de cada planta y queda como remanente el tallo. Durante el secado de esta variedad pueden obtenerse algunos desperdicios que pueden ser aprovechados para la generación de energía. Este proceso se realiza en secaderos con techos y cortinas sin paredes, permitiendo la circulación de aire. Las hojas recolectadas son atadas con un hilo plástico y luego, colgadas bajo estos galpones para la realización del “curado” (CORRADINI, 2005).

De acuerdo a la información brindada por la EEAOC, la superficie de tabaco Burley sembrada en la campaña 2008-2009 fue de 3.400ha. Como cada hectárea de tabaco aporta alrededor de 1,08 tn de residuo por año, se estimó que en la provincia se generan 3.672 tn de residuos. Considerando que hay un total de 805 galpones que secan tabaco, se calculó que cada uno oferta 4,6 tn/año de residuo.

### *Acopio de tabaco*

Luego de ser cosechado y secado, el tabaco es enfardado y enviado a centros de acopio, en donde se realizan tareas de clasificación, acondicionado y descarte, las cuales generan residuos biomásicos aprovechables con fines energéticos. Esta oferta representa aproximadamente el 5 por ciento de la materia prima ingresada a los centros de acopio (PLAZA et al, 1999). Los valores acopiados fueron consultados en la sección “Tabaco” del MAGyP para la campaña 2012-2013. Los departamentos que aportarían residuo de tabaco para uso energético son La Chocha y Juan B.

Alberdi con 597 y 162 tn/año respectivamente. En el análisis estos valores de oferta fueron ingresados a nivel departamental.

### Bodegas

Los residuos generados en el proceso de vinificación que se tienen en cuenta en este estudio son los residuos sólidos orgánicos (orujos, borras y escobajos) producto del prensado de la uva, el despalillado de racimos y también el precipitado sólido del vino. El Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV) informó la ubicación y cantidad de producto procesado de las tres bodegas localizadas en el territorio provincial. De acuerdo a esta misma fuente, la biomasa residual potencialmente disponible asciende al 7,85 por ciento del volumen de uva procesado en cada bodega.

**Cuadro 2.** Oferta indirecta por fuente y departamento.

Departamento	Oferta Indirecta (tn/año)			
	Ingenios	Secaderos de tabaco	Acopiadores	Bodegas
Burruyacú	0,0	0,0	0,0	0,0
Cruz Alta	1.154.277,9	0,0	0,0	0,0
Chicligasta	590.122,8	0,0	0,0	0,0
Famaillá	272.379,4	0,0	0,0	0,0
Graneros	0,0	372,6	0,0	0,0
Juan B. Alberdi	142.151,7	644,0	161,8	0,0
La Cocha	0,0	1.577,8	597,0	0,0
Leales	473.518,5	0,0	0,0	0,0
Lules	0,0	0,0	0,0	0,0
Monteros	840.687,3	0,0	0,0	0,0
Río Chico	303.451,8	13,8	0,0	0,0
Capital	0,0	0,0	0,0	0,0
Simoca	0,0	0,0	0,0	0,0
Tafí del Valle	0,0	0,0	0,0	28,9
Tafí Viejo	0,0	0,0	0,0	0,0
Trancas	0,0	0,0	0,0	0,0
Yerba Buena	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Subtotales</b>	<b>3.776.589,3</b>	<b>2.608,2</b>	<b>758,8</b>	<b>28,9</b>
<b>Totales</b>	<b>3.779.985,2</b>			

Fuente: elaboración propia en base a Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca e Instituto Nacional de Vitivinicultura.

Considerando los recursos biomásicos existentes, aproximadamente el 70 por ciento de la oferta directa se distribuye a lo largo de la llanura central de la provincia, en los departamentos de Leales, Cruz Alta, Burruyacú, Simoca y Monteros. Esta oferta se deriva, esencialmente, del cultivo de caña de azúcar y, en menor medida, del manejo del cultivo cítrico. Una particularidad de la cadena productiva azucarera, en su etapa industrial, es que al mismo tiempo que es una gran generadora de biomasa, es también, una gran consumidora de sus propios residuos o subproductos cogenerando energía. En este sentido, es la principal generadora de oferta indirecta. De todos modos, lo que se intenta mostrar con las cifras analizadas es el potencial aún disponible para el desarrollo de la bioenergía, que para el caso de los ingenios posee una concentración espacial que reduce los costos de transporte y le brinda mayores posibilidades de crecimiento. Por lo general, las energías alternativas observan un problema que impide su desarrollo: la dispersión geográfica de sus fuentes y su escasa capacidad de almacenamiento.

Para el ejemplo de Tucumán, las principales ofertas se relacionan con la caña de azúcar y los cítricos, que poseen un patrón territorial relativamente compacto en varios sentidos. Tanto las plantaciones de uno como de otro cultivo se localizan a lo largo del principal eje de urbanización de la provincia, a la vez que allí se encuentran los ejes de circulación más importantes, brindando una excelente conectividad para el transporte de la biomasa. Esto hace que Tucumán posea un enorme potencial para el desarrollo de la bioenergía que merece ser explotado.

## Consideraciones finales

A lo largo del presente trabajo se intentó dar cuenta de las potencialidades que poseen las energías renovables, en especial la bioenergía generada a partir del aprovechamiento de biomasa, en el marco de un desarrollo más sostenible en la Provincia de Tucumán. A decir verdad, resulta muy difícil establecer una relación directa entre la sostenibilidad y el desarrollo de las energías alternativas. De todos modos, la principal intención de esta investigación fue mostrar las enormes potencialidades que ofrecen los “cultivos energéticos” a la hora de pensar el desarrollo de energías no contaminantes o, al menos, con mucho menor impacto que las de origen fósil. Asimismo, existen diversas fuentes que también tienen una gran viabilidad, como las energías de origen eólico, hidroeléctrica, solar, geotérmica, entre otras.

En efecto, si se considera la gran diversidad de fuentes de biomasa con destino energético, la oferta existente se traduce en millones de toneladas de material biomásico factible de ser utilizado para la generación de energía limpia.

En este sentido, vale la pena aclarar que se trata de cálculos aproximados con el propósito de mostrar el potencial existente en la provincia, mientras que sólo se estimó la cantidad de biomasa sin realizar un cálculo energético preciso, hecho que demandará de investigaciones aún más profundas con el fin de estimar todo el potencial y su transformación en energía aprovechable. De cualquier manera, la utilización del bagazo y el residuo agrícola de cosecha en las calderas de los ingenios para la generación de energía posee una gran importancia, hecho que demuestra el eficiente aprovechamiento de la biomasa como fuente energética.

Por último, se plantea actualizar las fuentes, profundizar las investigaciones y promover el desarrollo de este tipo de energía, actualmente subutilizado. Todo esto, con el fin de aprovechar los residuos de diferentes cultivos que hoy en día no se emplean. Así, se abren enormes chances para un desarrollo realmente sostenible en la producción agroindustrial en su fase final, transformando los residuos de cosecha en energía limpia.

## Bibliografía

- BANCO MUNDIAL. *Importaciones de energía, valor neto* (porcentaje del uso de energía). Disponible en: <<http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.IMP.CON.S.ZS>>. Acceso el: 8 nov. 2015.
- CORRADINI, E. *Caracterización del sector productor tabacalero en la República Argentina*. Buenos Aires: Universidad Católica Argentina, 2005.
- DAMI. *Programa de Desarrollo de Áreas Metropolitanas del Interior*. Buenos Aires: Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda, 2014.
- ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGROINDUSTRIAL OBISPO COLOMBRES. *Relevamiento satelital de los principales cultivos de la Provincia de Tucumán*. Las Talitas, Tucumán: EEAOC, 2013a.
- \_\_\_\_\_. *Reporte Agroindustrial: estadísticas y márgenes de cultivos tucumanos. Producción y comercialización del limón en Tucumán en el año 2012*. Las Talitas, Tucumán: EEAOC, 2013b.
- \_\_\_\_\_. *Reporte Agroindustrial. Estadísticas y márgenes de cultivos tucumanos*. Las Talitas, Tucumán: EEAOC, 2011.
- ESCOBAR, A. *Encountering Development*. Princeton University Press, 1998.
- FAO. *Evaluación de los recursos forestales mundiales*. Informe Nacional Argentina. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2010.
- \_\_\_\_\_. *Análisis espacial de la producción y consumo de biocombustibles aplicando la metodología de "Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles"*. Buenos Aires: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2009.
- MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO. *Tucumán Polo de Inversión Productivo*. San Miguel de Tucumán: Gobierno de Tucumán, 2015.
- NAMA PROBIOMASA. *NAMA Para la Promoción de la Energía Derivada de Biomasa*. Buenos Aires, 2015.
- O'CONNOR, J. ¿Es posible el capitalismo sostenible? En: ALIMONDA, H. (Comp.). *Ecología política. Naturaleza, sociedad y utopía*. Buenos Aires: CLACSO, 2002. p. 27-52.

PÉREZ, D. *Los citrus en el noroeste argentino*. Su cadena productiva. Las Talitas, Tucumán: EEAOC-CFI, 2001.

PLAZA, G., TEJERINA W. y PACHECO O. Gestión de Residuos en la planta de preindustrialización de la hoja de tabaco en Rosario de Lerma, Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Salta, n. 3, p. 113-116, 1999.

REBORATTI, C. *Ambiente y sociedad*. Conceptos y relaciones. Buenos Aires: Ariel, 1999.

REYES MONTIEL, J., PEREZ BERMUDEZ, R. y BETANCOURT MENA, J. *Uso de la biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental*. Buenos Aires: INTA, 2013.

RIST, G. *El desarrollo: historia de una creencia occidental*. Madrid: La Catarata, 2002.

ROCA ALARCÓN, G., GLAUCO SÁNCHEZ, C., E., OLIVARES GÓMEZ y BARBOSA CORTEZ, L. Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. Parte I: características físicas. *Proceedings of the 6 Encontro de Energia no Meio Rural*. Campinas: NIPE/Unicamp, 2006.

SECRETARÍA DE ENERGÍA. *Energías Renovables*. Diagnóstico, barreras y propuestas. Buenos Aires: Área de Energías Renovables, Dirección Nacional de Promoción, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, 2009.

VALEIRO, A. Y SOPENA, R. *Quema en caña de azúcar*. Tucumán: INTA, EEA Famaillá, 2009.