

Redes sociotécnicas para la agricultura familiar en Misiones (Argentina)

Análisis de un proceso de co-diseño de objetos térmicos en ingeniería



Ana Padawer

CONICET, Instituto de Ciencias Antropológicas, Universidad de Buenos Aires, Argentina
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4024-4723> | apadawer66@gmail.com

Mayra Agustina Ramírez

Carrera de Ingeniería en Energía de la Escuela de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de San Martín, Argentina
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1040-0521> | mayraamirez@gmail.com



Palabras clave:

diseño | termomecánica | mandioca | ingeniería práctica

Recibido: 26 de agosto de 2021. Aceptado: 30 de agosto de 2021.

RESUMEN

En este artículo analizaremos el diseño de una secadora efectuado en una red sociotécnica integrada por universitarios, técnicos agrícolas y socios de una cooperativa de agricultores familiares que producen mandioca en Misiones (Argentina), quienes procuran utilizar los descartes de la manufactura de raíces para la elaboración de harina destinada a enriquecer alimento balanceado. Describiremos el diseño de la secadora atendiendo a dos etapas de problematización, las que implicaron la creación de objetos térmicos especifi-

cos: a) un conjunto compuesto por un horno-intercambiador-secador, y b) la revisión del intercambiador de calor para mejorar el proceso de deshidratación de la harina. Reflexionaremos, así, sobre la producción de conocimiento en la práctica profesional de la ingeniería, focalizando en un sector poco explorado por sus asimetrías constitutivas y desarrollo incipiente: el trayecto industrial de la agricultura familiar.

ABSTRACT

In this article we will analyze the design of a dryer carried out in a sociotechnical network made up by university actors, agricultural technical organizations and members of a cooperative of family farmers that produce manioc in Misiones (Argentina), who try to use the discards in the manufacture of roots for the elaboration of flour destined to enrich balanced food. We will describe the design of the dryer taking into account two stages of problematization, which implied the creation of specific thermal objects: a) a set consisting of a furnace-exchanger-dryer, and b) the revision of the heat exchanger to improve the dehydration process of the flour. We will thus reflect on the production of knowledge that occurs in the professional practice of engineering, focusing on a sector little explored due to its constitutive asymmetries and incipient development: the industrial path of family farming.

KEYWORDS

design | thermomechanics | manioc | practice of engineering

PRESENTACIÓN

En este artículo presentaremos el diseño de una secadora realizado mediante la colaboración de ingenieros/as, antropólogos/as, técnicos/as agrícolas estatales y productores/as cooperativos/as de mandioca en Misiones (Argentina). La antropología ha mostrado que los procesos de conocimiento, aun aquellos con un alto grado de abstracción, se ejecutan en contextos específicos que inciden en el entendimiento de aquello bajo escrutinio, transformando en el mismo acto aquel objeto considerado (Lave, 2011). En particular, los estudios etnográficos sobre la ingeniería han señalado que sus diseños se apoyan en un conocimiento formalizado de base matemática, mediante la problematización y el planteo de posibles soluciones utilizando lenguajes no ambiguos, aunque inevitablemente este proceso se verifica a partir de relaciones sociales expresadas en la acción de los profesionales, los que inciden en las sistematizaciones de procesos efectivamente realizadas (Vinck, 2014).

Para poder definir el contexto y relaciones sociales que incidieron en estos diseños térmicos efectuados en colaboración entre espacios universitarios y de agricultura familiar, describiremos la red sociotécnica en la que se desarrollaron, focalizando en los procesos de problematización conjunta (Callon, Law y Rip, 1986; Akrich, 1992; Latour, 2008). De esa manera procuraremos analizar los condicionamientos institucionales e interlocuciones que condujeron a la definición sucesiva de ciertos objetos térmicos: inicialmente un conjunto compuesto por un horno-intercambiador-secador, y luego una revisión del intercambiador de calor para mejorar el proceso de deshidratación de la harina.

Los conjuntos térmicos fueron definidos mediante la apropiación de ciertos recursos culturales objetivos en el ambiente inmediato (Rockwell, 2005) por parte de los ingenieros/as, antropólogos/as, técnicos/as y socios/as de la cooperativa que demandó el diseño, quienes fueron participando de manera específica en la problematización de los procesos de transformación necesarios para que los residuos de mandioca se conviertan en harina. Dado que la participación en estos diseños implicó a sujetos reconocidos como “profesionales expertos” y “usuarios”, la colaboración de actores heterogéneos mediante un “diálogo de saberes” supuso visibilizar las prácticas de conocimiento de los destinatarios de las maquinarias como parte fundamental del proceso de aprendizaje tecnocognitivo situado (Carenzo y Trentini, 2020).

Como veremos a continuación mediante una descripción etnográfica, los espacios universitarios concentraron las decisiones técnicas del diseño desde ciertos marcos predefinidos por los socios de la cooperativa, quienes demandaron determinadas maquinarias a partir del conocimiento derivado de visitas a ferias del sector mandioquero en Brasil. Los cálculos efectuados por el equipo de ingeniería estuvieron orientados por información contextual proporcionada por los socios, y las herramientas utilizadas por los ingenieros (simulaciones, programas de diseño de código abierto) también dependieron de situaciones específicas en las que fueron empleadas.

Las situaciones que delimitaron los diseños, por otra parte, no se limitaron a los espacios universitarios: la red sociotécnica se configuró en un contexto más amplio que incluyó instituciones gubernamentales de financiamiento, empresas de logística, comercios que proveían insumos, y viajes entre Misiones y Buenos Aires. El enfoque teórico metodológico de este trabajo pretende mostrar cómo los cálculos más abstractos devienen de situaciones que definen sus características y alcances. La descripción que presentaremos se apoya en observaciones participantes de situaciones en que las autoras del texto hemos sido parte, y optamos por incluir las voces de los participantes dentro de la narración (en estilo indirecto) para facilitar la lectura.

El artículo está organizado a partir de: 1) una descripción del contexto en el que se desarrolló la red sociotécnica, considerando las principales relaciones socio-históricas que configuran la producción de mandioca en Misiones (Argentina); 2) un análisis sobre la problematización que condujo al diseño del primer conjunto térmico: una secadora de paletas, un horno y un intercambiador, realizados mediante ingeniería inversa; 3) la revisión de dicha resolución técnica mediante la problematización de la eficiencia del secado, que condujo a la separación del intercambiador de calor del resto del conjunto, lo que permitió un diseño más complejo de este componente.

1) LA RED SOCIOTÉCNICA EN TORNO A LA HARINA DE MANDIOCA EN MISIONES

El principal uso alimenticio de la mandioca, cultivo de origen indígena domesticado en América hace unos 8000 años (Pearsall, 1992), consiste en el procesamiento de la raíz tuberosa cuyo desarrollo se completa en ciclos anuales o bianuales. En Argentina su cultivo se localiza principalmente en el extremo noreste del país: la provincia de Misiones concentra el 70% de la producción nacional, aunque muy por debajo de otros países sudamericanos como Brasil, Colombia o Paraguay, principales productores de la región (Burgos, 2018).

La expansión de la frontera agrícola en Misiones se desarrolló a partir de distintos frentes de ocupación pionera por parte de colonias agrícolas, las que se nutrieron principalmente de la inmigración europea entre

fin del siglo XIX y primeras décadas del siglo XX (Schiavoni y Gallero, 2017). La población indígena guaraní fue progresivamente desplazada hacia sectores cada vez más reducidos de la selva paranaense, proceso que se acentuó con la expansión de la industria forestal en la década de 1970 (Cebolla y Gallero, 2016).

Los colonos misioneros aprendieron de los indígenas a cultivar mandioca (Gallero, 2013), así como también sus técnicas domésticas de manufactura de harina y almidón, que permiten aumentar el período de conservación de las raíces, ya que sufren deterioros fisiológicos a sólo 48 horas de la cosecha (Uset, 2016). Entre las décadas de 1950 y 1960 se establecieron las primeras industrias de harina y almidón en Misiones, en algunos casos como empresas familiares y en otros como cooperativas: mientras la manufactura de harina de mandioca se discontinuó rápidamente por la competencia de la harina de trigo producida en la pampa húmeda, el almidón continuó expandiéndose hasta la actualidad, debido a su calidad industrial superior frente a otros productos análogos, tales como el almidón de maíz o de papa (Padawer, Oliveri y Soto, 2020).

La red sociotécnica en torno a la elaboración de harina de mandioca, que analizaremos a continuación, se conformó a partir de un proceso de enrolamiento progresivo de actores heterogéneos (Callon, Law y Rip, 1986). Hacia 2016, un equipo de investigación antropológico de Buenos Aires que realizaba su trabajo de campo etnográfico en Misiones –entre quienes se encuentra una de las autoras de este artículo– se conectó con un técnico agrícola estatal para conocer sus actividades de capacitación en terreno. A partir de la difusión de un concurso público para financiar proyectos de economía social, la antropóloga y el técnico agrícola decidieron apoyar a una cooperativa de reciente creación que comercializaba mandioca fresca. Obtenido el financiamiento, esta primera red sociotécnica trabajó durante un año en la incorporación de una máquina de envasado al vacío para raíces de mandioca, proceso que, si bien se realizó exitosamente, generó un volumen importante de descartes que reducía de manera significativa el margen de ganancias esperado (Padawer, Oliveri y Soto, 2020).

Cuando en 2017 se abrió una convocatoria de financiamiento para voluntariados universitarios, estos actores que ya se encontraban vinculados entre sí recurrieron a un programa interdisciplinario de desarrollo de la universidad donde participaban graduados de ingeniería, para de esa manera conseguir ayuda técnica especializada en el equipamiento para procesar los descartes. El marco institucional que proveía el financiamiento condujo a que la red sociotécnica se orientara hacia un proyecto que incluyera un componente formativo para estudiantes: fue así como se enrolaron dos profesores del último año de la carrera de Ingeniería de la misma universidad, uno de la orientación mecánica y otro de industrial, quienes a su vez abrieron una convocatoria para trabajos profesionales de los estudiantes del último año de la carrera, para que estudiaran específicamente este tema.

Los socios de la cooperativa habían identificado en ferias del sector mandioquero en Brasil los distintos componentes necesarios para la elaboración de harina, a partir de los cuales definieron dos máquinas imprescindibles para procesar los descartes: una prensa y una secadora. Fue así como la problematización de la red sociotécnica se articuló en torno a dos objetos técnicos (Callon, Law y Rip, 1986), los que fueron traducidos como proyectos de una asignatura en la carrera de Ingeniería, lo que permitiría generar diseños sin costos de honorarios profesionales, acceder al financiamiento del programa de voluntariado universitario para adquirir las piezas a ensamblar, y construir las máquinas con apoyo de mecánicos vinculados con la cooperativa.

El complejo de la prensa-secadora se presentó a los estudiantes como un proceso de ingeniería inversa legítima (Chikofsky y Cross, 1990), en tanto se produciría un diseño nacional para un producto que ya no se elaboraba en la Argentina: la harina de mandioca. De esta manera se combinaba el propósito formativo en ingeniería con un proyecto de interés público, ya que los diseños de la prensa y la secadora se entregarían libres de patentes a las asociaciones beneficiarias (la cooperativa en primer lugar, pero también el Clúster de la Mandioca Misionera, entidad de segundo grado a la que pertenecía la asociación).

La inclusión de estudiantes del último año le imprimió al proyecto el ritmo de los ciclos académicos (Di Deus, 2020): los profesores debían esperar que los cuatro estudiantes, organizados en dos parejas a cargo de cada una de las máquinas, identificaran los problemas de ingeniería involucrados en el proceso. Si bien los profesores los asistían pedagógicamente en su resolución, los estudiantes debían mostrar cierta autonomía profesional para poder acreditar la asignatura.

Por otra parte, aun cuando en los conjuntos que se comercializaban en Brasil se solía incluir un molino como proceso previo a la prensa, y un tamiz entre esta y la secadora, en esta segunda red sociotécnica el problema quedó implícitamente delimitado en el diseño de un complejo prensa-secadora: los motivos de esta definición eran principalmente financieros, ya que el concurso apenas permitía afrontar los gastos de las dos máquinas principales. Sin embargo, esta restricción en el diseño del conjunto no fue considerada limitante, ya que los conjuntos brasileños estaban destinados al procesamiento de raíces enteras para harina de consumo humano, mientras que esta cooperativa necesitaba procesar solamente los residuos (cáscaras y puntas) de las raíces envasadas al vacío.

En otro trabajo hemos analizado el proceso de diseño de la prensa, por lo que a continuación nos detendremos en la descripción de los diseños térmicos de la secadora, que implicaron una formulación inicial y luego una etapa de revisión durante el mismo proceso de diseño, en la que se incorporaron nuevos docentes y estudiantes de ingeniería –entre los que se encuentra otra de las autoras de este artículo–. Si bien el conjunto de la prensa y la secadora fue proyectado por la misma red sociotécnica y sus diseños no pueden considerarse aisladamente, sus especificidades permiten un análisis pormenorizado de cada uno de sus componentes.

2) EL DISEÑO DEL PRIMER OBJETO TÉRMICO: EL CONJUNTO HORNO-INTERCAMBIADOR-SECADORA DE PALETAS

De acuerdo a los cálculos realizados por el equipo de estudiantes que diseñó la prensa, una vez que los trozos de mandioca hubieran atravesado dicha etapa, la humedad de la materia prima rondaría el 30%. Para continuar con la eliminación de agua de los residuos previa a la molienda final, los estudiantes que diseñaban la secadora establecieron que debían llegar a un porcentaje teórico menor al 10% de humedad, ya que ese rango inhibe el desarrollo de microbios que pueden alterar la calidad del producto (Aristizabal y Calle, 2015).

Para el diseño de un método físico/ térmico de deshidratación, los estudiantes de ingeniería trabajaron con un folleto proporcionado por los socios de la cooperativa, donde se describía una variante del método de secado tradicional en las *casas de farinha* de Brasil, basado a su vez en técnicas indígenas (Figura 1). Este método consiste en la disposición de una fuente de calor directo (fogón), sobre la cual se coloca una

bandeja o recipiente metálico liso que recepciona la harina a secar, y requiere que un trabajador agite constantemente la harina mediante un bastón con algún tipo de concavidad o tope, que facilita la acumulación de material para su desplazamiento.

Figura 1. Elaboración artesanal de farinha de Uarini (Indicação de Procedência UARINI reconocida en los municipios de Uarini, Alvarães, Maraã y Tefé, Estado de Amazonas, Brasil).



Fuente: recuperado de <https://datasebrae.com.br/ig-uarini/>

Los conjuntos industriales comercializados actualmente en Brasil suelen ofrecer, como variante, una fuente de calor alternativa al fuego directo: generalmente un horno con una apertura en la parte superior y colocado en la parte inferior de la bandeja contenedora evita la exposición de los trabajadores al fuego directo, además de aumentar la eficiencia evitando la pérdida del calor por los laterales. Por su parte, el recipiente que se ofrece comercialmente para la industria también ofrece una alternativa a la bandeja manipulada por un trabajador: una batea con paletas giratorias permite automatizar el proceso de agitado permanente de la harina, para evitar que se queme.

El principio térmico general de este método de secado, traducido en el proceso de diseño en curso, suponía la delimitación de la mejor forma de generar un flujo de aire caliente vertical, de manera que se evaporaran los restos de humedad en los trozos de mandioca previamente prensados. Para delimitar ese flujo de calor, los dos estudiantes de ingeniería enrolados en el diseño de la secadora procedieron a caracterizar el contenido de humedad de los residuos de mandioca en relación a la exposición térmica, aplicando al diseño en curso una serie de cálculos matemáticos que habían sido efectuados en la Universidad Nacional de Colombia (Godoy, 2011).

De manera general, el proceso de ingeniería inversa (Chikofsky y Cross, 1990) consistió en un análisis de los procesos térmicos involucrados en los modelos existentes; para ello los estudiantes produjeron una serie de conocimientos situados con la información disponible (Lave, 2011). Específicamente analizaron: 1) el espacio físico que la cooperativa utilizaría, 2) el volumen de materia prima a secar, 3) el tamaño de los residuos, 4) las características ambientales (temperatura y humedad) y 5) la energía disponible para poner en funcionamiento las maquinarias para el caso de Misiones.

En relación al espacio físico (1), la cooperativa informó que no tenían restricciones ya que contaban con un amplio galpón de trabajo; esto permitió que los estudiantes pudieran dimensionar la secadora

en función de otros parámetros como el volumen de materia prima y el valor de los insumos para construir las máquinas, sin tener en cuenta otros aspectos como las restricciones de espacio o su eventual movilidad (las máquinas brasileras suelen ofrecer esta facilidad). El volumen de materia prima (2) se estableció en unos 800 kg diarios, promedio estimado por la cooperativa en base a su producción actual de descartes.

El tamaño irregular de los residuos (3), condicionado por la decisión de evitar el secado de la mandioca mediante fuego directo (ebullición), orientó a los estudiantes a un diseño de una batea con perforaciones que permitiera la circulación de aire (secado por arrastre). Este ajuste respecto de los métodos tradicionales recién descritos, que secan o tuestan la materia prima ya molida, constituyó una elección técnica fundamental que distingue el diseño emprendido respecto de sus antecedentes.

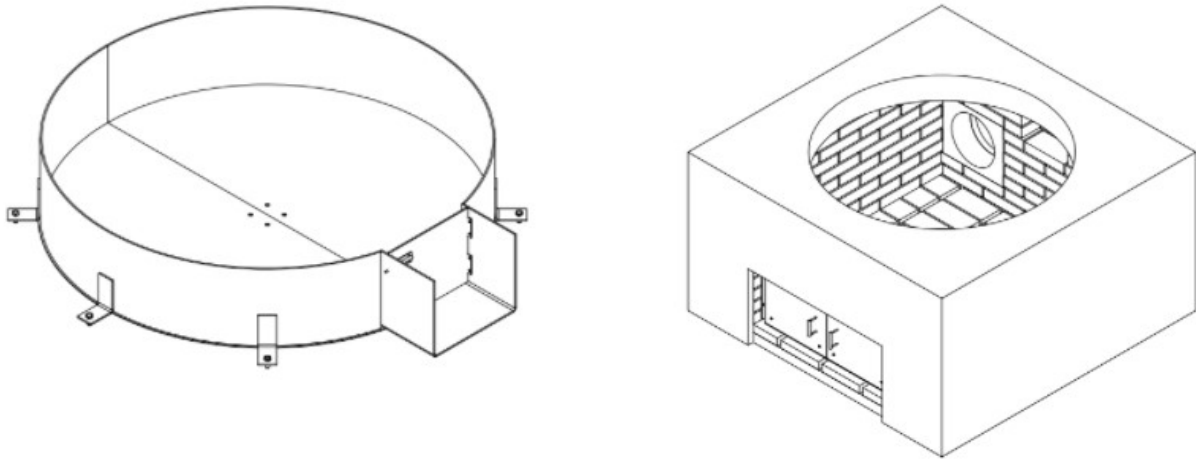
Respecto de las características ambientales (4), los ingenieros tuvieron en cuenta la temperatura y la humedad promedios de la zona, tomando como referencia los valores de la ciudad de Posadas (a unos 60 km de la localidad de la cooperativa), obtenidas a partir de tablas e información pública del Servicio Meteorológico Nacional. Finalmente, sobre la energía a utilizar (5), las opciones propuestas consistían en electricidad, gas o leña, seleccionando la tercera opción, ya que los descartes de la industria forestal abundan en la zona y resultan más asequibles en relación con el resto.

Los estudiantes fueron comparando los diseños iniciales, basados en la información contextualizada recién mencionada, con otros métodos alternativos disponibles. Fue así como el horno con mezclador fue comparado con otras opciones como el secador de tambor rotatorio, estableciéndose que la complejidad del segundo excedía el presupuesto disponible. También descartaron el secado por bandejas, proceso habitual en la industria panadera para volúmenes entre 25 y 50 kg/h, ya que la cooperativa requería el secado de unos 100 kg/h. Finalmente, eliminaron el secado por cinta transportadora, porque su velocidad de deshidratación variable requería de cálculos más complejos que aquellos a los que habían accedido los estudiantes, aproximando las curvas de procesos de secado constante (Cengel, 2007).

Desde el punto de vista de los trabajos académicos, la comparación de métodos era una etapa ineludible. Sin embargo, la elección técnica estuvo principalmente determinada por el objeto térmico que la cooperativa había propuesto: la eventual conveniencia de otro método hubiera requerido de debates adicionales dentro de la red sociotécnica para su implementación. Luego de que los estudiantes ratificaran la delimitación de los objetos térmicos propuestos por la cooperativa, pasaron a analizar los componentes principales en detalle: la batea perforada provista de paletas (Figura 2), el horno secador (Figura 3) y el intercambiador de calor (Figura 4), que conformaron el conjunto de la secadora (Figura 5).

Como dijimos, la diferencia más sustantiva respecto de los modelos existentes en el mercado brasileño consistía en colocar una batea perforada para permitir que el flujo vertical de aire del horno sea mayor, mejorando las condiciones de trabajo en el espacio de la cooperativa y acelerando el secado de trozos de mandioca que no habían sido molidos.

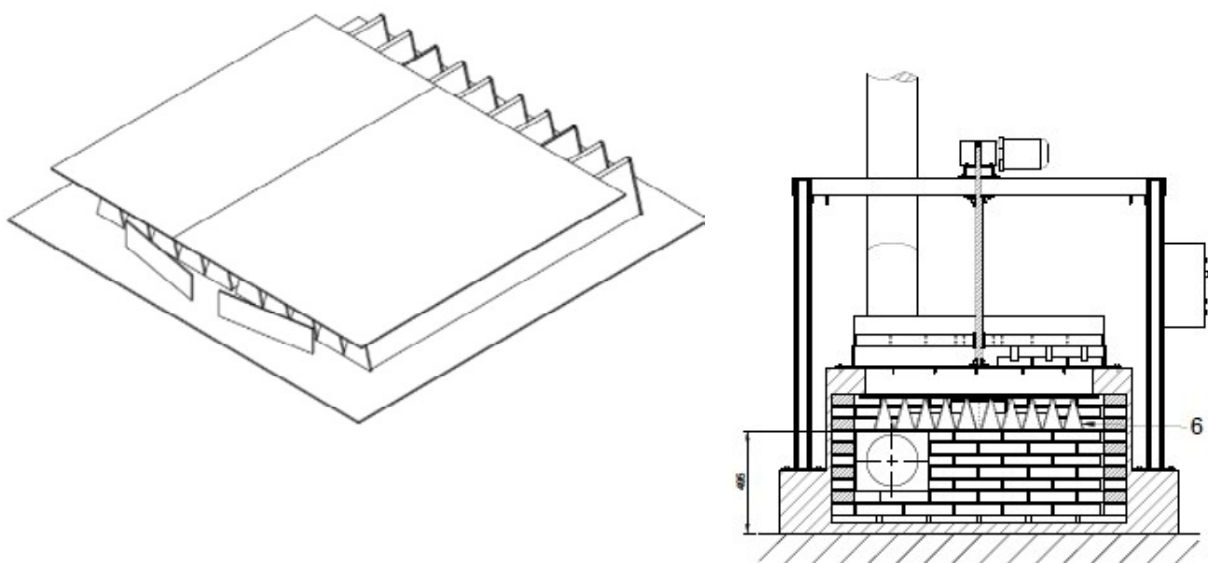
Figura 2. Batea (sin detalle de paletas ni perforaciones en el dibujo) y
Figura 3. Horno con puerta de ingreso y salida de gases hacia chimenea.



Fuente: elaboración propia.

Esta decisión técnica respecto de la batea condicionó al segundo componente: fue así como se diseñó el intercambiador de calor, que, colocado entre el horno de apertura superior y la batea perforada, tenía como propósito transferir un aire caliente y “limpio” a la batea mediante la absorción del calor generado por la leña, evitando que los gases “sucios” de la combustión generados en el horno entren en contacto con la mandioca.

Figura 4. Intercambiador ubicado entre el horno y la batea, y
Figura 5. Conjunto completo de la secadora en vista lateral.



CORTE A-A
ESCALA 1:15

Fuente: elaboración propia.

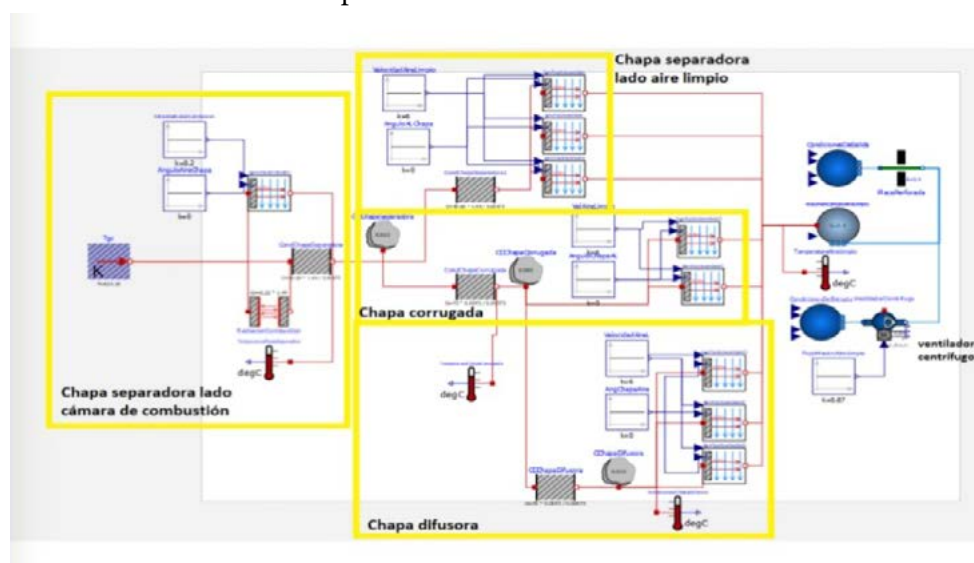
En este primer diseño, el intercambiador de calor consistía en una serie de canaletas de chapa que debían transferir el aire limpio hacia los restos de mandioca, atravesando los orificios de la batea a partir del impulso de un ventilador. Los gases producidos en el horno, por otra parte, se expulsarían por la chimenea colocada en una de las paredes laterales del horno.

A partir de ecuaciones propuestas en textos de referencia (Mahecha Godoy, 2011), los estudiantes efectuaron cálculos en planillas de Excel para evaluar la transferencia térmica en el diseño: consideraron así el tiempo de secado estimado, el calor requerido, las pérdidas y el rendimiento energético del horno. Dos variables decisivas en estos cálculos fueron: 1) que la temperatura de las láminas metálicas de la batea y el intercambiador no superaran los 400 °C, para evitar roturas o fisuras en los materiales, y 2) que la temperatura exterior de la cámara de combustión donde se quemaría la leña no supere los 65 °C, para mejorar las condiciones de higiene y seguridad del trabajo de los operarios.

Para revisar el funcionamiento del intercambiador que estaban diseñando, los estudiantes recurrieron a simulaciones realizadas en el software OpenModelica. Este software de código abierto les permitió visualizar el comportamiento térmico, ya que el mismo es usado habitualmente para simulaciones industriales, y les permitió a los estudiantes confirmar los cálculos sobre la transferencia de calor que habían realizado, analizando los intercambios térmicos vinculados a la convección, radiación y conducción en las diferentes placas.

Para simular el ingreso del aire mientras aumentaba su temperatura, los estudiantes caracterizaron la convección entre el flujo del aire limpio y la placa diseñada como intercambiador. Para ello dividieron el proceso en tres partes, una inicial que representaba la parte frontal del intercambiador cuando ingresa el aire, el traslado del flujo a lo largo del tubo y la salida de este por la parte superior perforada. Fue así que pudieron precisar que la temperatura final del aire, que en los cálculos de Excel habían obtenido como resultado 50,41 °C; en la simulación arrojaba un valor de 51 °C (Figura 6).

Figura 6. Simulación de flujos de calor del intercambiador elaborada por los estudiantes con el software.



Fuente: elaboración propia.

Esta temperatura de salida del aire hacia la batea en alrededor de 51°C, anticipada en los cálculos y confirmada en la simulación, llevó a que los estudiantes revisaran el diseño del intercambiador: en los cálculos previos habían establecido que la temperatura del aire debía llegar a unos 70 °C. para poder cumplir con el ritmo de procesamiento diario de residuos que la cooperativa les había anticipado como meta. Aprovechando el sistema de simulación, realizaron una modificación simple del diseño del intercambiador que consistía en retirar una de las placas separadoras de la base, lo que arrojó un valor muy próximo al esperado: 69,7 °C.

Las aproximaciones numéricas y simulaciones les permitieron a los estudiantes calcular el rendimiento total del sistema, que arrojó como resultado un 29,7% de aprovechamiento del calor proporcionado por el horno. En su trabajo final los estudiantes advirtieron que, si se mejoraba la transferencia del calor generada en el horno, se podrían reducir los tiempos de secado. No obstante, la resolución del conjunto horno-intercambiador-secador realizada durante 2018 y 2019 fue aceptada en la red sociotécnica fundamentalmente por dos motivos: porque reflejaba los conocimientos disponibles y esperables por parte de los estudiantes, y porque la cooperativa esperaba contar con las máquinas para procesar los residuos lo más rápidamente posible, aun cuando no fueran del todo eficientes.

El exiguo presupuesto con el que contaba el proyecto obligó a concluir la etapa de diseño con algunos problemas técnicos detectados por el equipo de ingeniería, que la red optó por posponer. Además del intercambiador, otro déficit consistía en las pérdidas de calor asociadas a los gases de escape (chimenea del horno), que a futuro podrían disminuirse aprovechando esas mismas emanaciones para el precalentamiento del aire del conjunto, u en otro proceso térmico que la cooperativa quisiera emprender.

3) EL SEGUNDO OBJETO TÉRMICO: LA REVISIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

Desde el diseño inicial del intercambiador de calor por parte de los estudiantes, entre los académicos de la red sociotécnica circulaba la idea de que se trataba de una solución rudimentaria, de baja eficiencia térmica para cumplir los objetivos proyectados, aunque adecuada al presupuesto disponible. Desde el punto de vista de la cooperativa, contar con las maquinarias funcionando, aunque fueran ineficientes, constituía una mejora: desde que habían iniciado el proceso de envasado al vacío y comercialización de raíces peladas, los descartes no tenían ningún uso y generaban incluso mayores pérdidas por el trabajo necesario para su disposición como residuos.

Las adquisiciones de los componentes de los diseños ya consolidados (la prensa, el horno, la batea) se suspendieron en 2019 porque el financiamiento del proyecto de economía social en la universidad se había licuado por la inflación imperante. Fue así como en 2020, a partir de la posibilidad de obtener un nuevo financiamiento por parte de un área de apoyo a proyectos estratégicos de la universidad, en la red sociotécnica se comenzó a evaluar la posibilidad de revisar el diseño del intercambiador, lo que podía ser presupuestado junto con las adquisiciones pendientes.

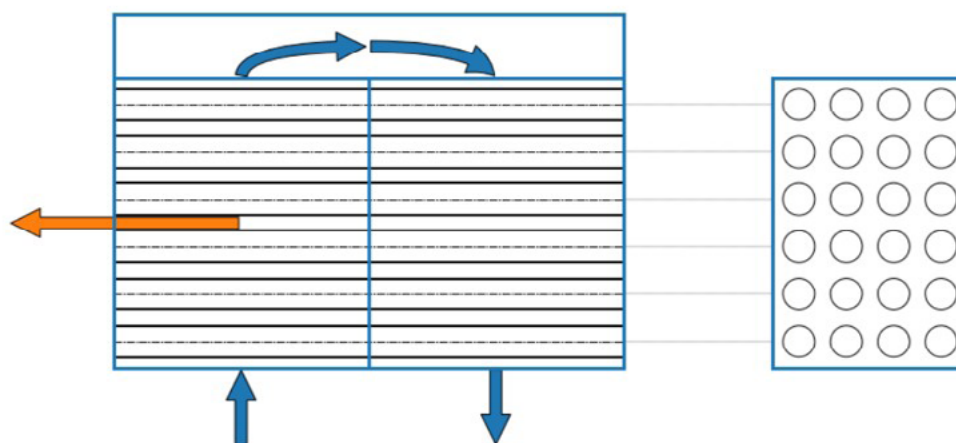
Para diseñar el equipo nuevo se partió del sistema denominado habitualmente en ingeniería como “casco y tubos”, un intercambiador industrial muy conocido que podría revisarse y adaptarse a los requerimientos del conjunto de horno-secadora de paletas ya en proceso de ensamble. Como la red sociotécnica contaba nuevamente con un presupuesto acotado, la labor de diseño fue generando algunas modificaciones res-

pecto al modelo clásico, pero aun con estas restricciones, este nuevo intercambiador constituía para los académicos un “salto de calidad”, ya que no sólo permitiría la división del sistema en sus tres componentes: por un lado el horno, por el otro el intercambiador nuevo, y por último la batea perforada con las paletas rotativas, sino que aumentaría su rendimiento. Esto aproximaba la semejanza del proceso industrial en una cooperativa de agricultura familiar con respecto a aquellas organizaciones más capitalizadas, permitiendo, además, que se fueran incorporando en el futuro nuevas mejoras en el equipamiento.

Del modelo de “casco y tubos” se adoptó la idea principal de que el sistema del intercambiador estaría compuesto por una carcasa exterior por donde circularían los gases producto de la combustión de la leña, y un conjunto de tubos por donde circularía el aire limpio. A partir de los cálculos efectuados por los estudiantes con anterioridad (temperatura de funcionamiento del horno de 400 °C y temperatura del aire para secar la mandioca de 70 °C), uno de los cambios respecto al modelo industrial más convencional fue la definición de una carcasa de forma rectangular (no cilíndrica), ya que podría moldearse en una metalúrgica a un costo menor.

Para el diseño del nuevo intercambiador se seleccionó una herramienta técnica también novedosa en la red sociotécnica: un lenguaje de programación que facilitaba los cálculos (Python), articulado con un sistema web que permitía el trabajo colaborativo en ese lenguaje (Kaggle). Esta elección técnica (Lemmonier, 2006) modificó la forma de circulación de los documentos de trabajo entre los ingenieros, permitiendo el uso de librerías que contemplan el trabajo conjunto de investigadores, académicos y desarrolladores, y facilitando los cálculos mediante una herramienta que continuaba recurriendo al código abierto en el diseño (Figura 7), lo que proporcionaba continuidad a la línea de trabajo con documentos e insumos de carácter público.

Figura 7. Modelo en Python del intercambiador.



Fuente: elaboración propia.

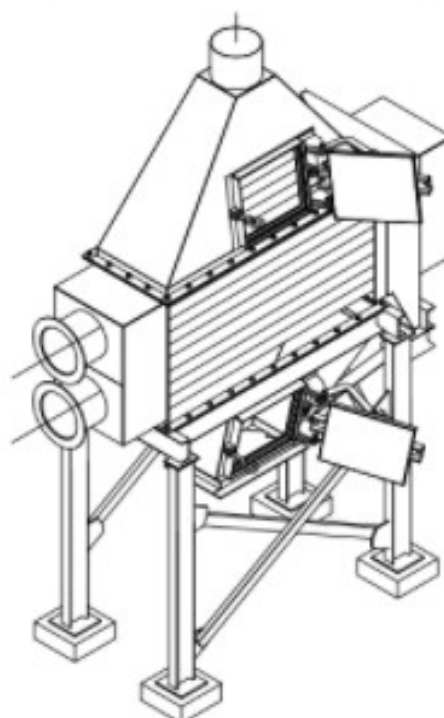
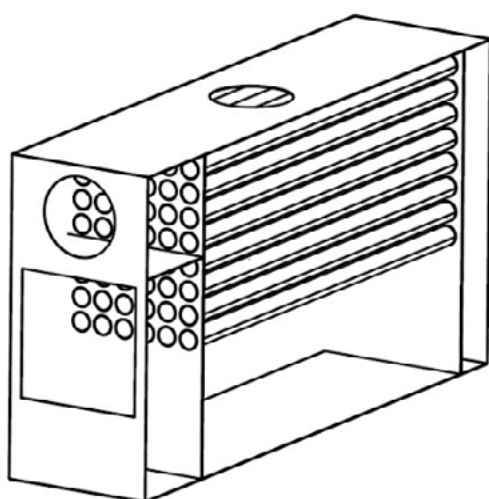
Debido a las dimensiones del nuevo conjunto, uno de los desafíos del diseño fue el aumento de pérdidas por fricción entre los fluidos, gases y aire en el sistema. En el modelo inicial se habían calculado pérdidas análogas, por lo cual se había diseñado y adquirido un ventilador para forzar el pasaje del aire; sin embar-

go, en el nuevo diseño las pérdidas eran mayores y, por lo tanto, el equipo de ingeniería propuso adquirir un ventilador de mayor potencia.

La necesidad de reemplazar el ventilador generó algunos debates dentro de la red sociotécnica debido a que implicaba invertir parte del presupuesto, de por sí reducido, en un equipo que se había adquirido unos meses antes y luego se juzgó inadecuado para los nuevos requisitos de diseño. Asimismo, se ponderaba negativamente que el ventilador anterior ya se había enviado a Misiones para el ensamblado, atendiendo que la logística implicaba recursos financieros y humanos, aclaraciones al mecánico que estaba ensamblando las máquinas allí, entre otras complicaciones. Sin embargo, el debate se saldó con relativa facilidad: la práctica habitual de la cooperativa de refuncionalizar las máquinas “que no funcionan” (Thomas, Becerra y Bidinost, 2019), compartida por aquellos ingenieros de la red sociotécnica con experiencia en la industria, condujo a que se acordara la compra del nuevo ventilador, anticipando que se le daría otros usos al que ya se había adquirido.

El diseño del nuevo intercambiador fue evolucionando a partir de los cálculos y estimaciones elaborados por el equipo de ingeniería. El director del proyecto, principal desarrollador del nuevo diseño, generó en Python las primeras ideas y luego mediante Freecad, sistema para dibujo asistido de acceso libre que permite modelar en tres dimensiones los sistemas mecánicos, se realizaron ajustes (Figura 8). Finalmente, un “cadista” de una empresa dedicada al diseño térmico industrial, enrolado por los profesores del equipo universitario para colaborar en el proyecto, ofreció la última versión (Figura 9) a partir de la información proporcionada por la red sociotécnica mediante los cálculos y el modelo 3D.

Figura 8. Modelo Freecad, y Figura 9. Diseño final del cadista.



Fuente: elaboración propia.

El procedimiento en Python permitió realizar los cálculos térmicos, desarrollando esta vez con mayor detalle la mecánica de los fluidos del sistema para cumplir con los límites establecidos por los estudiantes en el primer diseño. El trabajo de ingeniería fue análogo a las operaciones realizadas en las planillas y las simulaciones en la primera etapa, pero aprovechando en esta ocasión las librerías para el trabajo colaborativo, así como bibliografía más especializada sobre transferencia de calor y fluidodinámica para el desarrollo del intercambiador.

A partir de estos cálculos se estableció “la geometría” del intercambiador: la cantidad de tubos necesarios y su distribución para que el sistema resulte simétrico y coincida con el contenedor rectangular que había sido establecido previamente como requisito para reducir costos. Esto permitió lograr una eficiencia del equipo superior al 60%, duplicando el rendimiento del conjunto de la secadora, que en la primera etapa se había definido en 29,7%.

El dibujo mecánico mediante el Freecad permitió presentar al cadista un diseño preliminar sobre las dimensiones y la estructura del intercambiador. Además, esta representación gráfica detallada también permitió visualizar medidas para las conexiones y espacios que no habían sido considerados en los cálculos, los que modificaron el tamaño inicial del equipo. Una vez enviado el dibujo mecánico con sus respectivas condiciones al cadista, este tomó el diseño original y lo complementó con la estructura necesaria para sostenerlo y elevarlo a una altura acorde con el resto del conjunto (base), diseñando adicionalmente una campana superior para la salida de los gases hacia la chimenea y, en la parte inferior, un contenedor de cenizas y restos de la combustión; ambos con acceso para facilitar la limpieza del equipo.

CONCLUSIONES

La red sociotécnica que se propuso diseñar una prensa y una secadora, a fin de que una cooperativa de agricultores familiares en Misiones pudiera elaborar harina de mandioca, se configuró desde un inicio a partir de la escasez de recursos financieros: se apoyó en proyectos universitarios de voluntariado o economía social engorrosos en su administración, frecuentemente orientados a actividades de capacitación y no a construcciones de maquinaria, e insuficientes por el contexto inflacionario en el que se desarrollaron. Estas han sido las razones de mayor peso para que hoy, a cuatro años del inicio del trabajo en colaboración, las máquinas no se hayan finalizado aún.

La asimetría constitutiva de quienes integran la red sociotécnica: académicos, técnicos gubernamentales y socios de una cooperativa, se asentó como una estructura de relaciones implícitas basada en el propósito de producir objetos técnicos propios de la industria entre actores de la agricultura familiar, por lo que la experticia en torno a cómo hacer los diseños mediante ingeniería inversa se localizó en el espacio académico exclusivamente, aun cuando los mecánicos asociados a la cooperativa serían los encargados de los ensambles de las máquinas y, de manera más significativa, porque los objetos técnicos mismos: la prensa y la secadora, fueron predefinidos por las indagaciones en las ferias del sector por parte de los miembros de la organización social agrícola.

La distancia geográfica entre los integrantes de la red sociotécnica fue un aspecto determinante en los vínculos que se desplegaron a partir de esta estructura de relaciones implícitas, ya que Misiones y Buenos Aires se encuentran a 1000 km de distancia, lo que implicaba la planificación de visitas con anticipación y

la delimitación de actividades precisas a realizar en cada viaje. Por otra parte, la pandemia de COVID- 19 impidió que los universitarios viajaran a la cooperativa desde febrero de 2020 a setiembre de 2021.

Siendo la distancia un condicionamiento desde el inicio del proyecto, los medios virtuales fueron una herramienta utilizada con distinta intensidad y de manera dispar para los encuentros en la red sociotécnica, permitiendo la circulación de imágenes (planos, piezas a ensamblar), listados y planillas necesarios para las adquisiciones; el software libre de diseño en ingeniería facilitó ciertas comunicaciones dentro del espacio académico, pero el uso restringido de tales herramientas fue un obstáculo para que se incorporara temprana y más ampliamente su uso.

Una tensión permanente en la red, planteada desde el inicio, radicaba en los ritmos diferenciales de concreción proyectados: la cooperativa procuraba que las máquinas se construyeran lo antes posible, mientras que la universidad requería tiempo para estudiar el proyecto, formar a los estudiantes y gestionar los fondos. A medida que los recursos fueron mermando, el ensamble fue extendiéndose en el tiempo y esta prolongación fue oportunidad para que los diseños en colaboración se fueron complejizando. De esa manera la red pasó a sostenerse principalmente a partir de los vínculos entre técnicos provinciales y académicos que revisaron cálculos, simulaciones y planos, conduciendo a modificaciones sustantivas, tales como el diseño completamente nuevo del intercambiador de calor.

En algunos casos las restricciones presupuestarias impidieron concretar las ideas iniciales (por ejemplo, no se pudieron adquirir las paletas de la batea); pero en otros casos los ajustes en el diseño provinieron de la intención de los universitarios de dotar a la cooperativa, integrada por agricultores familiares, de un equipamiento industrial que constituyera un “salto de calidad”, aproximándolos a aquellos establecimientos más capitalizados: ese fue el caso del rediseño del intercambiador de calor presentado en detalle en el texto.

Desde que comenzó el diseño de la prensa y la secadora, la dinámica de la red incluyó un proceso permanente de revisiones que los socios de la cooperativa en ocasiones contrapesaban con la celeridad en los resultados que podrían haber obtenido si la cooperativa hubiera podido (y optado) por la adquisición de un conjunto de elaboración de harina “prearmado”, tales como los que se ofrecen en el mercado brasileño. Por otra parte, este proceso de revisión ya resultaba habitual en esta cooperativa de agricultores familiares, que había comenzado a transitar el sendero de los establecimientos industriales que usualmente “crecen” mediante el ajuste de procesos que se produce cada vez que se introduce una nueva maquinaria, adquirida o diseñada por ellos mismos.

Entre los universitarios que fueron enrolados sucesivamente por la red sociotécnica, este proceso de revisión resultaba interesante tanto como dimensión formativa de los estudiantes, como para definir problemas de ingeniería práctica acotados entre estudiantes e investigadores más habituados a problematizaciones teóricas. Las revisiones derivadas de los ajustes de presupuesto, así como el enrolamiento progresivo de diferentes estudiantes e ingenieros/as que “tomaban la posta” y analizaban desde otros puntos de vista los mismos cálculos, generó un desafío de traducción mutua (la ingeniería inversa inicial, y luego los distintos equipos a cargo de los diseños), demostrándoles que aun “hablando el mismo idioma” altamente formalizado y plasmado en los textos, cálculos y diagramas, las conversaciones informales les permitían interpretar ciertas elecciones técnicas realizadas por sus colegas con mayor fluidez.

El diseño en colaboración de estos objetos técnicos fue determinado, sobre todo, por lógicas institucionales y económicas que impidieron al equipo universitario satisfacer las demandas de la cooperativa, al menos en un tiempo razonable. No obstante, el vínculo establecido entre estos actores heterogéneos a lo largo del tiempo permite anticipar que, con el apoyo estatal y asociacionista adecuado, es posible realizar diseños de ingeniería en colaboración novedosos en el país, fundamentados en demandas específicas y situadas de la agricultura familiar. Las redes sociotécnicas que sostienen estos diseños colaborativos los vuelven permeables a la revisión permanente, lo que si bien por momentos es experimentado como un déficit que genera tensiones entre los miembros, también es un factor decisivo para el despliegue de la creatividad y el ajuste permanente a las necesidades planteadas por quienes participan del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akrich, M. (1992). The De-Description of Technical Objects. En: W. E. Bijker, Wiebe y J. Law (eds.), *Shaping Technology/building society: studies in sociotechnical change* (pp. 205-224). Cambridge: MIT Press, 205-224.
- Aristizábal, J. y Calle, F. (2015). Producción, procesamiento, usos y comercialización de mandioca. *Cuaderno Tecnológico* No 22. Instituto Nacional de Tecnología Industrial.
- Burgos, A. M. (2018). Estado actual del cultivo de mandioca en la República Argentina. *Agrotecnia*, 27, 14-18. DOI 10.30972/agr.0273482.
- Callon, M.; Law, J. y Rip, A. (1986). *Mapping the dynamics of science and technology*. Londres: MacMillan.
- Carenzo, S. y Trentini, F. (2020). Diálogo de saberes e (in)justicia epistémica en la construcción colaborativa de conocimientos y tecnologías: interpelando dicotomías desde las prácticas. *Revista Ucronias*, (2), 11-129. Recuperado de en www://ucronias.unpaz.edu.ar
- Cebolla Badie, M. y Gallero, M.C. (2016). "Eran sólo indios..." la construcción de la alteridad mbya en el Alto Paraná de Misiones, Argentina (1920-1960). *Cuadernos Lepaarq*, Vol. XIII(26) (consultado 18/10/2019).
- Çengel, Y. (2007). Transferencia de calor y masa. Un enfoque práctico. México: Mac Graw-Hill.
- Chikofsky, E. y Cross, J. (1990). Reverse Engineering and Design Recovery: A Taxonomy. *IEEE Software*, 7, 13-17.
- Di Deus, E. (2020). A borracha que apaga o café: notas para uma história tecnoambiental da seringueira em São Paulo. *Estudos Ibero-Americanos*, 46(1), 1-19.
- Faulkner, W. (2007). 'Nuts and Bolts and People'. Gender-Troubled Engineering Identities. *Social Studies of Science*, 37(3), 331-356.

- Latour, B. (2008). *Reensamblar lo social. Una introducción a la teoría del actor-red*. Buenos Aires: Manantial.
- Lave, J. (2011). *Apprenticeship in Critical Ethnographic Practice*. Chicago-IL: University of Chicago Press.
- Lemonnier, P. (2006). *Technological choices*. London, Nueva York: Routledge.
- Mahecha Godoy, J. C. (2011). Determinación de los parámetros para la simulación matemática del proceso de deshidratación de la uchuva. Bogotá: Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia.
- Padawer, A.; Oliveri, M. y Soto, A. (2020). Trayectorias socio-técnicas en torno a la mandioca en el noreste de Argentina: aprendizajes situados en torno a la incorporación de maquinaria por parte de una cooperativa de productores En: A. Padawer (comp.), *El mundo rural y sus técnicas: estudios sociales sobre la producción de conocimiento en la agricultura familiar, la comercialización de alimentos y la agroindustria* (pp. 439-468). Buenos Aires: Editorial de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires.
- Pearsall, D. (1992). The origins of plant cultivation in South America. En C. Cowan y P. J. Watson (eds.), *The Origins of Agriculture: An International Perspective* (pp. 173-206). Washington DC: Smithsonian Institution Press.
- Rockwell, E. (2005). La apropiación, un proceso entre muchos que ocurren en ámbitos escolares. *Anuario de la Sociedad Mexicana de Historia de la Educación 2004-2005*, 1, 28-38.
- Schiavoni, G. y Gallero, M. C. (2017). Colonización y ocupación no planificada. La mercantilización de la tierra agrícola en Misiones (1920-2000). *Travesía*, 19(1), 77-106.
- Thomas, H.; Becerra, L. y Bidinost, A. (2019). ¿Cómo funcionan las tecnologías? Alianzas socio-técnicas y procesos de construcción de funcionamiento en el análisis histórico. *Pasado Abierto. Revista del CEHis*, 10, 127-158.
- Uset, O. (2016). *Mandioca para consumo fresco*. Oberá: INTA.
- Vinck, D. (2014). Prácticas de la ingeniería. *Revue d' Anthropologie des Connaissances*. Consultado el 4 de mayo de 2021. Recuperado de: <http://journals.openedition.org/rac/3730>.