

VALORIZACIÓN DE BIOMASAS RESIDUALES: CUANTIFICACIÓN DE LA RESERVA ENERGÉTICA DISPONIBLE EN RL ORUJO DE LA INDUSTRIA VITIVINÍCOLA A TRAVÉS DE LA GASIFICACIÓN SOLAR DE BIOMASA

*Dr. Juan Manuel Leiva Butti
Licenciatura en Logística – FCE
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Cuyo
Instituto CEDIAC – CONICET, Becario Interno Posdoctoral*

Introducción

El presente trabajo aborda el potencial aprovechamiento energético del Orujo a través de un nuevo proceso productivo denominado Gasificación Solar de Biomasa. El resultado de este proceso es un gas combustible, que además de combustionado puede ser aprovechado como un insumo para la industria química en la producción de metanol, lubricantes, y biocombustibles líquidos. En este trabajo se estima la producción anual de orujo en la Provincia de Mendoza, el país, y el mundo. Se determina la potencial producción anual de gas de síntesis y de energía resultante del aprovechamiento del residuo.

Este trabajo se apoya en los resultados de la Tesis Doctoral del autor (Leiva Butti, 2023).

Metodología y Resultados

En la provincia de Mendoza, anualmente se generan entre 310.000 y 464.000 toneladas de orujo como subproducto de la actividad vitivinícola. Estas cifras se derivan de una estimación que está detallada en la Tabla 1. Los datos se basan en la información publicada por el Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV) sobre uva destinada a elaboración de vino y mostos (Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2024). Para dicha estimación se considera que de cada kilogramo de uva se obtiene entre un 20% y un 30% de orujo (Dwyer et ál., 2014). Es importante destacar que la producción de orujo en la Provincia de Mendoza representa el 70,1% del total nacional, y que el 83,3% de dicha producción se concentra en el Oasis Norte.

Asimismo, se estima que la producción mundial de orujo oscila entre 6.675.000 y 12.300.000 toneladas al año, según se detalla en la Tabla 1. Estas estimaciones se basan en los datos de producción global de vino publicados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT, 2024), asumiendo que para cada 100 litros de vino se necesitan entre 122 y 150 kilogramos de uva, con el mismo porcentaje de orujo en masa que se mencionó anteriormente.

Tabla 1 – Estimación de la producción anual de orujo en Mendoza, Argentina y el Mundo.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Promedio
<u>Uva destinada a Elaboración de vinos y mostos [ton] (Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2024)</u>												
Argentina	2.786.057	2.588.662	2.338.187	1.704.094	1.921.517	2.515.966	2.424.893	2.004.805	2.004.805	2.004.805	2.004.805	2.208.963
Mendoza	1.996.023	1.813.668	1.692.912	1.027.903	1.268.841	1.718.590	1.714.108	1.448.637	1.448.637	1.448.637	1.448.637	1.547.872
Oasis Norte	1.688.640	1.552.723	1.446.457	853.234	1.090.710	1.483.296	1.489.967	1.245.473	1.357.800	1.130.909	837.449	1.288.787
Oasis Sur	185.520	149.314	133.951	92.257	89.740	118.769	99.586	105.699	95.128	95.740	32.033	108.885
Oasis Centro	121.863	111.631	112.503	82.411	88.392	116.524	124.556	97.466	116.790	105.235	91.398	106.252
<u>Producción Mundial de Vino [ton] (FAOSTAT, 2024)</u>												
Mundo	29.273.888	28.060.962	28.500.901	27.439.916	25.212.221	29.057.976	26.904.223	26.765.360	26.603.540	N/D	N/D	27.552.779
<u>Estimación de la producción de orujo basada en 20 % a 30 % en masa de la uva utilizada [miles de ton] (Dwyer et ál., 2014)</u>												
Oasis Norte	338 - 507	311 - 466	289 - 434	171 - 256	218 - 327	297 - 445	298 - 447	249 - 374	272 - 407	226 - 339	167 - 251	258 - 387
Mendoza	399 - 599	363 - 544	339 - 508	206 - 308	254 - 381	344 - 516	343 - 514	290 - 435	290 - 435	290 - 435	290 - 435	310 - 464
Argentina	557 - 836	518 - 777	468 - 701	341 - 511	384 - 576	503 - 755	485 - 727	401 - 601	401 - 601	401 - 601	401 - 601	442 - 663
Mundo asumiendo 122 kg de uva/100L de vino	7.143 - 10.714	6.847 - 10.270	6.954 - 10.431	6.695 - 10.043	6.152 - 9.228	7.090 - 10.635	6.565 - 9.847	6.531 - 9.796	6.491 - 9.737	N/D	N/D	6.674 - 10.012
Mundo asumiendo 150 kg de uva/100L de vino	8.782 - 13.173	8.418 - 12.627	8.550 - 12.825	8.232 - 12.348	7.564 - 11.345	8.717 - 13.076	8.071 - 12.107	8.030 - 12.044	7.981 - 11.972	N/D	N/D	8.206 - 12.309

Para las bodegas y viñedos, el orujo representa un desecho del cual necesitan deshacerse. A través de conversaciones personales con expertos de la industria vitivinícola en la Provincia de Mendoza (C. Bajuk, comunicación personal, 13 de julio de 2016; M. F. Gonzalez, comunicación personal, 13 de julio de 2016) y funcionarios gubernamentales del sector (G. E. Pisi, comunicación personal, 14 de julio de 2016), se confirmó que retener el orujo en las instalaciones de la bodega conlleva problemas de espacio, riesgos de incendio y plagas. Además, no genera beneficios económicos para la empresa, sino que implica costos asociados a su eliminación. Este es un servicio proporcionado por las empresas de gestión de residuos vinícola.

De acuerdo con uno de los expertos consultados (M. F. Gonzalez, comunicación personal, 13 de julio de 2016), una opción contemplada por las bodegas para darle algún uso al residuo es emplear el orujo directamente como fertilizante en los viñedos. Sin embargo, esta práctica se evita debido al riesgo de incendios originado por el viento Zonda. Por otra parte, se señaló que algunos establecimientos recurren a la práctica ilegal de abandonar el residuo en terrenos apartados.

A pesar de ser considerado un residuo, el orujo cuenta con un considerable potencial energético. Su poder calorífico inferior (PCI) es 19,729 MJ/kg_{seco} (Marculescu & Ciuta, 2013). Para ponerlo en contexto, 1 m³ de gas natural de 9300 kcal, libera 35,1 MJ de calor cuando se quema (PCI). Sin embargo, al momento de su producción, el orujo contiene un alto porcentaje de humedad, oscilando entre el 55% y el 75% en masa húmeda (García-Lomillo & González-SanJosé, 2017). Considerando el escenario menos favorable (20% de orujo por kilogramo de uva utilizada y 75% de humedad en el orujo), se estimó el potencial energético del orujo producido en Mendoza y Argentina. Los resultados se detallan en la Tabla 2. Esta tabla muestra que, en promedio durante los últimos diez años, se dispone de un total de 1527 TJ_t (424,2 GWh_t) de energía térmica disponible por año si se aprovechara el orujo producido en Mendoza por combustión. Para Argentina, este valor se eleva a 2179 TJ_t/año (605,3 GWh_t/año). En el caso más favorable (30% en masa de orujo por uva utilizada y 55% de humedad en el orujo), las estimaciones alcanzan los 4123 TJ_t/año (1145 GWh_t/año) y 5883 TJ_t/año (1634 GWh_t/año) para Mendoza y Argentina, respectivamente.

Para comprender mejor la magnitud de este potencial energético, en la Tabla 2 también se incluyen los datos sobre el consumo de gas natural en Mendoza y Argentina (Ente Nacional Regulador del Gas, 2024). Se detalla el consumo tanto de usuarios industriales como de la rama de actividad "Bebidas", que abarca la producción de vinos, malta y bebidas malteadas, bebidas alcohólicas y aguas minerales. Es importante tener en cuenta que, según la normativa, las 9300 kcal/m³ (equivalentes a 38,83 MJ/m³) corresponden al poder calorífico superior (PCS) (Ente Nacional Regulador del Gas, 2019), mientras que el calor obtenido de la combustión del gas corresponde al PCI. Se consideró este último como 35,1 MJ/m³ en base a la relación entre el PCI y el PCS del metano.

Tabla 2 – Potencial energético anual del orujo en Mendoza, Argentina y el Mundo.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Promedio
Potencial energético del orujo producido¹ [TJ]												
Argentina	2.748 - 7.420	2.554 - 6.895	2.307 - 6.228	1.681 - 4.539	1.895 - 5.118	2.482 - 6.701	2.392 - 6.458	1.978 - 5.340	1.978 - 5.340	1.978 - 5.340	1.978 - 5.340	2.179 - 5.883
Mendoza	1.969 - 5.316	1.789 - 4.831	1.670 - 4.509	1.014 - 2.738	1.252 - 3.379	1.695 - 4.577	1.691 - 4.565	1.429 - 3.858	1.429 - 3.858	1.429 - 3.858	1.429 - 3.858	1.527 - 4.123
Oasis Norte	1.666 - 4.498	1.532 - 4.136	1.427 - 3.853	0.842 - 2.273	1.076 - 2.905	1.463 - 3.951	1.470 - 3.968	1.229 - 3.317	1.339 - 3.616	1.116 - 3.012	0.826 - 2.230	1.271 - 3.433
Consumo de gas natural [miles de m³ de 9300 kcal] (Ente Nacional Regulador del Gas, 2024)												
Argentina ²	1.924.759	1.874.776	1.905.652	1.823.336	1.837.162	1.821.465	1.783.724	1.647.940	1.848.327	1.852.687	1.828.334	1.822.005
Usuarios Industriales ²	387.982	400.550	416.960	378.944	372.035	416.945	412.533	406.868	438.885	444.985	424.740	392.713
Rubro Bebidas ³	2.606	2.937	3.213	3.138	3.475	5.515	6.579	6.321	5.877	4.824	4.145	4.514
Mendoza ²	32.001.672	30.761.233	31.297.626	31.068.504	31.192.157	31.646.540	30.363.908	29.126.987	30.410.681	30.627.043	29.629.779	31.124.708
Usuarios Industriales ²	9.132.122	9.184.213	9.271.760	8.558.847	9.110.930	9.580.788	9.905.237	10.048.991	9.570.097	9.551.048	9.664.788	9.430.712
Rubro Bebidas ³	109.995	124.765	136.668	135.645	139.257	146.477	142.711	142.649	151.158	163.049	187.888	126.714
Consumo de gas natural en base a PCI de 35,1 MJ/m³ [TJ]												
Argentina ²	1.123.259	1.079.719	1.098.547	1.090.504	1.094.845	1.110.794	1.065.773	1.022.357	1.067.415	1.075.009	1.040.005	1.078.930
Usuarios Industriales ²	320.537	322.366	325.439	300.416	319.794	336.286	347.674	352.720	335.910	335.242	339.234	330.511
Rubro Bebidas ³	3.861	4.379	4.797	4.761	4.888	5.141	5.009	5.007	5.306	5.723	6.595	5.042
Mendoza ²	67.559	65.805	66.888	63.999	64.484	63.933	62.609	57.843	64.876	65.029	64.175	64.291
Usuarios Industriales ²	13.618	14.059	14.635	13.301	13.058	14.635	14.480	14.281	15.405	15.619	14.908	14.364
Rubro Bebidas ³	91	103	113	110	122	194	231	222	206	169	145	155
Razón entre potencial energético del orujo producido en Argentina y el gas consumido												
Argentina ²	0,2% - 0,7%	0,2% - 0,6%	0,2% - 0,6%	0,2% - 0,4%	0,2% - 0,5%	0,2% - 0,6%	0,2% - 0,6%	0,2% - 0,5%	0,2% - 0,5%	0,2% - 0,5%	0,2% - 0,5%	0,2% - 0,5%
Usuarios Industriales ²	0,9% - 2,3%	0,8% - 2,1%	0,7% - 1,9%	0,6% - 1,5%	0,6% - 1,6%	0,7% - 2,0%	0,7% - 1,9%	0,6% - 1,5%	0,6% - 1,6%	0,6% - 1,6%	0,6% - 1,6%	0,7% - 1,8%
Rubro Bebidas ³	71% - 192%	58% - 157%	48% - 130%	35% - 95%	39% - 105%	48% - 130%	48% - 129%	39% - 107%	37% - 101%	35% - 93%	30% - 81%	43% - 117%
Razón entre potencial energético del orujo producido en Mendoza y el gas consumido												
Mendoza ²	2,9% - 7,9%	2,7% - 7,3%	2,5% - 6,7%	1,6% - 4,3%	1,9% - 5,2%	2,7% - 7,2%	2,7% - 7,3%	2,5% - 6,7%	2,2% - 5,9%	2,2% - 5,9%	2,2% - 6,0%	2,4% - 6,4%
Usuarios Industriales ²	14,5% - 39,0%	12,7% - 34,4%	11,4% - 30,8%	7,6% - 20,6%	9,6% - 25,9%	11,6% - 31,3%	11,7% - 31,5%	10,0% - 27,0%	9,3% - 25,0%	9,1% - 24,7%	9,6% - 25,9%	10,6% - 28,7%
Rubro Bebidas ³	2153% - 5812%	1735% - 4686%	1481% - 3998%	921% - 2486%	1026% - 2771%	876% - 2365%	732% - 1977%	644% - 1739%	693% - 1870%	844% - 2279%	982% - 2652%	984% - 2657%

¹ Estimación a partir de valores de la Tabla 1. Rango: caso más desfavorable - caso más favorable. Caso más desfavorable: 20% en masa de orujo por kilo de uva utilizada, 75% de humedad en el orujo (en masa). Caso más favorable: 30% en masa de orujo por kilo de uva utilizada, 55% de humedad en el orujo (en masa).

² Volumen de gas efectivamente entregado por las distribuidoras. Incluye *by-pass* comerciales. Excluye *by-pass* físicos del sistema de Transporte de gas, consumo de grandes usuarios en boca de pozo, y el consumo de gas de proceso de la Planta Gral. Cerri (Reducción Térmica). Datos de subsección 1.10 de (Ente Nacional Regulador del Gas, 2024). 9300 kcal/m³ corresponde al poder calorífico superior y seco a 101,325 kPa y 15 °C.

³ Idem anterior, entregado a Grandes usuarios Industriales. Excluye a usuarios industriales pequeños (categoría SG-P). El rubro Bebidas incluye elaboración de vinos, malta y bebidas malteadas, bebidas alcohólicas y aguas minerales. Datos subsección 1.13 de (Ente Nacional Regulador del Gas, 2024).

Aunque el potencial energético del orujo en Argentina resulta modesto en comparación con el consumo de gas natural (0,2% a 0,5%), dentro de la Provincia de Mendoza su potencial es significativo. La energía térmica obtenida por la combustión del orujo producido en Mendoza representa entre el 2,4% y el 6,4% del consumo total de gas natural de la Provincia, y entre el 10,6% y el 28,7% del consumo de los usuarios industriales. El potencial energético es particularmente notable en la industria vinícola de Mendoza (que forma parte del rubro "Bebidas") donde se encontró que la energía disponible en el orujo representa entre 9,8 y 26,6 veces la energía consumida por este rubro en forma de gas natural.

A pesar de ser un recurso energético de costo nulo en términos de adquisición, la práctica de la combustión del orujo para aprovechar su energía no está ampliamente difundida. Esto se debe a que la combustión del orujo – y de biomasa en general – implica una serie de desventajas operativas que se traducen en costos significativos (Leiva Butti, 2023):

- **Voluminosidad:** El orujo tiene una baja densidad aparente, con lo que requiere un gran volumen para almacenar una cantidad dada de energía (a diferencia del gas natural que tiene una alta densidad energética y no necesita espacio gracias a la red de distribución).
- **Disponibilidad estacional:** La producción anual de orujo se concentra en un período de cuatro meses, lo que implica la necesidad de almacenar el equivalente a las necesidades energéticas de al menos dos tercios del año para sustituir el consumo anual de gas natural.
- **Dificultad para controlar el flujo de calor:** La regulación del flujo de calor obtenido por combustión de biomasa es más difícil que en el caso del gas natural, ya que la combustión de biomasa presenta mayor “inercia” (menor velocidad de reacción) ante el cambio en la tasa de alimentación que la combustión del gas natural.
- **Tiempo de entrada en régimen elevado:** La combustión de biomasa requiere más tiempo para entrar en régimen que el gas natural, lo que implica mantener encendidos los hornos de combustión durante períodos innecesarios.
- **Producción de cenizas:** La combustión de biomasa genera cenizas que deben ser removidas periódicamente, lo que implica costos de mantenimiento que no están presentes en los quemadores de gas.
- **Necesidad de secado:** Antes de la combustión, la biomasa debe ser secada para eliminar su contenido de humedad, lo que requiere energía adicional y una operación adicional.
- **Necesidad de modificación de equipos:** La combustión de biomasa requiere equipos industriales diferentes y más complejos que los utilizados para la combustión de gas.

Las desventajas operativas mencionadas anteriormente, combinadas con el precio relativamente bajo del gas natural, explican por qué la combustión de biomasa tiene una aplicación comercial limitada. En la Provincia, hay algunos casos específicos en los que ciertos establecimientos agroindustriales utilizan biomasa para la combustión, la cual adquieren de empresas especializadas. Estas empresas realizan un procesamiento previo de la biomasa, que incluye molienda y secado.

Por ejemplo, Derivados Vínicos S.A. (una empresa de gestión de residuos vinícolas) utiliza de 48.000 a 50.000 ton/año de orujo agotado seco y fibra de pepitas de uva (lex) para producir por combustión el 95% del vapor que utiliza en sus procesos productivos (Derivados Vínicos S.A., 2024). Olivi Hermanos S.A., una planta productora de aceite de pepitas de uva, utiliza las pepitas de uva desechadas de su proceso como combustible para su caldera. Bodega Familia Zuccardi dispone de una caldera que quema carozos de aceituna deshidratados (Y. Román Rodríguez, comunicación personal, 6 de marzo de 2019). En este caso, la biomasa procesada para este fin es adquirida a terceros.

No se encontraron casos en los que los establecimientos vitivinícolas consideraran el orujo producido como un recurso. Las bodegas contratan empresas especializadas en la gestión de residuos del proceso de vinificación para la remoción del orujo y la limpieza de las instalaciones. Para estas empresas, denominadas empresas de gestión de residuos vinícolas (o a veces autodenominadas biorrefinerías), el orujo es un insumo, y lo valorizan produciendo aceite de pepita de uva, ácido tartárico, tartratos y metatartratos, alcohol etílico y grapa (G. E. Pisi, comunicación personal, 14 de julio de 2016; L. Podestá, comunicación personal, 14 de julio de 2016; M. Rodriguez, comunicación personal, 3 de agosto de 2018). El orujo que ha pasado por este proceso se conoce como "orujo agotado", y conserva la mayor parte de su contenido energético original (PCI de 20,4 MJ/kg_{seco} (Hernández et ál., 2016). Además, a través de procesos de separación y extracción y secado, estas empresas producen y comercializan lex.

Hay que destacar que, si bien Derivados Vínicos S.A. cubre prácticamente todas sus necesidades energéticas de calor de proceso por combustión de orujo, esta cantidad representa solo una fracción del orujo total procesado al año (120.000 toneladas). Además, debido al tamaño del mercado de los productos obtenidos del orujo, las empresas de gestión de residuos de vinificación procesan solo una parte del orujo recolectado. Despues de los procesos de valorización mencionados anteriormente, el orujo excedente se destina a la producción de compost, que representa la última alternativa comercialmente implementada para agregar valor (M. Rodriguez, comunicación personal, 3 de agosto de 2018).

Potencial método de aprovechamiento del recurso

Existe un proceso productivo adicional, denominado Gasificación de Biomasa, que permite la obtención de un gas combustible, denominado “gas de síntesis”. La conversión del orujo agotado en gas evita muchas de las desventajas asociadas a la combustión de biomasa explicadas anteriormente, y a su vez puede ser utilizado como insumo en la industria química para obtención de metanol, metano (gas natural) lubricantes y biocombustibles líquidos. Debido a esto, podría ser una alternativa económicamente más favorable a la producción de compost, lo que permitiría a la industria de gestión de residuos vinícolas convertirse en proveedor de energía para otras industrias o acceder a nuevos mercados internacionales.

Si tanto la industria vitivinícola como la de gestión de residuos vinícolas aprovecharan por completo el potencial energético del orujo, obtendrían además de beneficios económicos, beneficios ambientales. En primer lugar, desde el punto de vista económico, eliminarían la necesidad de comprar gas natural y dispondrían de un método adicional para valorizar el residuo. Por otro lado, sería un avance en sustentabilidad y un acercamiento a una economía circular. Al sustituir el uso de gas natural por la energía obtenida del orujo, se reduce la emisión neta de carbono debida al uso de esta energía a cero (Tilman et ál., 2006). Esto se debe a que el dióxido de carbono liberado a la atmósfera al quemar el orujo (o sus derivados, incluido el gas de síntesis) proviene del carbono absorbido previamente de la atmósfera durante el crecimiento de la vid y el desarrollo de sus frutos.

Gasificación de biomasa

La gasificación de biomasa implica la conversión termoquímica de los compuestos orgánicos, como la lignina y la celulosa, en un gas de síntesis. Se produce a temperaturas superiores a los 800 °C en ausencia de oxígeno y en presencia de un agente gasificador (aire u oxígeno en defecto, vapor de agua, o dióxido de carbono) (Basu, 2018). En la gasificación de biomasa convencional, el calor necesario para el proceso se obtiene mediante la combustión de una parte de la biomasa, generalmente dentro del mismo equipo gasificador.

La gasificación del orujo resolvería los siguientes problemas asociados con la combustión del orujo como fuente de energía: voluminosidad, dificultad en el control del flujo de calor, tiempo de entrada en régimen y necesidad de modificación de equipos. Además, facilitaría su almacenamiento para su uso posterior, superando así el problema de la estacionalidad en la producción del recurso.

Sin embargo, la gasificación de biomasa aún no se ha generalizado en su aplicación comercial. En el caso del orujo, hasta donde pudo constatar el autor, no se han encontrado aplicaciones comerciales. A nivel mundial, hay un número limitado de plantas de gasificación de biomasa (Watson et ál., 2018), entre ellas una en Tacuarembó, Uruguay. En Argentina, el primer ejemplo es una planta de demostración desarrollada por el INTI en Presidencia de la Plaza, Chaco, que utiliza tecnología india. Esta planta, finalizada en 2012, gasifica residuos forestales para alimentar un generador eléctrico de 250 kW_e (kilowatts de energía eléctrica) (AGVE S.A., 2015). El segundo caso es una planta de gasificación de astillas de madera de pino para alimentar las calderas de la planta industrial de la industria láctea Manfrey, con una potencia térmica de 10 MW_t (megawatts de energía térmica) (Castelao Caruana, 2020). En 2018, esta planta estaba en etapa de puesta a punto y desde 2019 aumentó su producción y sigue estable aun en estadio de prototipo (Manfrey Coop. LTDA, 2021). El tercer y último caso es una planta de generación eléctrica de 0,5 MW_e que gasifica cáscaras de maní en Las Junturas, Córdoba. La instalación de esta planta se adjudicó en el programa RenovAr - Ronda 2 (2017). Los equipos de gasificación de la planta fueron importados de España e India, y en junio de 2019 estaba en fase de puesta a punto (Ré, 2019).

Es importante resaltar que Manfrey identifica tres ventajas de la gasificación de biomasa sobre la combustión directa (Manfrey Coop. LTDA, 2020)

- Menor inversión.
- Reducción de los períodos de mantenimiento.
- Mayor eficiencia debido a un control de la combustión más preciso.

Barreras para la implementación comercial

Existen varias barreras para la implementación comercial de la gasificación de biomasa. Uno de los principales desafíos tecnológicos actuales que contribuyen significativamente a los costos y, por lo tanto, a su limitada adopción comercial, es el alto contenido de alquitrances en el gas de síntesis producido (Yu et ál., 2014; Zhou et ál., 2018). Thompson *et ál.* (2020) resumen las barreras para la implementación comercial del proceso identificadas por expertos en gasificación de biomasa. Además del problema de la producción indeseada de alquitrances, los autores mencionan el riesgo de inversión asociado a la complejidad y la falta de maduración de la tecnología, la dificultad para obtener una composición adecuada del gas producido y la gestión de los residuos generados por el proceso. En particular, destacan la complejidad del proceso debido a la necesidad de limpiar el gas (removiendo alquitrances, material particulado y gases nocivos). Esto aumenta significativamente los costos operativos y de inversión, ya que los equipos necesarios para la limpieza del gas constituyen la mayor parte de las instalaciones requeridas. Por ejemplo, el autor de este trabajo pudo observar que en la planta de demostración del INTI en Presidencia de la Plaza, Chaco, la línea de limpieza y acondicionamiento del gas (previa a los equipos de combustión para la producción de energía eléctrica) es considerablemente más grande y requiere más equipos que la línea de gasificación en sí. Además, Manfrey destaca entre los problemas encontrados en su planta de gasificación las obstrucciones de válvulas con alquitrances (Manfrey Coop. LTDA, 2020).

Reducción de alquitrances

Existen varias alternativas actualmente investigadas para evitar la producción de alquitrances:

- El uso de catalizadores (Valderrama Rios et ál., 2018). Los catalizadores pueden disminuir la producción de alquitrances y también facilitar su conversión en gas de síntesis. Los catalizadores que pueden ser utilizados incluyen minerales naturales como dolomita y olivino, catalizadores basados en níquel, zeolitas, metales de transición, y metales alcalinos.
- El aumento de la temperatura del proceso. La temperatura es uno de los factores que más influyen en la producción de alquitrances, ya que temperaturas más bajas tienden a aumentar su producción (Valderrama Rios et ál., 2018). Sin embargo, elevar la temperatura tiene un impacto negativo en la eficiencia energética del proceso de gasificación de biomasa convencional y además aumenta la exigencia sobre los materiales que componen el gasificador.
- El empleo de vapor de agua en lugar de aire como agente gasificador. Incrementar la concentración de vapor favorece la reacción de reformado con vapor, una de las reacciones que disminuye la producción de alquitrances (Valderrama Rios et ál., 2018). En un estudio práctico (de Sales et ál., 2017), se observó que la inyección de vapor saturado en un gasificador operado con aire – contrariamente a lo esperado – aumentaba la producción de alquitrances. Esto se explica debido a la reducción de la temperatura del gasificador que causa la inyección de vapor a baja temperatura. Para contrarrestar este efecto, los autores sugieren inyectar oxígeno junto con el vapor. Esto mejora la combustión de la biomasa dentro del gasificador y compensa la disminución de temperatura causada por la inyección de vapor. Como resultado, se encontró una reducción significativa en la producción de alquitrances en comparación con el caso de utilizar solo aire y vapor (de Sales et ál., 2017), así como una disminución significativa en la producción de material particulado. Sin embargo, la necesidad de oxígeno incrementa significativamente los costos del proceso.
- El uso de vapor a alta temperatura sin inyección de oxígeno. Esto permitiría aprovechar el efecto del vapor en las reacciones de reformado sin reducir la temperatura del gasificador. En lugar de utilizar vapor saturado, este podría ingresar a una temperatura más cercana a la del gasificador. Sin embargo, el desafío radica en disponer de la energía necesaria para elevar la temperatura del vapor.

En las últimas décadas, las barreras para la implementación comercial de la gasificación de biomasa no han sido superadas. Según las conclusiones de Thompson *et ál.* (2020), aunque existen varias miles de plantas de pequeña escala en el mundo, esta industria aún necesita aumentar su competitividad en comparación con los combustibles fósiles y otras fuentes de energía renovable para establecerse firmemente en el mercado energético. Los autores resumen las recomendaciones recientes de los expertos para "superar las barreras para el desarrollo de la gasificación de biomasa y establecer una industria viable de gran escala": reducir los equipos necesarios (simplificar el proceso) y la severidad del proceso (disminuir la temperatura), así como mejorar la escalabilidad. Según Thompson *et ál.* (2020), existe consenso en la comunidad científica de que la competitividad del proceso se logrará con implementaciones a pequeña escala (de 70 kW_e a 10 MW_e) en lugar de a gran escala (mayores a 100 MW_e). Argumentan que a pequeña escala se obtiene una mayor eficiencia global del sistema; se reducen los tiempos de transporte desde los sitios de producción de la biomasa – que normalmente están dispersos – al permitir el procesamiento sea local (en contraste con un sitio de procesamiento centralizado); se logra una mayor consistencia en la composición de la biomasa procesada (proveniente de una misma área geográfica); y se facilita la negociación de contratos de suministro de biomasa a largo plazo. Thompson *et ál.* (2020) también consideran que existe la oportunidad de lograr la implementación a gran escala mediante un enfoque modular, aumentando la capacidad instalada a partir de la repetición de una unidad básica. Además, destacan la importancia de las plantas descentralizadas a pequeña escala en áreas no urbanas para aprovechar los residuos biomásicos.

Oportunidad para la industria vitivinícola

El estado actual del arte y la técnica para la implementación comercial de la gasificación de biomasa indica que, dentro del marco de las recomendaciones de expertos, su aplicación para el aprovechamiento energético del orujo en los establecimientos vitivinícolas o de gestión de residuos vinícolas es una opción idónea:

- Permite el aprovechamiento "*in situ*", ya sea en el lugar de producción de la biomasa (establecimientos vitivinícolas) o donde se recolecta regionalmente (establecimientos de gestión de residuos vinícolas).
- Genera biomasa con una composición extremadamente consistente.
- Puede autoabastecerse de la biomasa (establecimientos vitivinícolas) o ya cuenta con relaciones contractuales establecidas para el suministro de la misma (establecimientos de gestión de residuos vinícolas).

No obstante, aún se requiere avanzar en el desarrollo tecnológico que permita este aprovechamiento. Resumiendo las recomendaciones de los expertos enumeradas en Thompson *et ál.* (2020), este desarrollo debería:

- Ser modular a pequeña escala, con la capacidad de replicarse para alcanzar mayores escalas.
- Ser fácilmente escalable.
- Reducir la producción de alquitranes, simplificando así el proceso.
- Operar a temperaturas moderadas para limitar la severidad del proceso.

En cuanto a los desarrollos futuros para la implementación comercial de la gasificación de biomasa a pequeña escala, Thompson *et ál.* (2020) destacan la reducción de la temperatura de trabajo a 900 °C, lo que permitiría utilizar materiales más económicos como el acero inoxidable SAE 316. También subrayan el uso de vapor de agua como agente gasificador de bajo costo para obtener gas de síntesis con mayor densidad energética (mayor PCI). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la inyección de vapor sobrecalentado aumenta la demanda de energía del proceso si se quiere evitar la producción de alquitranes.

Gasificación autotérmica y alotérmica. Alimentación energética del proceso.

Más aún, la gasificación es, globalmente, un proceso altamente endotérmico, lo que implica una alta demanda de calor para que las reacciones ocurran. La gasificación tradicional, o "autotérmica", resuelve esto combustionando una parte de la biomasa dentro del gasificador para proveer el calor

necesario. Esto se logra cuando se utiliza aire u oxígeno en defecto como agente gasificador (Basu, 2018). Alimentar el proceso de manera autotérmica provoca dos efectos negativos:

1. El rendimiento energético de la biomasa disminuye debido a la combustión del 20% al 30% de la materia prima (Hathaway, Honda, et ál., 2013; Hathaway, Kittelson, et ál., 2013).
2. Disminuye la energía almacenada por unidad de volumen (densidad energética), es decir, el PCI, ya que el gas resultante contiene los humos de la combustión y una fracción significativa de nitrógeno en caso de gasificación con aire. Un menor PCI implica un mayor trabajo de compresión y mayores necesidades de almacenamiento para la misma cantidad de energía, al tiempo que limita la utilización del gas como combustible.

Para evitar el segundo efecto, es posible separar la cámara donde se combusciona la biomasa del recinto donde se gasifica. Esta configuración se denomina gasificación "alotérmica" y elimina la presencia de humos en el gas de síntesis. Adicionalmente, la gasificación alotérmica permite usar vapor de agua puro como único agente gasificador (Arena, 2013). Este cambio de agente produce un gas con mayor contenido de hidrógeno y un PCI más alto. Típicamente, la gasificación en aire produce un gas con un PCI entre 4 y 7 MJ/Nm³, mientras que la gasificación en vapor produce un gas con un PCI entre 10 y 18 MJ/Nm³ (Basu, 2018). A modo de comparación, se menciona nuevamente que el PCI del gas natural es 35,1 MJ/m³.

En la gasificación alotérmica, la combustión puede realizarse no solo a partir de la biomasa misma, sino también a partir del *biochar*, o a partir de una fracción del gas de síntesis obtenido (Arena, 2013). Además, la gasificación puede ser alimentada con una fuente de calor externa y eliminar el primer efecto negativo.

A modo de ejemplo, Hernández *et ál.* (2012) realizaron una experiencia de laboratorio de gasificación de orujo agotado. Utilizaron como agente gasificador aire, vapor y combinaciones de ellos. El proceso fue alotérmico con fuente externa de calor (horno eléctrico) cuando se usó vapor puro. Y cuando se utilizó aire o mezcla de aire-vapor, la experiencia fue parcialmente autotérmica (se combusciona parte de la biomasa al mismo tiempo que cuenta con una fuente de calor externa; la biomasa aporta calor al proceso y los humos no se separan). La composición del gas obtenido en cada caso permite calcular un PCI de entre 12,6 y 16,0 MJ/Nm³ cuando el agente gasificador es vapor, y de entre 3,8 y 4,4 MJ/Nm³ cuando es aire. Esta disparidad de resultados implica que el gas obtenido por gasificación alotérmica en vapor contiene, en un mismo volumen, entre 2,9 y 4,2 veces la energía del gas obtenido por gasificación autotérmica en aire. Equivalentemente, en el ejemplo alotérmico, el volumen necesario para almacenar la misma cantidad de energía es entre un 65% y un 77% menos que en el ejemplo autotérmico.

Por supuesto, el aumento del rendimiento por unidad de biomasa que se logra al utilizar una fuente externa de calor es a costa del consumo de dicha fuente de energía. Como el producto del proceso, el gas de síntesis, es un vector energético (elemento que almacena energía proveniente de otra fuente, de manera que ésta pueda liberarse posteriormente de forma controlada), la mejora es nula si para aumentar su producción se consume una fuente de energía de mayor calidad y más costosa (como es el caso de la energía eléctrica en el ejemplo anterior). La ganancia en rendimiento sería útil si se empleara una fuente de energía barata y más fácilmente aprovechable que el vector energético resultante. Además, al tratarse de un proceso endotérmico, existe el potencial de almacenar parte del calor aportado en dicho vector, como entalpía del gas obtenido.

Gasificación solar de biomasa

En ese sentido, alimentar la gasificación de biomasa con energía solar resultaría doblemente beneficioso. No solo superaría los dos efectos negativos asociados a la gasificación autotérmica, sino que también proveería un mecanismo de acumulación de energía solar. La Energía Termosolar de Concentración (ETC) resulta adecuada para este fin, ya que es capaz de producir calor a la temperatura suficiente para llevar a cabo el proceso. Cuando la gasificación de biomasa se alimenta con ETC, se la denomina Gasificación Solar de Biomasa (GSB). A modo de ejemplo, Müller *et ál.* (2018) realizaron una experiencia de GSB en la que la energía disponible en el gas total producido (en base a su PCI) alcanzó a ser un 7 % mayor que la suma de la energía solar y la energía disponible en la biomasa total utilizada (también en base a su PCI).

Adicionalmente, la utilización de una fuente de energía externa permite controlar la temperatura del proceso y alcanzar temperaturas más altas. Esto último permite reducir la producción de alquitrances a valores muy bajos (Bellouard et ál., 2017).

En ese sentido, se requiere una solución de compromiso para cumplir con los requerimientos del desarrollo tecnológico, que exigen temperaturas moderadas. Sin embargo, el uso de energía solar proveería la energía necesaria para inyectar vapor a alta temperatura, y por ende, favorecer la disminución de alquitrances, sin recurrir al costoso uso adicional de oxígeno.

En resumen, la GSB en vapor aparece como una opción prometedora para hacer un aprovechamiento energético del orujo producido por la industria vitivinícola. Frente al proceso de gasificación tradicional (gasificación autotérmica), presenta las siguientes ventajas (Gírio, 2019):

- El rendimiento de gas de síntesis por unidad de biomasa es mayor.
- Produce un gas de síntesis sin humos de combustión y con bajo contenido de alquitranes.
- Produce un gas de síntesis de mayor PCI y menor proporción de dióxido de carbono.
- Elimina la necesidad de equipos de producción de oxígeno, ya que puede utilizarse vapor o dióxido de carbono como único agente gasificador.

Sin embargo, la GSB es una tecnología que se encuentra aún en etapa de desarrollo. Si bien se ha estudiado desde 1980 (Gregg et ál., 1980; Loutzenhiser y Muroyama, 2017), aún no ha alcanzado la aplicación comercial (Abanades et ál., 2021). Actualmente, la investigación a nivel mundial está enfocada en el desarrollo de reactores que combinen exitosamente las tecnologías de concentración solar con las de gasificación de biomasa. Existen diversos diseños de reactor solar de gasificación de biomasa probados a escala de laboratorio (2–25 kW) (Xu et ál., 2023; Abanades et ál., 2021; Bellouard et ál., 2019; Curcio et ál., 2023; Gokon et ál., 2023, 2019; Hathaway and Davidson, 2021; Loutzenhiser and Muroyama, 2017; Puig-Arnavat et ál., 2013; Tregambi et ál., 2020). Además, la GSB se ha demostrado a escala de planta piloto (140 kW) para bagazo de caña de azúcar (Wieckert et ál., 2013), y la gasificación solar de carbón ha sido probada en escala industrial de 500 kW (Vidal et ál., 2012).

Línea de investigación

Actualmente, el autor de este trabajo coordina una línea de investigación en el Instituto CEDIAC de la Facultad de Ingeniería de la UNCuyo cuyo fin último es lograr un diseño de proceso a escala industrial de GSB de orujo. Se ha logrado el diseño de un reactor solar de gasificación. En el marco de la tesis doctoral (Leiva Butti, 2023), se completó la ingeniería básica (Leiva Butti et ál., 2020) y se realizaron una serie de verificaciones que permitieron completar la ingeniería de detalle (Leiva Butti et ál., 2021). El desarrollo tecnológico continúa en un Convenio de I+D celebrado con la empresa Derivados Vínicos S.A., en el que el autor participa como Director del Proyecto para construir y probar el reactor y concentrador solar diseñados, en vistas de evaluar su aplicación a escala industrial.

Potencial producción anual de gas de síntesis por GSB del orujo

En base a los resultados de la línea de investigación, se ha determinado que, con el desarrollo tecnológico en cuestión, se obtendrían $1,541 \text{ Nm}^3/\text{kg}_{\text{seco}}$ de gas de síntesis por cada kilogramo seco de orujo como límite superior. El mismo tendría un PCI de 11,53 MJ/Nm³ (Leiva Butti, 2023; Leiva Butti et ál., 2020).

Esto permite calcular la potencial producción de gas de síntesis por GSB en las regiones consideradas en este trabajo. Los resultados están detallados en la Tabla 3. A su vez, se detalla la energía disponible en dicho gas en base a su PCI.

Tabla 3 – Estimación de la potencial producción anual de gas de síntesis por GSB y superficie necesaria.

	Gas de síntesis [miles de Nm ³]	Superficie mínima necesaria [ha]	Energía (térmica) [GWh _t]	Potencia (térmica) media [MW _t]
Oasis Norte	99.301 - 268.113	43,4 - 117,2	318,0 - 858,7	36,3 - 98,0
Mendoza	119.264 - 322.012	52,1 - 140,7	382,0 - 1.031	43,6 - 117,7
Argentina	170.201 - 459.542	74,4 - 200,8	545,1 - 1.472	62,2 - 168,0
Mundo asumiendo 122 kg de uva/100L de vino	2.571.304 - 6.942.522	1123,7 - 3034,0	8.235 - 22.235	940,1 - 2.538
Mundo asumiendo 150 kg de uva/100L de vino	3.161.440 - 8.535.887	1381,6 - 3730,4	10.125 - 27.339	1.156 - 3.121

Hay que destacar que la energía disponible en el gas representa el 90,1% de la energía disponible originalmente del orujo. Como se mencionó anteriormente, este porcentaje puede variar en función de la eficacia del proceso para completar la gasificación, ya que la misma afectará tanto el rendimiento de gas como su PCI. El valor de 90,1% surge de las estimaciones actuales para el desempeño del reactor, y depende de las condiciones en que se produce el proceso. Podría llegar a ser más del 100% (hasta 107%, según la experiencia de Müller *et ál.* (2018)) y almacenar en el gas parte de la energía solar utilizada en el proceso. La línea de investigación actualmente busca determinar este porcentaje a través de la demostración del prototipo de reactor diseñado.

También es relevante destacar que la estimación de la producción de energía por GSB del orujo de la Tabla 3 no tiene en cuenta la energía necesaria para secar el orujo. Sin embargo, para realizar esta operación podría utilizarse calor residual del proceso de gasificación solar, con lo cual no implicaría un consumo adicional de energía.

La energía representada en la Tabla 3 representa el calor disponible por combustión del gas de síntesis (PCI) del gas producido en un año. La potencia media es este valor dividido en el periodo de todo un año. A modo de comparación, la potencia (eléctrica) instalada de las centrales hidroeléctricas de la Provincia de Mendoza es 887 MW_e (Cortellezzi & Karake, 2009). Para poder comparar es necesario asumir una eficiencia de conversión de energía térmica en eléctrica. Asumiendo un 33% de eficiencia, la potencia disponible por Gasificación Solar del Orujo en Mendoza representa entre un 14% y un 38% de la potencia instalada de las centrales hidroeléctricas.

La superficie necesaria surge de considerar la relación entre superficie de los helióstatos y superficie del terreno necesario en el caso de una torre solar incorporado en el software de simulación de sistemas solares del *National Renewable Energy Laboratory* de Estados Unidos (*System Advisor Model*, 2022). Para la determinación de la superficie necesaria se parte del hecho que el área del helióstato considerado en (Leiva Butti *et al.*, 2020) es de 7,069 m².

Conclusiones

- En la provincia de Mendoza, anualmente se generan entre 310.000 y 464.000 toneladas de orujo como subproducto de la actividad vitivinícola.
- A pesar de ser considerado un residuo, el orujo cuenta con un considerable potencial energético. Su poder calorífico inferior (PCI) es 19,729 MJ/kg_{seco} (1 m³ de gas libera 35,1 MJ de calor cuando se quema).
- Se dispone de 1527 a 4123 TJ_t/año (1145 a 424,2 GWh_t/año) de energía térmica por combustión del orujo de Mendoza. Para Argentina, este valor se eleva a 2179 a 5883 TJ_t/año (605,3 a 1634 GWh_t/año).
- La energía térmica obtenida por la combustión del orujo producido en Mendoza representa entre el 2,4% y el 6,4% del consumo total de gas natural de la Provincia, y entre el 10,6% y el 28,7% del consumo de los usuarios industriales. Dentro del rubro de consumidores "Bebidas" representa entre 9,8 y 26,6 veces la energía consumida en forma de gas natural.
- A pesar de ser un recurso energético de costo nulo en términos de adquisición, su combustión no es común debido a las desventajas operativas y los costos significativos asociados con la combustión de biomasa en general.
- La Gasificación de Biomasa permite la obtención de un gas combustible, denominado "gas de síntesis" a partir del orujo agotado y evita de este modo varias desventajas operativas. Además, es un insumo en la industria química.
- Sustituir el uso de gas natural por la energía obtenida del orujo reduce la emisión neta de carbono debida a cero. Se además se destina el subproducto sólido del proceso (*biochar*) como

mejorador de suelos, el aprovechamiento del residuo tiene el potencial de lograr una huella de carbono negativa.

- La gasificación de biomasa aún no se ha generalizado en su aplicación comercial, principalmente por el alto contenido de alquitranes en el gas de síntesis producido.
- Alimentar la gasificación de biomasa con energía solar aumenta su rendimiento, aumenta la densidad energética del gas, y disminuye la producción de alquitranes.
- La GSB es una tecnología que se encuentra aún en etapa de desarrollo. El autor de este trabajo coordina una línea de investigación en el Instituto CEDIAC de la Facultad de Ingeniería de la UNCuyo cuyo fin último es lograr un diseño de proceso a escala industrial de GSB de orujo.
- Con el desarrollo tecnológico en cuestión, se obtendrían $1,541 \text{ Nm}^3/\text{kg}_{\text{seco}}$ de gas de síntesis por cada kilogramo seco de orujo como límite superior. El mismo tendría un PCI de $11,53 \text{ MJ/Nm}^3$. En la Provincia podrían producirse entre 119.264 y 322.012 miles de $\text{Nm}^3/\text{año}$ de gas de síntesis, con un valor energético de entre 382,0 y 1.031 GWh/año (43,6 a 117,7 MW_t de potencia térmica). La potencia eléctrica disponible por Gasificación Solar del Orujo en Mendoza representa entre un 14% y un 38% de la potencia instalada de las centrales eléctricas de la Provincia.

Referencias

- Abanades, S., Rodat, S., & Boujjat, H. (2021). Solar Thermochemical Green Fuels Production: A Review of Biomass Pyro-Gasification, Solar Reactor Concepts and Modelling Methods. *Energies*, 14(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/en14051494>
- AGVE S.A. (2015, mayo 24). *Planta gasificadora de biomasa, en presidencia de la plaza, Chaco*. <http://agve.com.ar/2015/05/24/presidencia-de-la-plaza/>
- Arena, U. (2013). 17—Fluidized bed gasification. En F. Scala (Ed.), *Fluidized Bed Technologies for Near-Zero Emission Combustion and Gasification* (1st ed., pp. 765-812). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857098801.3.765>
- Bajuk, C. (2016, julio 13). *Lic. Eno. En Gauchezco Vineyard & Winery. Comunicación personal, 13 de julio de 2016* [Comunicación personal].
- Basu, P. (2018). *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory* (2nd ed.). Academic Press.
- Bellouard, Q., Abanades, S., & Rodat, S. (2017). Biomass Gasification in an Innovative Spouted-Bed Solar Reactor: Experimental Proof of Concept and Parametric Study. *Energy & Fuels*, 31(10), 10933-10945. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b01839>
- Bellouard, Q., Rodat, S., Abanades, S., Ravel, S., & Frayssines, P.-É. (2019). Design, simulation and experimental study of a directly-irradiated solar chemical reactor for hydrogen and syngas production from continuous solar-driven wood biomass gasification. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(35), 19193-19205. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.04.147>
- Castelao Caruana, M. E. (2020). Configuración de la industria de bioenergía eléctrica y térmica en térmica en Argentina: ¿dónde, cuándo, cómo y quién? *H-industri@*, 27, 55-78.
- Cortellezzi, M., & Karake, N. R. (2009). *Atlas De La Energía De Mendoza*. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía y Letras. <https://imd.uncuyo.edu.ar/upload/atlas-de-la-energia-de-mendoza.pdf>
- Curcio, A., Rodat, S., Vuillerme, V., & Abanades, S. (2023). Dynamic simulation of a solar-autothermal hybridized gasifier: Model principle, experimental validation and parametric study. *Chemical Engineering Journal*, 460, 141682. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.141682>
- de Sales, C. A. V. B., Maya, D. M. Y., Lora, E. E. S., Jaén, R. L., Reyes, A. M. M., González, A. M., Andrade, R. V., & Martínez, J. D. (2017). Experimental study on biomass (eucalyptus spp.) gasification in a

- two-stage downdraft reactor by using mixtures of air, saturated steam and oxygen as gasifying agents. *Energy Conversion and Management*, 145, 314-323.
- <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.04.101>
- Derivados Vínicos S.A. (2024). *DERVINSA – Innovación sustentable*. <https://dervinsa.com.ar/medio-ambiente.php>
- Dwyer, K., Hosseini, F., & Rod, M. (2014). The Market Potential of Grape Waste Alternatives. *Journal of Food Research*, 3(2), Article 2. <https://doi.org/10.5539/jfr.v3n2p91>
- Ente Nacional Regulador del Gas. (2019). *Especificaciones de calidad para el transporte y distribución de gas natural y otros gases análogos* (NAG-602). <https://www.enargas.gob.ar/secciones/normativa/normas-tecnicas-items.php?grupo=6>.
- Ente Nacional Regulador del Gas. (2024). *Datos Abiertos, Datos operativos de Transporte y Distribución de Gas, Sección 1—Datos Operativos de Gas Natural: Licenciatarias de Distribución* [dataset]. <https://www.enargas.gob.ar/secciones/transporte-y-distribucion/datos-operativos-sec.php?sec=1>
- FAOSTAT. (s. f.). Datos sobre alimentación y agricultura, FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database). Recuperado 1 de julio de 2021, de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- García-Lomillo, J., & González-SanJosé, M. L. (2017). Applications of Wine Pomace in the Food Industry: Approaches and Functions: Applications of wine pomace in foods.... *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 3-22. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12238>
- Gírio, F. (2019). Chapter Nine—Innovation on Bioenergy. En C. Lago, N. Caldés, & Y. Lechón (Eds.), *The Role of Bioenergy in the Bioeconomy* (pp. 405-433). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813056-8.00009-1>
- Gokon, N., Kumaki, S., Miyaguchi, Y., Bellan, S., Kodama, T., & Cho, H. (2019). Development of a 5kWth internally circulating fluidized bed reactor containing quartz sand for continuously-fed coal-coke gasification and a beam-down solar concentrating system. *Energy*, 166, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.036>
- Gokon, N., Sasada, Y., Seto, H., Shimizu, T., & Bellan, S. (2023). Effects of heating rate and drying condition on thermochemical pyrolysis of spent coffee grounds in a windowed internally-circulating

<https://doi.org/10.1063/5.0148539>

Gonzalez, M. F. (2016, julio 13). *Ing. Ind. En Aseguramiento de la Calidad, Bodega Trivento Argentina.*

Comunicación personal, 13 de julio de 2016 [Comunicación personal].

Gregg, D. W., Taylor, R. W., Campbell, J. H., Taylor, J. R., & Cotton, A. (1980). Solar gasification of coal, activated carbon, coke and coal and biomass mixtures. *Solar Energy*, 25(4), 353-364.

[https://doi.org/10.1016/0038-092X\(80\)90347-3](https://doi.org/10.1016/0038-092X(80)90347-3)

Hathaway, B. J., & Davidson, J. H. (2021). Autothermal hybridization and controlled production of hydrogen-rich syngas in a molten salt solar gasifier. *International Journal of Hydrogen Energy*.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.02.048>

Hathaway, B. J., Honda, M., Kittelson, D. B., & Davidson, J. H. (2013). Steam gasification of plant biomass using molten carbonate salts. *Energy*, 49, 211-217.

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.11.006>

Hathaway, B. J., Kittelson, D. B., & Davidson, J. H. (2013). Integration of Solar Gasification With Conventional Fuel Production: The Roles of Storage and Hybridization. *Journal of Solar Energy Engineering*, 136(1), 010906-010906-010910. <https://doi.org/10.1115/1.4025971>

Hernández, J. J., Aranda, G., Barba, J., & Mendoza, J. M. (2012). Effect of steam content in the air–steam flow on biomass entrained flow gasification. *Fuel Processing Technology*, 99, 43-55.

<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.01.030>

Hernández, J. J., Lapuerta, M., & Monedero, E. (2016). Characterisation of residual char from biomass gasification: Effect of the gasifier operating conditions. *Journal of Cleaner Production*, 138(Part 1), 83-93. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.120>

Instituto Nacional de Vitivinicultura. (2024). *Informe Anual de Cosecha y Elaboración 2023.*

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/10/anuario_cosecha_y_elaboracion_2023.pdf

Leiva Butti, J. M. (2023). *Diseño de un modelo de producción de gas de síntesis a partir de orujo residual de la industria vitivinícola utilizando energía solar de concentración*. Universidad Nacional de Cuyo.

Leiva Butti, J. M., Núñez Mc Leod, J. E., & Rivera, S. S. (2020). Solar gasification of grape marc for syngas production: Solar-dish-coupled reactor basic engineering and optimization. *Chemical*

Leiva Butti, J. M., Tripp, N. G., Núñez Mc Leod, J. E., & Rivera, S. S. (2021). Effect of surface material properties and operating conditions on the heat flux and temperature distributions in the cavity receiver of a solar-dish-coupled biomass gasification reactor. *Energy Conversion and Management*, 244, 114303. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114303>

Loutzenhiser, P. G., & Muroyama, A. P. (2017). A review of the state-of-the-art in solar-driven gasification processes with carbonaceous materials. *Solar Energy*, 156, 93-100. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.05.008>

Manfrey Cooperativa de Tamberos de Comercializacion e Industrializacion LTDA. (2020). *Reporte de Sustentabilidad 2019*. <https://www.manfrey.com.ar/wp-content/uploads/2020/12/manfrey-2020-completo-OK-web.pdf>

Marculescu, C., & Ciuta, S. (2013). Wine industry waste thermal processing for derived fuel properties improvement. *Renewable Energy*, 57, 645-652. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.02.028>

Müller, F., Patel, H., Blumenthal, D., Poživil, P., Das, P., Wieckert, C., Maiti, P., Maiti, S., & Steinfeld, A. (2018). Co-production of syngas and potassium-based fertilizer by solar-driven thermochemical conversion of crop residues. *Fuel Processing Technology*, 171, 89-99. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.08.006>

Pisi, G. E. (2016, julio 14). *Ing. Agr. En Agencia de Extensión Rural Luján de Cuyo, Estación Experimental Agropecuaria Mendoza, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Comunicación personal*, 14 de julio de 2016 [Comunicación personal].

Podestá, L. (2016, julio 14). *Ing. Agr. En Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Comunicación personal*, 14 de julio de 2016 [Comunicación personal].

Puig-Arnavat, M., Tora, E. A., Bruno, J. C., & Coronas, A. (2013). State of the art on reactor designs for solar gasification of carbonaceous feedstock. *Solar Energy*, 97, 67-84. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.08.001>

Ré, F. (2019, junio 29). Como en Ticino, el maní iluminará a Las Junturas | Negocios. *La Voz*. <https://www.lavoz.com.ar/negocios/como-en-ticino-mani-iluminara-junturas/>

Rodriguez, M. (2018, agosto 3). *Téc. Com. Int., Coordinadora y Responsable Comercial, Derivados Vínicos S.A. Comunicación personal*, 3 de agosto de 2018 [Comunicación personal].

Román Rodríguez, Y. (2019, marzo 6). *Ing. Ind., Encargado de Ingeniería en Bodega Familia Zuccardi*.

Comunicación personal, 6 de marzo de 2019. [Comunicación personal].

System Advisor Model (2022.11.29 (SAM 2022.11.21)). (2022). [Software]. National Renewable Energy Laboratory. <https://sam.nrel.gov>

Thomson, R., Kwong, P., Ahmad, E., & Nigam, K. D. P. (2020). Clean syngas from small commercial biomass gasifiers; a review of gasifier development, recent advances and performance evaluation.

International Journal of Hydrogen Energy, 45(41), 21087-21111.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.05.160>

Tilman, D., Hill, J., & Lehman, C. (2006). Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass. *Science*, 314(5805), 1598-1600. <https://doi.org/10.1126/science.1133306>

Tregambi, C., Padula, S., Galbusieri, M., Coppola, G., Montagnaro, F., Salatino, P., Troiano, M., & Solimene, R. (2020). Directly irradiated fluidized bed reactor for thermochemical energy storage and solar fuels production. *Powder Technology*, 366, 460-469.

<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.02.045>

Valderrama Rios, M. L., González, A. M., Lora, E. E. S., & Almazán del Olmo, O. A. (2018). Reduction of tar generated during biomass gasification: A review. *Biomass and Bioenergy*, 108, 345-370.

<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.12.002>

Vidal, A., T. Denk, A. Valverde, R. Diaz, & Soler, J. F. (2012). *CRS-SSPS Solar Tower: A 2.7 MW Remodeled Test-bed for Solar Thermochemical Hydrogen Production*. 18th SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies, Marrakech, Morocco. <https://doi.org/10.13140/2.1.2338.2720>

Watson, J., Zhang, Y., Si, B., Chen, W.-T., & de Souza, R. (2018). Gasification of biowaste: A critical review and outlooks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 83, 1-17.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.003>

Wieckert, C., Obrist, A., Zedtwitz, P. von, Maag, G., & Steinfeld, A. (2013). Syngas Production by Thermochemical Gasification of Carbonaceous Waste Materials in a 150 kWth Packed-Bed Solar Reactor. *Energy & Fuels*, 27(8), 4770-4776. <https://doi.org/10.1021/ef4008399>

Xu, D., Gu, X., & Dai, Y. (2023). Concentrating solar assisted biomass-to-fuel conversion through gasification: A review. *Frontiers in Energy Research*, 10.

<https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.1029477>

- Yu, H., Zhang, Z., Li, Z., & Chen, D. (2014). Characteristics of tar formation during cellulose, hemicellulose and lignin gasification. *Fuel*, 118, 250-256. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.10.080>
- Zhou, B., Dichiara, A., Zhang, Y., Zhang, Q., & Zhou, J. (2018). Tar formation and evolution during biomass gasification: An experimental and theoretical study. *Fuel*, 234, 944-953. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.07.105>