



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO AMBIENTAL DE LA  
PRODUCCIÓN DEL ALGODÓN EN BRUTO (*GOSSYPIUM  
HIRSUTUM* L.) EN EL NORTE DE SANTA FE, A LO  
LARGO DE LOS ÚLTIMOS 35 AÑOS**

**Daniela E. Vitti Scarel**

Trabajo Final remitido al Comité Académico de la Maestría  
como parte de los requisitos para la obtención  
del grado de  
MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL  
de la  
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL

**2021**

Comisión de Posgrado, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Ciudad Universitaria, Paraje "El  
Pozo",  
S3000, Santa Fe, Argentina

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO AMBIENTAL DE LA  
PRODUCCIÓN DEL ALGODÓN EN BRUTO (*GOSSYPIUM  
HIRSUTUM* L.) EN EL NORTE DE SANTA FE, A LO  
LARGO DE LOS ÚLTIMOS 35 AÑOS**

**Daniela E. Vitti Scarel**

**Director:**

Gloria Rótolo            INTA

**Co-director:**

Carlos D'Angelo        UNL

**Jurado Evaluador:**

Silvia Albarracín        INTA

Sergio Montico          UNR

Hugo Gutiérrez          UNL

**2021**

## **Declaración legal del autor**

*“Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi saber y entender, original, producto de mi propio trabajo (salvo lo explícitamente detallado como contribuciones de otros autores), y que este material no ha sido presentado en forma parcial o total como una tesis en esta u otra institución”.*

Lic. Daniela E. Vitti Scarel

## **Dedicatoria**

*A mi familia, por su apoyo incondicional en esta etapa de formación. En especial a mis hijos Catalina y Martiniano, por acompañarme y colaborar en este esfuerzo. Que esta etapa de aprendizaje, pueda quedar en ellos, el reconocimiento de valores tales como la perseverancia, fortaleza y actitud de superación.*

## **Agradecimientos**

*Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, quien hizo posible mi formación personal y perfeccionamiento profesional, mediante esta capacitación de posgrado.*

*A mis directores, en especial a la Dra Gloria Rótolo, por acompañar este proceso de aprendizaje y transmitir sus conocimientos.*

*A mis compañeros de INTA, a todos quienes me ayudaron desde sus distintas disciplinas y expertices, y colaboraron desinteresadamente con información y sus conocimientos. En especial a Gabriel y Romina.*

*Al Personal Administrativo y a la Dirección, por facilitar gestiones de recursos y tiempos necesarios para llevar a cabo este proceso de formación.*

*A mis amigos, Melina, Diego, Luciano y Marcelo por acompañar y convivir en el día a día con las exigencias laborales, los emergentes y la formación de posgrado con buen humor y actitud positiva.*

*A mis compañeros de Maestría, Amigos MGA, por la amistad iniciada y los buenos momentos compartidos, Laura, Marina, Pao, Flor y Pablo.*

# ÍNDICE GENERAL

Declaración legal del autor .....	I
Dedicatoria.....	II
Agradecimientos .....	III
ÍNDICE GENERAL .....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	VIII
ABREVIATURAS .....	IX
Resumen .....	XII
Abstract.....	XIII
1. Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1 Descripción de la problemática.....	1
1.2 El cultivo de algodón .....	2
1.2.1 Contexto internacional de la producción de algodón .....	3
1.2.2 Contexto nacional y regional de la producción de algodón .....	4
1.2.3 El algodón en el norte de Santa Fe.....	5
1.3 Ambiente, producción y economía .....	6
1.4 Evaluación emergética .....	7
1.5 Hipótesis .....	8
1.6 Objetivo general.....	9
1.6.1 Objetivos específicos.....	9
1.7 Estructura de la tesis .....	10
2. Capítulo 2: Marco teórico y Antecedentes.....	11
2.1 Desarrollo Sustentable .....	11
2.2 Agroecosistema.....	13
2.3 Ecología de sistemas. La energía en los sistemas y sus jerarquías .....	15
2.3.1 Concepto de Emergía .....	16
2.3.2 Evaluación Emergética.....	19
2.4 Evaluaciones al cultivo de algodón .....	23
3. Capítulo 3: Materiales y Métodos .....	26
3.1 Descripción del área de estudio .....	26
3.2 Objeto de estudio .....	28

3.3 Caracterización de los sistemas de producción de algodón.....	29
3.4 Métodos .....	32
3.4.1. Entrevistas semiconducidas para identificación de los sistemas.....	32
3.4.2. Evaluación emergética .....	32
3.4.3 Evaluación económica. Medidas de eficiencia .....	38
3.5 Fuente de datos utilizadas .....	39
4.    Capítulo 4: Resultados .....	41
4.1 Caracterización de las tecnologías implementadas en la producción de algodón	41
4.1.1 Producción de Algodón en 1979/1980 (PA 1980) .....	42
4.1.2 Producción de Algodón en 1999/2000 (PA 2000) .....	43
4.1.3 Producción de Algodón en 2017/2018 (PA 2018) .....	45
4.1.4 Evolución de los insumos y tecnologías utilizados en los sistemas.....	47
4.2 Evaluación emergética de la producción de algodón.....	49
4.2.1 Contribución, en base emergética, de los recursos naturales y antrópicos a la producción de algodón .....	55
4.2.2 Huella Emergética .....	57
4.2.3 Eficiencia y desempeño ambiental de la producción de algodón.....	58
4.2.4 Valor de Unidad de Emergía del algodón (UVE) .....	58
4.3 Indicadores emergéticos.....	59
4.4 Evaluación Económica. Medidas de eficiencia .....	61
5.    Capítulo 5: Discusión de los resultados .....	64
5.1 Transformaciones tecnológicas en la producción del algodón .....	64
5.2 Desempeño ambiental.....	67
5.2.1 Evolución de recursos y uso total de emergia.....	67
5.2.2 Indicadores emergéticos.....	71
5.3 Eficiencia emergética, económica y productiva .....	75
5.4 Reflexiones finales.....	77
Conclusiones.....	80
Referencias Bibliográficas.....	82
ANEXO .....	104
A. Tablas de Evaluación Emergética de la Producción del Algodón, con detalles de cálculos de flujos emergéticos y procedimientos (adaptados de Odum, 1996) con referencias bibliográficas utilizadas.....	104
A.1. PA 1980 .....	104

A.1.1. Detalle de cálculos correspondientes a Tabla 4.1.....	104
A.1.2. Detalle de referencias de Unidades de Valor Emergéticas (UVEs) utilizadas en Tabla 4.1 .....	107
A.2. PA 2000 .....	108
A. 2.1. Detalle de cálculos correspondientes a Tabla 4.2.....	108
A.2.2. Detalle de referencias de Unidades de Valor Emergéticas (UVEs) utilizadas en Tabla 4.2 .....	111
A.3. PA 2018 .....	113
A.3.1. Detalle de cálculos correspondientes a Tabla 4.3.....	113
A.3.2. Detalle de referencias de Unidades de Valor Emergéticas (UVEs) utilizadas en Tabla 4.3 .....	116
B. Sistemas productivos de referencia utilizados para el análisis del desempeño energético de la producción de algodón en bruto (PA) en 1980, 2000 y 2018. Tabla ordenada según valores de ESI (índice de sustentabilidad emergética). .....	118
C. Listado de instituciones agropecuarias y expertos entrevistados vinculadas a la producción y cluster del cultivo de algodón .....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Ventana de análisis espacio-temporal con niveles de soporte e influencia en el territorio. Adaptado de Odum, 1996.....	14
Figura 3.1. Área de estudio: Domo Oriental Agrícola (4), departamento General Obligado, provincia de Santa Fe, Argentina. Fuente: Fisonomía vegetal del norte de la provincia de Santa Fe, adaptada de Regiones Naturales, en Mapa de Suelos INTA MAGPSFE (1981); Panigatti et al. (2007); INTA; Intea; Fundación Argentina y AACS. ....	26
Figura 3.2. Dinámica de la superficie sembrada (ha) de los principales cultivos agrícolas en el Domo Oriental Agrícola, de la provincia de Santa Fe, en tres períodos seleccionados. Fuente: APPA (2018); Estimaciones Agrícolas, Secretaría de Agroindustria (2018); (Delssin, 2012; 2003). ....	28
Figura 3.3. Dinámica de los principales cultivos agrícolas sembrados (ha) en la provincia de Santa Fe, en los años de estudio. Fuente: APPA (2018); Estimaciones Agrícolas, Secretaría de Agroindustria (2018); (Delssin, 2012; 2003).....	28
Figura 3.4. (a). Esquema genérico del sistema de producción de algodón aplicado en este estudio como base para la evaluación emergética. (b). Leyenda y significado de simbología en lenguaje energético utilizada en el diagrama. Adaptado de Odum (1996). ....	34
Figura 4.1. Evolución de insumos utilizados en los sistemas productivos de algodón PA 1980, PA 2000 y PA 2018: (a) semillas (kg/ha), (b) combustible (l/ha), (c) insecticidas y herbicidas (l/ha) y (d) fertilizantes (kg/ha). ....	48
Figura 4.2. Evolución de mano de obra directa e indirecta y rendimientos en los sistemas productivos de algodón PA 1980, PA 2000 y PA 2018, (a) mano de obra directa (hh/ha) y servicios o mano de obra indirecta (USD/ha) y (b) rendimientos (kg/ha) obtenidos. .	49
Figura 4.3. Diagrama con las principales contribuciones en los tres sistemas de producción del algodón en bruto a) PA 1980, b) PA 2000 y c) PA 2018. Las letras R, NR, F y U se corresponden con los cálculos de las variables de la Tabla 3.4. ....	54
Figura 4.5. Evolución de los porcentajes (%) de consumo de dos de los principales insumos externos comprados (M): agroquímicos (fertilizantes, herbicidas e insecticidas) y combustible (gas oil) en el proceso productivo del algodón en PA 1980, 2000 y 2018. ....	56
Figura 4.6. Evolución de los porcentajes de contribución emergética por las diferentes entradas de energías al proceso de la Producción de Algodón (PA 1980, 2000 y 2018). ....	57
Figura 4.7. Evolución de los indicadores emergéticos en los sistemas Productivos de Algodón (PA) 1980, 2000 y 2018: (a) EYR; (b) ELR, (c) ESI y (d) % REN. ....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Evolución de la producción y superficie algodonera nacional, provincial y del Domo Oriental Agrícola, en los periodos seleccionados.....	30
Tabla 3.2. Características generales del tipo de manejo de la producción de algodón en bruto en cada período seleccionado.....	31
Tabla 3.3. Ejemplo de tabla de evaluación emergética (Brown y Ulgiati, 2004a).....	36
Tabla 3.4. Síntesis y descripción de las variables e indicadores utilizados en el análisis (Odum, 1996; Brown y Ulgiati, 2004). .....	38
Tabla 4.1. Evaluación emergética de la producción de una hectárea de algodón en bruto el año 1979/1980 (PA 1980).....	50
Tabla 4.2. Evaluación emergética de la producción de una hectárea de algodón en bruto el año 1999/2000 (PA 2000).....	51
Tabla 4.3. Evaluación emergética de la producción de una hectárea de algodón en bruto el año 2017/2018 (PA 2018).....	52
Tabla 4.4. Principales variables e indicadores emergéticos aplicados a los sistemas productivos de algodón (PA 1980, PA 2000 y PA 2018).....	58
Tabla 4.5. Análisis económico de la producción de una hectárea de algodón en bruto en cada sistema evaluado. ....	61
Tabla 4.6. Indicadores económicos del periodo PA 2018 comparados con precios corrientes del periodo PA 1980. ....	63

## ABREVIATURAS

m<sup>2</sup>: Metro cuadrado

m<sup>3</sup>: Metro cúbico

\$: Peso, moneda vigente en la Argentina desde 1992 a la actualidad

\$ Ley: Peso Ley, moneda vigente en la Argentina desde 1970 a 1983

%: Porcentaje

% MO: Contenido de materia orgánica del suelo en porcentaje

% R: Porcentaje de renovabilidad

AACS: Asociación Argentina de las Ciencias del Suelo

ACV: Análisis de Ciclo de Vida

APPA: Asociación para la Promoción de la Producción del Algodón

Arg.: Argentina

BG: Bollgard<sup>®</sup>, algodón modificado genéticamente

BPA: Buenas Prácticas Agrícolas

Bt: Bacillus thuringiensis

CASAFE: Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes

CONINAGRO: Confederación Intercooperativa Agropecuaria

EE: Evaluación Emergética

ELR: Tasa de carga ambiental

ESI: Indicador emergético de sustentabilidad ambiental

EYR: Indicador de tasa de aprovechamiento emergético

F: Sumatoria de los componentes M, L y S

FAO: Food and Agriculture Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)

FDA: Fosfato diamónico

g: gramo

h: hora

ha: hectárea

hh: horas hombres

ICAC: Internacional Cotton Advisory Committee (Comité Consultivo Internacional de Algodón)

INDEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

INTEA: Innovaciones de Tecnologías Agropecuarias

IVA: Impuesto al Valor Agregado

J: Joule

kg: kilogramo

kcal: kilocaloría

l: litro

L: Labor (mano de obra directa)

LHV: Lower heating value (Poder calorífico inferior)

M: Insumos comprados

MAGPSFE: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Provincia de Santa Fe (1981).

ml: mililitros

Mz: Maíz

N: Nitrógeno (fertilizante)

NEAD: National Environmental Accounting Database

NR: Recursos naturales no renovables

OGM: Organismo Genéticamente Modificado

ONU: Organización de las Naciones Unidas

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

P: Fósforo (fertilizante)

PA: Producción de Algodón

PPDB: Pesticide Properties DataBase, (Base de datos de propiedades de pesticidas)

R: Recursos naturales renovables

Ref: Referencias

RR: Roundup Ready<sup>®</sup>, cultivo resistente a herbicida glifosato

S: Servicios

SD: Siembra directa

SE: Servicios Ecosistémicos

SGCC: Sistema Ganadero de Ciclo Completo

sej: Joules equivalentes solares

tn: tonelada

Tr: Transformidad

U: Total de emergía utilizada en el sistema

USD: Dólar estadounidense

USLE/RUSLE: Software derivado de la Universal Soil Loss Equation (Ecuación Universal de Pérdida de Suelos), RUSLE, versión revisada.

UVE: Unidad de Valor Emergético

WCED: World Commission on Environment and Development (Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo)

## Resumen

La producción de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) tiene un rol estratégico en las economías del norte argentino; específicamente en la provincia de Santa Fe, dado el desarrollo local de su cadena de valor. Las formas de producción del cultivo han cambiado en los últimos 35 años. Actualmente, la demanda global de alimentos y fibras, hace que la agricultura se apoye en la expansión geográfica del área cultivada, como así también en el uso más intensivo de insumos y tecnologías. El debate sobre la sustentabilidad de los agroecosistemas implica buscar alternativas y elementos de juicio para posibilitar la toma de decisiones y la aplicación de políticas sustentables que incluyan la dimensión social, ecológica y económica. A lo largo del tiempo, la dimensión productiva y económica fueron quienes tuvieron mayor incidencia para el ajuste de las prácticas de manejo y tecnologías aplicadas al cultivo, soslayando la dimensión ambiental. En este trabajo se evaluaron las tecnologías e innovaciones implementadas en la producción del algodón en bruto en el norte de Santa Fe, desde 1980 a 2018, y el desempeño ambiental del cultivo, mediante una metodología con enfoque sistémico, la evaluación emergética. Los resultados mostraron que las variaciones más importantes asociadas a las tecnologías fueron el cambio de métodos de siembra, labranzas y procesos de laboreos, con mejoras en la conservación de suelos y disminución del uso de combustibles fósiles. Se evidenció la disminución de la mano de obra asociada a tareas de manejo del cultivo del algodón, con aumentos de los servicios y mano de obra indirecta. Se incrementó la fertilización química y el uso de herbicidas, acorde a un paquete tecnológico ajustado a la cosecha mecánica. Se lograron incrementos productivos y económicos del 90% y 187%, respectivamente, a lo largo del periodo estudiado. Estos incrementos trajeron aparejado, un 90% de aumento en los costos de los productos (USD/ha), un 50% de aumento de la tasa (ingreso/costo), un incremento de la emergía total utilizada de 172%, una disminución de la eficiencia en base emergética (sej/g) del 44% y una tasa similar de uso total de emergía por ingreso obtenido (sej/USD). De la evaluación emergética se desprende que la transformación de la producción de algodón en el período analizado se debió fuertemente al mayor soporte de recursos provenientes de insumos externos y sus servicios asociados. Los datos expuestos en este trabajo, parecen sugerir que los mayores rendimientos e ingresos logrados en la producción de una hectárea de algodón en el año 2018, en comparación a los otros años, han sido logrados a expensas de una menor sostenibilidad y menor aprovechamiento de los recursos que provee el ecosistema natural tal como lo expresan los indicadores emergéticos. El mayor uso de energía a través de recursos externos, no renovables por sobre los recursos renovables, gratuitos y disponibles localmente, podrían provocar impactos no deseados, creando la necesidad de la incorporación de nuevos insumos para compensar dichos desequilibrios. Esta tesis, provee información que permitirá reflexionar acerca de aspectos de mejoras en nuevas investigaciones que focalicen el uso de fuentes de energías renovables en los sistemas productivos, como una de las principales estrategias, que puedan revertir las tendencias actuales y garantizar la sustentabilidad a largo plazo.

## Abstract

Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) production has a strategic economic role in the northern Argentina provinces, specifically in Santa Fe, given by the local development of its value chain. The forms of crop production have been changing in the last 35 years. At the present, the global demand for food and fiber makes agriculture rely on the geographic expansion of the cultivated area, as well as, the more intensive use of inputs and technologies. The debate on the sustainability of agroecosystems involves searching for alternatives and evidence to enable decision-making and the application of sustainable policies that include the social, ecological and economic dimensions. Over time, productive and economic dimensions had more incidence in the adjustment of management practices and technologies applied to the crop, setting aside the environmental dimension. The objectives of this thesis were to evaluate innovations and technologies implemented from 1980 to 2018 in raw cotton production in the north of Santa Fe, and to assess its environmental performance using an emergy evaluation, a methodology with a systemic approach. The results showed that the most important changes associated with technology transformations were planting methods, sowing systems, and tillage processes, with improvements in soil conservation and a decrease in the use of fossil fuels. Direct labor associated with cotton crop management and harvesting decreased, with increases in services and indirect labor. Chemical fertilization and the use of herbicides were increased, according to a technological package adjusted to mechanical harvesting. Productive and economic increases of 90% and 187%, respectively, were achieved over the period studied. These brought an increase of about a 90% in product costs (USD / ha), 50% in the income / cost rate, and a 172% increase in the total emergy used, and finally a decrease of approximately 44% in the efficiency on an emergy basis (sej / g) and total emergy use per income (sej / USD). Of this emergy analysis, it is verified that the transformation in cotton production during the analyzed period was strongly due to the greater support of resources from external inputs and their associated services. The data presented in this work seems to suggest that the highest yields and income achieved in the production of one hectare of cotton in 2018, compared to other years, it has been achieved at expenses of less sustainability and less use of resources provided by the natural ecosystem, as expressed by the emergy indices for each year. The greatest use of energy through external resources, non-renewable over free and locally available renewable resources, could cause unwanted impacts, creating the need for the incorporation of new inputs to compensate these imbalances. The data provided in this thesis provides information that will allow us to reflect on aspects of improvements in new research focused on the use of renewable energy resources in production systems, as one of the main strategies to reverse current trends and guarantee long-term sustainability.

# Capítulo 1: Introducción

## 1.1 Descripción de la problemática

La producción agrícola sostenible es uno de los compromisos asumidos por la comunidad internacional en su Agenda 2050 (FAO, 2017) y desde ésta, parte la necesidad de adoptar medidas concertadas para alcanzar dicho objetivo (FAO, 2016; 2007). La creciente demanda de bioenergías, alimentos y fibras, hace que la agricultura se apoye en la expansión hacia nuevas áreas cultivables o en la intensificación de los sistemas productivos de la mano de mayores insumos y nuevas tecnologías para la obtención de mayor productividad. A raíz de esto, la producción agropecuaria global es responsable de buena parte del impacto de las actividades antropogénicas sobre los ecosistemas. Así, los procesos de intensificación y expansión de fronteras provocan efectos no deseados; entre ellos, contribución a la emisión de gases de efecto invernadero, pérdida de biodiversidad, contaminación por plaguicidas, degradación de suelos y aguas (Andrade, 2016).

A fines del siglo XX, en Argentina se aceleró fuertemente el proceso de concentración de la tierra y se intensificó la actividad agrícola, tanto en la pampa húmeda como en regiones extra-pampeanas (Zarrilli, 2016; Viglizzo et al., 2011). El efecto de estas transformaciones, acentuado en las últimas décadas, ha tenido graves consecuencias ambientales que se manifiestan en impactos significativos sobre los agroecosistemas, como así también sobre la masa forestal nativa de muchas regiones, la biodiversidad y las funciones ecológicas esenciales (Andrade et al., 2017; Zarrilli, 2016; Gorenstein y Ortiz, 2016; Carreño y Viglizzo, 2007; Pengue, 2005; Viglizzo et al., 2001), situación agravada bajo los efectos del cambio climático o situaciones climáticas adversas.

Los censos agropecuarios del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) muestran que entre 1988 y 2002 las superficies dedicadas a cultivos anuales se expandieron en el país a una tasa media cercana al 0,3% anual, los mayores incrementos se dieron en las provincias de Córdoba, Entre Ríos, Santa Fe y Buenos Aires, entre otras (Paruelo et al., 2005). Datos recientes indican que la producción de los principales granos en el país, pasó de 34 a 143 millones de toneladas entre 1990 y 2019 (Abelleyra et al., 2019). Sumado a la expansión de la frontera agrícola, la diversidad de cultivos en el país también se ha modificado, disminuyendo un 40% desde 1990 a 2006, donde la soja predomina con una

representación de alrededor del 50% de la superficie cultivada en la Argentina (Aizen et al., 2009). De este modo, también se evidencia una simplificación y homogenización del paisaje.

Entre las causas que favorecieron esta tendencia, se pueden destacar algunas, la disponibilidad de tecnologías y mano de obra local, las características de los suelos junto a condiciones climáticas favorables, la relación de los precios de los productos e insumos, incentivos fiscales, fueron los principales factores que influyeron en la alta tasa de expansión agrícola en las distintas regiones de la Argentina (Paruelo et al., 2005). De este modo, los grandes cambios acontecidos, sus efectos en el ambiente ameritan, diagnosticar y garantizar el bienestar de las sociedades, más allá de los beneficios asociados a la economía, asegurando la producción agropecuaria a largo plazo, sin externalidades negativas. El debate sobre la sustentabilidad de los agroecosistemas implica buscar alternativas y elementos de juicio para posibilitar la toma de decisiones y la aplicación de políticas de producción sustentables que incluyan la dimensión social, ecológica y económica.

Así, estos nuevos y dinámicos escenarios ameritan ser evaluados desde escalas prediales a regionales. En el norte de Santa Fe, entre los cultivos industriales, el algodón (*Gossypium hirsutum* L), es de mayor relevancia, debiendo su importancia a la ubicación casi exclusiva en el norte provincial, como así también al gran desarrollo local de su cadena de valor (APPA, 2000). La promoción y fortalecimiento del sector agropecuario, debe realizarse mediante el uso racional de los recursos naturales locales, que mediante diagnósticos y evaluaciones actualizadas garantizarán el desarrollo sustentable y la calidad de vida de las sociedades.

## **1.2 El cultivo de algodón**

El algodón es una de las fibras vegetales más usadas en el mundo. Es una planta dicotiledónea que pertenece al orden Malvales, familia Malváceas, tribu Gossypiae y género *Gossypium*. Es un vegetal perenne de crecimiento indeterminado, que mediante prácticas de manejo agronómico se lo cultiva como anual. Data de su existencia desde 12,5 millones de años, originario de tres regiones tropicales y subtropicales de Australia, África y Península Árabe y México (Wendel et al., 2010). Al presente existen 33 especies reconocidas pertenecientes al género *Gossypium* y solo cuatro de éstas han sido domesticadas con interés comercial. *Gossypium hirsutum* L, es una de ellas y fue desarrollada en Estados Unidos a partir de algodones nativos de México y América Central e incluye la mayoría de las

variedades comerciales actuales de “upland cotton” o algodón de fibra corta, que constituye más del 90% del algodón bruto producido en el mundo y es el algodón que se cultiva en Argentina (ICAC, 2019; Paytas y Ploschuk, 2013).

La planta presenta hojas pecioladas, de un color verde intenso, grandes y con los márgenes lobulados. La primera manifestación reproductiva visible se la llama comúnmente pimpollo o botón floral. El fruto es una cápsula en forma ovoide; con tres a cinco carpelos, que tiene seis a diez semillas cada uno. Las células epidérmicas de las semillas constituyen la fibra, siendo ésta el derivado vegetal y natural de dicho cultivo, de importancia económica como materia prima principalmente para la industria textil. Una vez cosechado el algodón en bruto, sigue la etapa de desmote (proceso de transformación agroindustrial) en la cual, se separa la fibra de la semilla, para luego prensar la fibra y formar fardos para su comercialización local y/o internacional (Paytas y Ploschuk, 2013).

La fibra, no es lo único utilizado del algodón, entre los subproductos de la semilla del algodón, se encuentran el linter, la cáscara y el núcleo que son usados en distintas industrias, tales como alimenticia, cosmética y farmacéutica, siendo las harinas para alimentación animal, plásticos de celulosa, aceites, emulsionantes y papel (Paytas y Ploschuk, 2013; Wakelyn and Chaudhry, 2010; Elena et al., 2000).

### **1.2.1 Contexto internacional de la producción de algodón**

Actualmente la fibra del algodón es la segunda materia prima más demandada por la industria textil a nivel mundial (Ruiz, 2019). Se cultiva solo en 2,5% del área cultivable del mundo y su superficie de siembra ha fluctuado entre 29 y 36 millones de hectáreas en los últimos cuarenta años. Los países, India, China, Estados Unidos, Pakistán y Uzbekistán representan el 77% del área total sembrada de algodón del mundo. Alrededor del 88% de los productores de algodón pertenecen a los cuatro países asiáticos, India, China, Pakistán y Uzbekistán (Ruiz, 2019). Argentina se ubica en el puesto número doce en área y producción de algodón en el mundo, mientras que en rendimientos está en el puesto veinte (Coninagro, 2018).

La oferta algodонера mundial ha aumentado de forma constante y actualmente se produce casi el doble del algodón que hace cuatro décadas (Ruiz, 2019). Por su parte, el consumo mundial de fibra paso de 14 millones de toneladas en 1980/81 a un estimado de 26,66 millones de toneladas en 2018/19, es decir, un incremento de 319 mil toneladas

promedio por año (Ruiz, 2019). No obstante, el crecimiento del consumo sigue siendo una de las principales preocupaciones de la industria algodonera mundial, dado que el sector enfrenta una fuerte competencia con las fibras sintéticas. Sin embargo, varias investigaciones alertan en el riesgo de contaminación ambiental por la acumulación de microfibras sintéticas en ambientes acuáticos, su persistencia y su lenta biodegradación, ingresando en las tramas tróficas e incluso afectando la salud humana (Zambrano et al., 2019; Henry, 2019; Gago et al., 2018). Por lo tanto, las fibras de origen vegetal además de ser un recurso natural y renovable; son una opción más sustentable y con menor impacto ambiental que las sustancias sintéticas derivadas del petróleo (Henry, 2019).

### **1.2.2 Contexto nacional y regional de la producción de algodón**

La región algodonera Argentina se concentra principalmente entre los 25° y los 31° de Latitud Sur, con nuevas áreas de siembra hacia el norte y el sur de dichas latitudes. Las provincias que generan la mayor producción del país son, Santiago del Estero, Chaco, Santa Fe y Formosa, y en menor porcentaje Salta, Corrientes, Catamarca, Córdoba, Entre Ríos y San Luis (Paytas y Ploschuk, 2013). Santa Fe ocupa el tercer lugar como provincia algodonera Argentina (CONINAGRO, 2018; Gregoret, 2017). La producción del cultivo, es realizada en secano, solo el 10% de la superficie nacional sembrada es bajo riego (Paytas y Ploschuk, 2013). En cuanto a la primera etapa de su procesamiento, el 89% de las plantas desmotadoras a nivel nacional, se encuentran en las provincias de producción primaria (Ministerio de Agroindustrias, 2018). El desmote del algodón comprende la separación de la fibra de la cápsula y semilla (junto a otros pasos en el procesamiento de la fibra) para la obtención del fardo de fibras de algodón, los que luego son comercializados a hilanderías, localizadas en las mismas provincias productoras, para continuar con los procesos de la industria textil. En este sentido, la producción de algodón tiene un rol estratégico en las economías del norte argentino; sobre todo en la provincia de Santa Fe, donde se concentran la mayor parte de los eslabones de su cadena productiva, desde la producción primaria hasta la comercialización de las prendas y otros productos, con fuerte articulación del sector público y privado (Paytas, 2013; Delssín, 2003).

En Argentina, la superficie implantada con algodón osciló entre 585.400 y 450.000 hectáreas desde el año 1980 hasta la actualidad (Ministerio Agroindustrias, 2018), siendo el quinto cultivo en superficie productiva a nivel nacional, después de la soja y el trigo, el maíz y girasol con variaciones entre los años. A nivel provincial la proporción de cultivos muestran similar patrón en superficie, incrementando el algodón, la superficie de

implantación desde 70.000 hectáreas en 1980, a 83.340 ha en la campaña 2017/18 y 98.000 ha en la campaña agrícola 2018/19, con variaciones interanuales en el transcurso del período (APPA, 2019; 2018; Ministerio Agroindustrias, 2018).

### **1.2.3 El algodón en el norte de Santa Fe**

En los últimos 20 años, la provincia de Santa Fe aportó entre un 3 y 28% a la superficie nacional sembrada con algodón (Zorzón, 2019; Gregoret, 2018). Actualmente en el norte provincial, la superficie sembrada con el cultivo se diferencia entre los distintos departamentos productores, así el departamento 9 de Julio, tiene la mayor superficie cultivada de algodón (79%), seguido por General Obligado (10%) y Vera con 9% entre otros con menores porcentajes, que hacen al resto de la superficie total (Zorzón, 2019). Esta tendencia manifiesta variaciones entre los años, pero con constante predominio en superficie del departamento 9 de Julio desde el año 2000 (APPA, 2000). En cuanto a la evolución del rendimiento promedio de algodón en bruto en Santa Fe, se incrementó en un 80% entre las campañas agrícolas 1999/2000 y 2018/19, con variaciones entre el este y oeste provincial, en relación a las situaciones climáticas anuales (Zorzón, 2019).

Las formas de producción del cultivo de algodón, han variado en los últimos 40 años. Se cosechó manualmente desde sus inicios, para finalmente lograr su mecanización pasada la década del 70. Las fechas de siembras, distanciamientos y densidades fueron adaptadas a nuevos manejos. Las semillas convencionales fueron reemplazadas por las semillas modificadas genéticamente, y esta tecnología, desde el punto de vista agronómico, permitió al cultivo del algodón tener tanto tolerancia a un herbicida para el control de las malezas como resistencia al ataque de ciertas plagas insectiles. Desde 1998, a la actualidad, en Argentina las variedades transgénicas han sido adoptadas ampliamente por todos los productores y la cadena industrial-textil, en todas las provincias algodoneras (Valeiro, 2015).

Así, la incorporación de nuevas técnicas y manejos asociados, insumos e innovaciones biotecnológicas, repercutieron en todo el ciclo productivo del algodón incrementando los rendimientos obtenidos con impactos positivos en la productividad y rentabilidad y, por consiguiente, beneficios en las economías regionales. No obstante, a la evaluación del soporte ambiental y sustentabilidad a largo plazo, es necesario complementarla con estudios de impactos ambientales.

### **1.3 Ambiente, producción y economía**

El ambiente es el soporte de los componentes físicos y biológicos que influyen y determinan los sistemas ecológicos. Éstos, suministran los llamados recursos naturales, bienes y servicios de la naturaleza, término antropogénico, que lleva implícito el uso o apropiación de los mismos. Los servicios ecosistémicos son recursos o procesos de la naturaleza disponibles a la humanidad. Es un concepto que permite analizar el vínculo que existe entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano (Balvanera y Cotler, 2007). Éstos pueden ser agrupados en servicios de abastecimiento y provision, de soporte y regulación, y en culturales por su valoración patrimonial o religiosa (Latterra et al., 2011; De Groot et al., 2002). Son ejemplos de algunos de ellos; la provision de agua, alimentos y materias primas, la biodiversidad que sostiene el banco genético existente entre otras funciones, la regulación natural de los ciclos geoquímicos e hidrológicos, el mantenimiento de la calidad del aire y suelos, la polinización y el control natural de plagas, entre otros. La intervención humana en el desarrollo de las sociedades, entre éstas, la producción agropecuaria, transforma e interviene en los ambientes y en el funcionamiento de éstos servicios, los cuales, si bien, la mayoría de ellos son recursos renovables, la tasa de renovabilidad o regeneración, en muchos casos, suele ser mas lenta que las tasas de explotación y consumo, y es ahí, donde está el desafío en busca de los equilibrios.

La economía tradicional estudia dichos recursos como materia prima para la producción y su consumo, para satisfacer las necesidades humanas, como así también generar riquezas. Pengue (2009) la define como ciencia que estudia la asignación más conveniente de los recursos escasos de una sociedad para la obtención de un conjunto ordenado de objetivos y destaca la producción, distribución, consumo e intercambio como procesos fundamentales de los cuales se ocupa. No obstante, la economía ecológica (Martinez Alier, et al., 1998), es una disciplina que acepta como punto de partida que el sistema económico es un sistema abierto interrelacionado con los ecosistemas y con los sistemas sociales, influyéndose mutuamente (Teruel, 2003). Desde ésta, se reconoce los suministros de energía y materiales, como así también la generación de dos tipos de residuos, el calor disipado y los residuos materiales, que mediante reciclaje pueden volver a ser parcialmente utilizados (Martinez Alier et al., 1998). La economía ecológica, adopta la teoría de sistemas, para la comprensión de los sistemas ecológicos y los integra a los estudios de límites físicos y biológicos debidos al crecimiento económico; estudia las interacciones entre la sociedad y la naturaleza por encima de otros abordajes (Pengue, 2009). Desde este lugar,

esta disciplina utiliza herramientas para la gestión sustentable de los ecosistemas y sistemas productivos, dando marco a nuevas formas de evaluación y seguimiento a los mismos.

Entre las nuevas formas de evaluar los recursos del ambiente, servicios ecosistémicos y los agroecosistemas, hay metodologías que permiten análisis detallados e integrales de los sistemas; que brindan información sobre cada componente, como así también del sistema global, tal como la evaluación emergética, que presenta un enfoque sistémico innovador.

#### **1.4 Evaluación emergética**

La evaluación emergética (Odum, 1996), asienta sus bases en la Ecología de Sistemas (Odum, 1983) y estudia la cuantificación directa e indirecta de bienes y servicios ecológicos y económicos utilizados en un proceso de producción o transformación. Unifica a una unidad de referencia (Joule equivalentes solares, sej) y permite que los diferentes componentes que participan del sistema o proceso se puedan contabilizar utilizando una base común, (Odum, 1996). Así, es una metodología que ofrece un análisis detallado y a la vez holístico de los sistemas que estudia. Por otro lado, la Ecología de Sistemas (Odum, 1983) define a los sistemas como un grupo de componentes interconectadas, que interactúan generando propiedades emergentes. Desde este enfoque, los sistemas son importantes en sí mismos y constituyen una base para la asociación humana con la naturaleza. Plantea un abordaje integral de todos los componentes (organismos, ciclos químicos, agua, aire, suelos máquinas, humanos, ciudades, bosques, lagos, arroyos, océanos, etc.), que se vinculan entre sí, por medio de flujos de energía, materia e información (Odum, 1983).

De este modo, este tipo de evaluaciones permite no solo el análisis actual del uso de recursos, sino permite contabilizar la historia o secuencia hacia atrás, teniendo en cuenta los flujos ambientales y contribuciones sociales, dadas por los aportes de conocimientos y servicios de la sociedad para la producción agrícola. Este enfoque facilita un abordaje integral de los diversos componentes del sistema considerándose apropiado para responder a la pregunta que guía esta investigación acerca de ¿Cómo impactan las innovaciones tecnológicas implementadas en la producción de algodón en bruto desde 1980 a 2018 en la sustentabilidad socio-económico-ambiental del norte de Santa Fe?

Sumado a esto, y en contexto local, la escasa información disponible sobre el soporte ambiental para las actividades productivas y su desempeño en el tiempo, asociado a las

diferentes tecnologías aplicadas a la producción del algodón, despierta la inquietud e interés de investigar acerca de la capacidad de los sistemas en mantener su funcionalidad y sustentabilidad, cuantificando y evaluando los cambios y efectos de las tecnologías implementadas, más allá de su rentabilidad económica.

### **1.5 Hipótesis**

Hipótesis 1: Las transformaciones tecnológicas de la producción de algodón en bruto en los últimos 35 años se orientaron a la intensificación productiva y simplificación del sistema, desequilibrando el contexto socioeconómico y ecológico, comprometiendo así, la conservación de los recursos naturales para el sustento de generaciones futuras.

Hipótesis 2: Metodologías con enfoque integral que contemplen el soporte ambiental, proveen una mayor comprensión del desempeño de los agroecosistemas a largo plazo que aquellas que solo se enfocan en medir la rentabilidad productiva de los sistemas.

## **1.6 Objetivo general**

Evaluar los cambios temporales en el desempeño ambiental de la producción del algodón en bruto en el norte de Santa Fe, mediante un análisis emergético.

### **1.6.1 Objetivos específicos**

- Caracterizar y comparar las tecnologías implementadas en la producción de algodón en bruto en el norte de Santa Fe, en los años 1980, 2000 y 2018.
- Describir el uso de recursos y las relaciones entre el sistema natural y antrópico, mediante la representación de diagramas de flujos de materiales y energía, utilizando lenguaje energético.
- Evaluar la eficiencia y desempeño ambiental del sistema, contemplando la contribución de los recursos naturales, bienes y servicios del sistemas natural y antrópico para la producción del algodón en bruto, desde 1980 a 2018.
- Analizar las variaciones en el uso de recursos y la sostenibilidad ambiental de los agroecosistemas en el tiempo, mediante indicadores emergéticos.
- Contrastar los resultados provenientes de la evaluación emergética con una evaluación económica en los sistemas productivos evaluados.

## **1.7 Estructura de la tesis**

Para el abordaje de esta propuesta, la tesis se estructura de la siguiente manera; Capítulo 1: Introducción, en la cual se presentó la problemática, temática a desarrollar, hipótesis y objetivos; Capítulo 2: Marco teórico y antecedentes, donde se enuncian los conceptos fundamentales, alcances de la metodología emergética y lo investigado hasta el momento en emergía y en el cultivo del algodón que servirán de sustento en la interpretación y discusión final; Capítulo 3: Materiales y Métodos, se explicita los procedimientos para la evaluación emergética de los sistemas productivos evaluados; Capítulo 4: Resultados obtenidos a partir de los objetivos propuestos; Capítulo 5: Discusión, donde se articula la información generada en este trabajo, con el conocimiento previo disponible y se alcanza una síntesis que permiten las conclusiones acerca de la sustentabilidad de la producción del algodón a lo largo del periodo estudiado. Un Anexo con tres partes, en complemento de algunos capítulos.

## **Capítulo 2: Marco teórico y Antecedentes**

En esta sección se exponen el marco teórico, los fundamentos e implicancias del análisis de los agroecosistemas mediante una metodología holística y sistémica tal como la evaluación emergética que permite validar la sustentabilidad de los mismos. Se explicitan los conceptos de desarrollo sustentable, sustentabilidad de los agroecosistemas, ecología de sistemas, energía, emergía y lo que conlleva la evaluación emergética. Se exploran los principales antecedentes y progresos que alcanzan estas nociones y sus contribuciones en el conocimiento actual, vinculándolos a sistemas productivos agrícolas, con énfasis en agroecosistemas con producción de cultivos de algodón.

### **2.1 Desarrollo Sustentable**

El concepto “desarrollo sustentable” quedó plasmado en el año 1987, a partir del informe "Nuestro Futuro Común" de la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo, establecida por la Organización de las Naciones Unidas (ONU-WCED, 1987). No obstante, previo a esto, desde el Ensayo sobre el Principio de la Población de Thomas Malthus en 1826, hasta la realización de la conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, celebrada en Estocolmo (1972) la preocupación por el cuidado del medio ambiente, el crecimiento económico y la equidad social fueron vistas como realidades con avances distintos y no equitativos.

Hasta el presente se han realizado numerosos esfuerzos para aclarar, promover y consensuar el significado del concepto de desarrollo sustentable (Sarandón, 2002; Mebratu, 1998; Constanza y Patten, 1995, Ekins, 1993; Pezzey, 1992; Daly, 1990). Rabinovich y Torres (2004) enfatizan el concepto de “intercambio” en el análisis del desarrollo sustentable y sostienen que no se pretende maximizar una única dimensión tal como la ecológica, económica o social por si sola, sino los intercambios entre sus objetivos, atributos, horizontes de tiempo y jerarquías dentro de los sistemas (Rabinovich y Torres, 2004). Asimismo, se adiciona y enlazan a estos argumentos el concepto de equidad intergeneracional (Stavins et al., 2003; Padilla, 2002); dado que las generaciones futuras no están representadas en los mercados e instituciones actuales, deben ser resguardados sus derechos (Padilla, 2002), en el beneficio de los recursos naturales.

En este marco, valorar agroecosistemas a partir de evaluaciones con criterios únicos, con enfoques económicos productivistas, financieros y mercantiles son

insuficientes y conducen a resultados incompletos al no abarcar la complejidad de la realidad dejando de lado algunos de los componentes de los sistemas analizados, como así también, los ejes centrales que promueven el desarrollo sustentable (Ulgiati et al., 2006). El creciente interés por el cuidado del ambiente y los recursos naturales, la búsqueda de bienestar social y seguridad alimentaria han impulsado desde distintas disciplinas la realización de análisis y evaluaciones integrales y holísticas con el desafío de validar agroecosistemas sostenibles. Pengue y Feistein (2013) aseguran que la única manera de enfrentar estos serios problemas, es la construcción de abordajes holísticos con ejes disciplinares que ayuden a la comprensión del todo, más que de las partes.

En este sentido, en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible realizada en la Organización de las Naciones Unidas (2015), se aprueban los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS). Dichos objetivos reconocen que las iniciativas para acabar con la pobreza, deben ir de la mano de estrategias de crecimiento económico y de un abordaje de necesidades sociales, entre las que señalan la educación, la salud, la protección social y las oportunidades de empleo, a la vez que luchan contra el cambio climático y promueven la protección del medio ambiente (FAO, 2017). De este modo, lograr el desarrollo sustentable y la sustentabilidad de los sistemas productivos, requiere la comprensión y gestión de desafíos interconectados y transdisciplinarios; como así también de voluntades políticas, éticas y ecológicas (Brandt et al., 2013; Glavic y Lukman, 2007).

En este trabajo, de aquí en más se referirá a sustentabilidad de la producción y se adoptará como definición de sustentabilidad aquella que promueva la integración, las reciprocidades y la búsqueda de equilibrio entre las conceptualizaciones que reflejan la respuesta de la comunidad científica y la sociedad en general al desafío de la crisis ambiental actual (Rabinovich y Torres, 2004). De este modo, se sostiene que un agroecosistema transita hacia la sustentabilidad, cuando a mediano y largo plazo contribuye a lograr producciones agropecuarias rentables y eficientes, mantiene su organización y funciones ecológicas-ambientales y permite acrecentar o mejorar las condiciones de vida de la sociedad residente en el territorio.

En los últimos años, en el intento por cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible, se han desarrollado y perfeccionado metodologías para medir la sustentabilidad de los agroecosistemas, que han logrado convertir al concepto en algo más

operativo y funcional (Romero, 2012; Sarandón, 2002). En este sentido, Viglizzo et al., 2011; Rotolo y Francis (2008) realizaron un análisis de la contribución y valoración ambiental de los servicios ecosistémicos, soporte de la producción agropecuaria, para la planificación regional y sustentabilidad a largo plazo; evaluaciones de sustentabilidad de los sistemas mediante aplicación de indicadores ambientales fueron realizados por Bevilacqua et al. (2014); Avila et al. (2011); Reyes et al. (2010); Mancini et al. (2008); Cantrell (2006); Viglizzo et al. (2006b; 2004 y 2002). Gomero y Velásquez (2003); Altieri y Nicholls (2002). Evaluaciones de impacto ambiental mediante análisis de sustentabilidad de multiescalas y multicriterios fueron llevadas a cabo por Rotolo et al. (2014); Ulgiati et al. (2006) y Tonon et al. (2006), quienes evaluaron de modo integrado y combinado procesos de conversión de energía mediante parámetros termodinámicos, económicos y ambientales. Otras investigaciones cuantificaron la energía utilizada (Matlock et al., 2008), la huella ecológica y ambiental de la expansión agrícola (Viglizzo, et al., 2011) huella hídrica del cultivo (Cherrett et al., 2005) y huella de carbono (Visser et al., 2015). A través de un análisis de ciclo de vida, Bongiovanni y Tuninetti (2018) evaluaron el impacto ambiental del proceso industrial de la fibra del algodón, mostrando la eficiencia de los procesos desde una perspectiva de sustentabilidad. Rotolo (2015c) proporciona un set de indicadores de sustentabilidad ambiental con un enfoque de análisis de ciclo de vida expandido, que incluye alternativas de eficiencia y desempeño de los esquemas de producción analizados.

## **2.2 Agroecosistema**

Se concibe a los agroecosistemas como ecosistemas intervenidos por el hombre con el objetivo de producir y obtener productos agropecuarios o agrícolas, tal como se exhibirá en este trabajo. Los mismos se caracterizan por requerir fuentes auxiliares de energía para aumentar la productividad de un organismo específico. Un agroecosistema, sistema productivo o sistema agrícola (términos que serán usados como sinónimos en esta tesis), puede tener una diversidad reducida en comparación con ecosistemas naturales, y en general, los animales y plantas utilizados en dicho sistema, son seleccionados artificialmente con controles y manejos externos (Odum, 1984). Este autor, también expresa que, en la naturaleza, las actividades humanas y naturales operan en muchas escalas, (Fig. 2.1) desde niveles moleculares hasta niveles estelares, y es en el medio de este rango, donde se asienta este análisis y se focalizan las interacciones entre el sistema

ecológico y socioeconómico, porque es la ventana en donde la sociedad se desempeña (Odum, 1996).

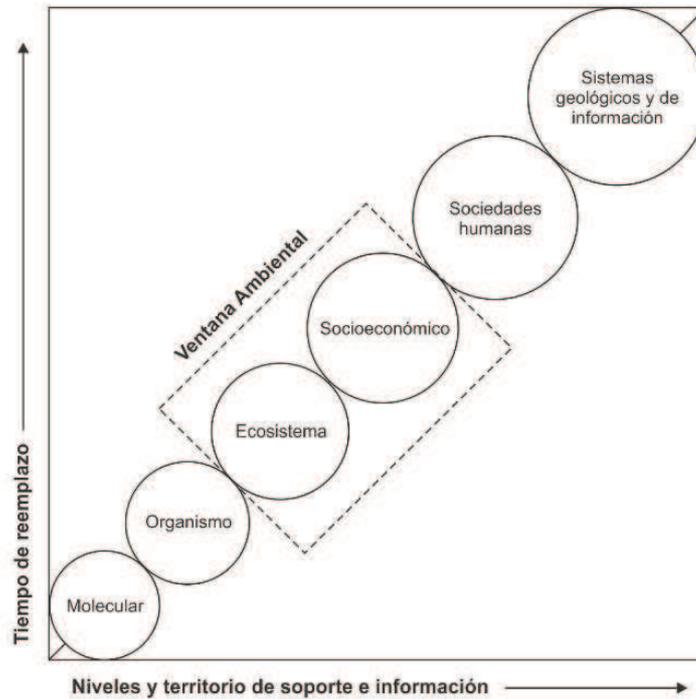


Figura 2.1. Ventana de análisis espacio-temporal con niveles de soporte e influencia en el territorio. Adaptado de Odum, 1996.

Así, las propiedades de un sistema no dependen sólo de sus componentes, sino de la interrelación existente entre ellos. Sarandón (2002) afirma que los agroecosistemas deben visualizarse como sistemas ecológicos asociados a variables socioeconómicas, que tienen por fin una producción de utilidad económica. Complementando lo anterior, Altieri (1999) define a los sistemas agrícolas, como una interacción compleja entre procesos sociales externos e internos, procesos biológicos y ambientales; los define como artefactos humanos, donde las estrategias agrícolas no responden únicamente a presiones bióticas naturales o del cultivo, sino que también reflejan estrategias humanas de subsistencia vinculadas a condiciones económicas. Un agroecosistema, implica la simplificación de la estructura del ambiente y el reemplazo de la diversidad natural por un número reducido de plantas cultivadas, como así también numerosos subsidios, entre los que incluyen insumos no renovables, para sostener los altos rendimientos esperados (Altieri, 1999). Los costos ambientales o las externalidades negativas producto de los impactos ocasionados por las prácticas agrícolas generalmente no son medidos (Tilman et al., 2002), y son estos costos, los que plantean dudas sobre la sustentabilidad de las

prácticas actuales. En este sentido, la intervención de un ecosistema a través de la intensificación de las actividades productivas en el mismo, como así también la contemplación de las externalidades negativas, implica una valoración de costos y beneficios en la adopción de cada tecnología implementada en los agroecosistemas (Viglizzo et al., 2006a; Manuel-Navarrete et al., 2005).

Actualmente, la intensificación agrícola es una tendencia en los sistemas productivos, basada en el incremento promedio de los factores de producción con el propósito de aumentar los rendimientos por unidad de superficie, donde bajo este paradigma es común observar que el énfasis está centrado en el mayor uso de los insumos (fertilizantes, plaguicidas, trabajo, irrigación, mecanización, y demás) o en la productividad por unidad de superficie expresada en peso, retorno calórico o valor monetario (Andrade, 2016; Gonzalez et al., 2013). Dichos procesos, produjeron a nivel país cambio gradual hacia patrones de uso de tierras donde es posible cultivar más de un cultivo por unidad de superficie, marcados incremento de las superficies sembradas, corrimiento de fronteras agropecuarias, predominio de un cultivo por sobre otros (Andrade et al., 2017 y Andrade, 2016).

### **2.3 Ecología de sistemas. La energía en los sistemas y sus jerarquías**

Actualmente, se demandan enfoques integrales para el estudio del sistema biofísico y social, que contemplen lo mencionado anteriormente, para lo cual, la Ecología de Sistemas provee las bases y herramientas. Un sistema es definido como un conjunto de partes conectadas entre sí, que interactúan conforme a algún tipo de proceso, generando propiedades emergentes provenientes de dicha interacción (Odum, 1983). La biosfera es un sistema abierto donde ocurren permanentemente, interacciones entre los componentes bióticos y abióticos, recibiendo un flujo de materia y energía solar constante, emitiendo calor y residuos (Odum, 1983).

La energía se define como la capacidad de producir un trabajo y su comportamiento, lo describen ciertas leyes. Éstas enuncian que el paso de energía a través del sistema, fluye desde fuentes externas e interacciona ya sea transformando y almacenando energía como un producto y que, además, parte de ella se pierde fuera del entorno del sistema como energía degradada. De esta manera la energía que entra a un sistema no se crea ni se destruye (1° ley, de conservación de la energía), sino que parte se transforma al pasar de un nivel a otro, y otra parte se disipa en forma de calor (2° ley de

la termodinámica). Esto hace que la energía al circular en el sistema pierda su concentración y capacidad para generar trabajo (Odum, 1996). Además de éstas, ciertos principios permiten entender el funcionamiento de los sistemas abiertos. La circulación y transformación de la energía contribuye a la construcción de estructuras que, a través del principio de auto-organización, maximiza el flujo de energía disponible y permite que prevalezcan las estructuras que optimizan el uso de la energía y materia. Estos mecanismos facilitan el establecimiento de jerarquías organizacionales dentro del sistema (Odum, 1983). Del mismo modo, en los ecosistemas hay procesos de auto-organización entre sus componentes Odum (1996).

Siguiendo los principios de la segunda ley de la termodinámica, la cantidad de energía que pasa de un nivel a otro del sistema es menor en cada escalón, dado que no existe una eficiencia absoluta en el proceso de transformación. A su vez, se necesita cada vez mayor cantidad de energía para la construcción de sistemas con niveles más altos de auto-organización; y la energía se concentra acorde se avanza en complejidad dentro del sistema (Odum, 1996). Así, en los procesos ocurridos en la naturaleza, la energía se organiza y forman jerarquías de energías que ingresan al sistema como fuentes poco concentradas (energía de la radiación solar) hasta energías de mayor concentración, donde el potencial de cada una de ellas para intervenir en el sistema, será diferente (Odum, 2003). Todos los sistemas socioeconómicos, incluyendo los sistemas agrícolas, están sujetos a los principios irreversibles de la termodinámica que determinan sus patrones de organización, desde pequeñas escalas, químicas y biológicas hasta escalas globales a través de los flujos de energías sobre todo el sistema de la cadena metabólica (Rótolo et al., 2011b).

La comprensión de la estructura, organización y función de los agroecosistemas, como así también, los principales flujos e interacciones y los modos en que cada uno de los elementos se interrelacionan, permitirá examinar estrategias que respalden un adecuado manejo de los mismos.

### **2.3.1 Concepto de Emergía**

Enraizada en la Ecología de Sistemas (Odum, 1983), que se sustenta en la Teoría General de Sistemas, y específicamente en la Energética de los Ecosistemas que conjuga la Termodinámica con la Ecología, al aplicar las leyes de transformación de la energía a los ecosistemas, surgen las bases conceptuales de la metodología emergética.

Se define a la Emergía, como la energía disponible de un determinado tipo (energía solar), que se ha usado directa o indirectamente en las transformaciones necesarias en un proceso para generar un producto o servicio (Odum, 1996); contemplando todos los aportes (natural y socioeconómicos) del sistema en donde ese producto fue generado. La emergía contabiliza diferentes calidades o formas de energías, por ejemplo, entre las energías calórica, distingue la solar de la fósil, (ya que no es lo mismo el trabajo que produce 1 caloría de energía solar -fotosíntesis- al que produce 1 caloría de combustible fósil -mecánico-) que intervinieron en la generación de un determinado producto, tal como la definición inicial lo afirma. La emergía ha sido descrita como la memoria de toda la energía invertida para la producción de un producto (no es la cuantificación de energía actual presente en un producto o servicio) sino toda la energía ya incorporada en el mismo, por esto, algunos autores la denominan “memoria energética” (Scienceman, 1987 en Brown et al., 2000). La unidad de medida de la emergía es el “emjoule” una unidad referida a la cantidad de energía, con calidad referida a la de la energía solar. La evaluación emergética convierte todos los flujos que intervienen en un sistema en una unidad común, los emjoules solares (sej) (Odum, 1996). Resumido en fórmula (Odum, 1996; Brown y Ulgiati, 1999), la definición de emergía se entiende como:

$$U = \sum f_i * UVE_i$$

$$UVE_i = U_i / f_i$$

Donde, U es el total de la emergía usada por el sistema productivo evaluado;  $U_i$  es el valor total de emergía de un flujo en particular;  $f_i$  son los diferentes flujos (sean éstos Joules (J), gramos (g), horas (h) o USD); de los componentes del sistema, UVE es la unidad de valor emergético (emergía invertida por unidad de cada uno de los flujos de cada componentes del sistema (sean éstos sej/J, sej/g, sej/h o sej/u\$d), con una unidad de valor emergético de radiación solar igual a uno, asumida por definición (Odum, 1996).

La relación entre la emergía requerida para la generación del producto y la energía del producto se denomina transformidad. Así la emergía solar es expresada en “sej”, que significa emjoules solares, mientras que la transformidad es expresada en joules de emergía solar sobre joules (del flujo de energía), es decir sej/J (Brown et al., 2000). Se asume que la transformidad de la radiación solar es igual a 1 por definición (Odum, 1996, 2000). Así las transformidades de los principales flujos naturales en la biosfera (viento,

lluvia, corrientes marinas, ciclos o procesos geológicos, etc.) son calculados como la relación entre el total de energía que impulsa la biosfera en su conjunto, con la energía de cada flujo en consideración o evaluación (Odum, 2000, 1996; Brown et al., 2000).

De esta manera, el total de energía que conduce un proceso es una medida de auto-organización de la actividad ambiental que converge para hacer posible la producción de un bien o producto (Brown et al., 2000).

Para conocer que cantidad de energía con calidad equivalente a la solar, se usan factores como las transformidades (Odum, 1996), o como se denominan actualmente, unidades de equivalencias energéticas UVE (Odum, 1996). Hay tres tipos principales de valores energéticos: la transformidad misma, la energía específica y la energía por unidad de dinero (Brown y Ulgiati, 2004a). Estas unidades de valor energético, son calculadas en base a la energía requerida para producirlas.

**Transformidad:** Es un valor de unidad energética que mide la cantidad de energía necesaria para la generación de una unidad de producto. Se expresa en sej/unidad de energía (J). Esta unidad provee una medida de la eficiencia energética del sistema de producción (Brown y Ulgiati, 2004a). Cuanto mayor es la transformidad de un producto, mayor será la actividad ambiental necesaria del sistema socio-económico y ambiental para producirlo (menor eficiencia en base energética).

**Energía específica:** Es un valor de unidad energética por unidad de masa. Se expresa en sej/unidad de masa (g). Los materiales sólidos son mejor evaluados con datos de energía por unidad de masa a partir de su concentración. Como la energía es requerida para concentrar elementos (espacial y químicamente), el valor de la unidad energética de éstos se incrementa con su concentración (Brown y Ulgiati, 2004a).

**Energía por unidad de dinero:** Es un valor de unidad energética usada para convertir los pagos realizados con dinero en unidades energéticas. Se expresa en sej/unidad de dinero. Dado que el dinero es pagado a las personas y no al ambiente, la contribución a un proceso representado por el pago de dinero, es la energía que las personas pueden adquirir con el dinero. La cantidad de recursos que el dinero puede obtener depende de la cantidad de energía que sostiene la economía y de la cantidad de dinero circulante (Brown y Ulgiati, 2004a).

Dado que diferentes formas de energías tienen diferentes capacidades para realizar un trabajo, es necesario cuantificar aquellas diferentes calidades para ser evaluadas correctamente (Brown y Ulgiati, 1999). Este abordaje del análisis posibilita no sólo la contabilidad y análisis de los flujos de materia, energía e información que intervienen en los procesos de sistemas similares sino también su comparación en el tiempo. Es decir que la emergía evalúa el uso de recursos y la posibilidad de mantener ese uso en el tiempo, ya que reconoce no solo la contribución ambiental directa sino también la indirecta, dándole visibilidad a los beneficios que ofrece el capital natural a los sistemas y procesos productivos. Los agroecosistemas con un mejor desempeño, serán aquellos que muestren una mayor eficiencia emergética por unidad de análisis, aquellos que maximicen la producción de energía a partir de los recursos disponibles, con menor dependencia de insumos externos y menor dependencia de recursos no renovables.

### **2.3.2 Evaluación Emergética**

La metodología fue desarrollada por Odum (1996), pero junto a él, otros autores expanden, desarrollan, perfeccionan y amplían la teoría y sus aplicaciones, entre ellos, Ulgiati y Brown, 2014; Marvuglia et al., 2013; Brown y Ulgiati, 2004a; Brown y Bardi, 2001; Odum et al., 2000; Brown et al., 2000; Brown y Ulgiati, 1999; Brown y Heredeen, 1996.

Desde que H.T. Odum introdujo el enfoque emergético, gran diversidad de trabajos se ha publicado con el objetivo de evaluar el soporte ambiental proporcionado gratuitamente por la naturaleza hacia la actividad agrícola. De este modo, se tiene en cuenta, la energía libre de la radiación solar, la energía química de la lluvia, los aportes del viento, nutrientes del suelo y el agua subterránea; como así también, la energía incorporada a través del tiempo involucrada en la generación de recursos, el apoyo social de la mano de obra y los servicios. Odum, 1996, mediante el concepto de emergía marca el gran papel desempeñado por el trabajo de la biosfera, en apoyo al valor económico de la producción agrícola. Así, la evaluación emergética es un método de contabilidad ambiental basado en el concepto holístico de sistemas; la capacidad de evaluar todas las formas de energías, los materiales y los servicios humanos, convirtiéndolos en una base común, equivalentes a un tipo de energía, la energía solar (fuente principal de entrada de energía a la biósfera). Es una medida de análisis del soporte ambiental pasado y presente de cualquier proceso que ocurre en la biósfera, donde las sociedades humanas están

ensambladas e incluidas dentro de su contexto natural (Rotolo et al., 2008; Brown y Ulgiati, 2004b).

La metodología ha sido aplicada para evaluar la sustentabilidad de agroecosistemas, de actividades agropecuarias y desempeño de cultivos particulares, como así también fue aplicada al análisis de producciones integrales, y evaluaciones regionales de las de las economías de los países.

Evaluaciones emergéticas fueron aplicadas a diferentes cultivos en diferentes escalas y manejos (Zhai et al., 2018; Arpigiani, 2014; Martin et al., 2006) y aplicadas a producciones específicas como banano (De Barros, 2009), café (Cuadra y Rydberg, 2006), aguacate y soja para la producción de biodiesel (Cavalett y Ortega, 2010; Takahashi y Ortega, 2010), sistemas agroforestales (Ferreira et al., 2010), sistemas silvopastoriles (Fonseca et al., 2016); pasturas implantadas (Zhang et al., 2007), a la producción de granos tales como trigo, maíz y soja (Houshyar et al., 2018; Rótolo et al., 2016, 2015, 2014 y 2007; Ferraro y Benzi, 2015), a sistemas de producción de leche y tambos (Oliveira y Agostinho 2015; Vigne et al., 2013; Rótolo et al., 2010), producción de carne en un sistema de ciclo completo con maíz, pasturas y pastizales naturales (Rótolo et al., 2007); producción de proteína de insectos, como alternativa sustentable a otras fuentes de proteína animal (Allegretti et al., 2018); en producciones avícolas y piscícolas, y la reutilización de residuos orgánicos como insumos en la agricultura (Wang et al., 2018 y 2017; Cheng et al., 2017).

Rodríguez-Ortega et al. (2017), analizaron diferentes manejos e intensificaciones de sistemas agrícolas para cría de ganado ovino; Nakajima y Ortega (2015) evaluaron el desempeño ambiental de la producción de sistemas hortícolas con manejo orgánicos y convencionales. Jaklic et al. (2014), compararon los resultados de la evaluación socioeconómica y emergética en los sistemas agrícolas focalizando el sector lácteo. Rótolo et al. (2015a) aplicaron la evaluación emergética para revisar el proceso de desarrollo de la semilla con tecnología genéticamente modificada, evaluando la sustentabilidad de la misma en sus distintas etapas de producción.

Evaluaciones emergéticas también fueron aplicadas a sistemas de producciones diversificados e integrados en un mismo espacio, tal como agricultura y ganadería u otras producciones (Patrizi et al., 2018; Rodriguez-Ortega et al., 2017; Wu et al., 2015 y 2013;

Zhang et al., 2007; Cavalett et al., 2006; Bastianoni y Marchettini, 2000) donde enfocan la sustentabilidad de las mismas, confirmando que las producciones bajo subsistemas integrados permiten un ahorro, en términos energéticos, en comparación las producciones individuales, debido a la optimización de los recursos disponibles internamente. Wu et al. (2015) utilizaron la metodología para evaluar un sistema agrícola con múltiples subsistemas diversificados (nuez y granos; cerdos y aves de corral y biogás) donde demostraron que el modelo integrado había mejorado la eficiencia de los recursos y el uso de la tierra, el desempeño ambiental, como así también la producción por unidad de área y la sostenibilidad en comparación con un sistema convencional. Rótolo et al. (2010) evaluaron un sistema de pastoreo-tambo, asegurando el mejor desempeño ambiental dadas las ventajas de la integración. Producciones de tipo industriales y evaluaciones industriales-urbanas integradas también fueron analizadas mediante metodología energética (Sun et al., 2017). También se evaluó la contribución energética de residuos agroindustriales, incorporado a sistemas agrícolas como biofertilizantes en la mejora de la sustentabilidad de los mismos (Wang et al., 2017).

Se aplicó la metodología para evaluaciones a escalas regionales y nacionales para diferentes países, se evaluó la sostenibilidad socioeconómica de los mismos a través del tiempo, focalizando en el soporte y desempeño ambiental de las principales producciones agropecuarias y agroindustriales; evaluando el crecimiento económico en cada caso, como así también las relaciones comerciales internacionales (Liu et al., 2019; Rótolo et al., 2018; Chen et al., 2018 y 2006; Tian et al., 2017; Zhang et al., 2016; Ghisellini et al., 2014; Tao et al., 2013; Lou y Ulgiati, 2013; Rótolo y Francis, 2008; Ferreyra y Brown, 2007; Ferreyra, 2006 y 2001; Rydberg y Haden, 2006; Lefroy y Rydberg, 2003; Bastianoni et al., 2001.). En dichos trabajos se pone de manifiesto la relación cambiante entre la agricultura y la sostenibilidad de la sociedad, sus estados comerciales, como así también el uso de sus recursos ambientales y sus riquezas. Destacan la importancia de caracterizar y valorar con una visión sistémica los bienes y servicios ecosistémicos.

Evaluaciones al capital natural, los bienes y servicios ecosistémicos, como así también lagos y cuencas a niveles regionales o a escala biósfera también fueron llevadas a cabo (Zhong et al., 2018; Wang et al., 2016; Rótolo y Francis, 2011b; Lomas Huertas, 2009; Campbell y Brown, 2009; Brown et al., 2000; Brown y Ulgiati, 1999). Dichos antecedentes demuestran que la evaluación energética es una metodología superadora por sobre aquellas que estiman solo aspectos monetarios de valoración y destacan la

importancia de la metodología para caracterizar, evaluar y valorar desde una visión sistémica e integradora, los bienes y servicios ecosistémicos.

La metodología fue aplicada para analizar el consumo y producción de energía anual en la construcción de edificios, casas residenciales, como así también en el funcionamiento de los mismos hasta incluso en la cuantificación del metabolismo humano de sus residentes y los servicios o información generados por éstos. Así, se analizó el consumo y la producción de energía anual de una institución educativa (edificio experimental construido de acuerdo a normas ambientales especiales), donde las entradas y salidas de energías al sistema consideradas fueron los aportes y resultados del proceso de formación académica en conjunto al funcionamiento del edificio. (Meillaud y Brown, 2005).

La evaluación emergética fue aplicada de manera integrada a otras metodológicas como por ejemplo junto a evaluaciones de huella ecológica (Siche et al., 2010); como así también junto a análisis de ciclo de vida (ACV). Rótolo et al. (2015) han evaluado los impactos de la producción agrícola en la región Pampeana Argentina integrando las metodologías. Ulgiati et al (2006) y Reza et al. (2014) evaluaron el consumo de los recursos naturales en el proceso de construcción de edificios y sus impactos, también mediante ambos métodos integrados (EE-ACV). Estos autores, demostraron que son metodologías que se complementan adecuadamente y que ofrecen una herramienta práctica de evaluación de la sostenibilidad al proporcionar resultados cuantitativos y transparentes para la toma de decisiones informada. Wang et al. (2018) aplicaron conjuntamente a la evaluación emergética, la huella de carbono y un análisis económico, para la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de producción de granos en China durante 2000-2015, permitiendo el análisis de la sustentabilidad ambiental de los sistemas productivos.

En casi la totalidad de los antecedentes mencionados, se destacó el funcionamiento de los agroecosistemas y/o producciones particulares, los cambios en el consumo de energía, el aporte de los recursos naturales y servicios ecosistémicos en los procesos productivos, su evolución en el tiempo, como así también la dependencia a las tecnologías y el uso de los recursos renovables y no renovables, como factores de incidencia en la sostenibilidad y estabilidad ambiental a largo plazo. En la mayoría de los

casos destacan estrategias y herramientas para la toma de decisiones y la necesidad de optimizar el uso de los recursos y aumentar la dependencia de las energías renovables.

Si bien, son abundantes los antecedentes que demuestran, acreditan y avalan la rigurosidad, importancia y alcances de esta metodología, ciertos autores cuestionan la falta de investigación que caracterice y documente las incertidumbres respecto al proceso de evaluación emergética, (Reza et al., 2013). Estos autores, sostienen que la confiabilidad de los resultados de la síntesis emergética puede verse afectada por la incertidumbre inherente a los parámetros y modelos de la metodología. Lomas Huertas (2009), señala tres críticas principales a la metodología, 1) el uso de transformidades o emergías específicas fuera de contexto procedentes de estudios donde los procedimientos y elaboración de las mismas no sean claras y precisas; y/o no guarden similitud entre los sistemas a analizar; 2) la variabilidad y debilidad de las cifras, haciendo referencia a que para un mismo producto el factor de equivalencia puede variar según los distintos estudios y 3) la circularidad del argumento entre emergía y factor de equivalencia. Como a toda metodología que se está imponiendo, autores, señalan controversias a la misma (Brown y Herendeen, 1996; Hau y Bakshi, 2004). No obstante, muchas de estas controversias han sido corregidas (Ulgiati, et al. 2011). Además, actualmente, existen bases de datos que brindan una recopilación de las principales transformidades y emergías específicas agrupadas por temas y con detalle de sus cálculos, que son actualizadas constantemente (NEAD, 2017).

## **2.4 Evaluaciones al cultivo de algodón**

Se cuenta con numerosos estudios de la región algodонера del país, vinculados a manejo agronómico y aspectos ecofisiológicos del cultivo vinculado a estreses, crecimiento y desarrollo (Scarpin et al., 2019 y 2018; Mieres et al., 2019; Mieres et al., 2015; Mondino y Koritko, 2017; Mondino y Araujo, 2011; Mondino y Lozano, 2015; Sauer et al., 2015; Tarragó et al., 2015; Gonzales, 2015; Paytas y Ploschuk, 2013; Paytas, 2012; Tcach et al., 2011; Mondino et al., 2011; Sosa et al., 2014; Sosa et al., 2012; Sosa et al., 2006; Cracogna et al., 2011; Paytas, 2010; Wakelyn y Chaudhry, 2010). Sobre configuración espacial, distanciamientos, densidades, fertilización y riego (Paytas, 2013; Paytas et al., 2012; Paytas et al., 2011; Brach, 2006). También se han realizado investigaciones sobre incorporación de genotipos y nuevas variedades (Dileo et al., 2018 a y b; Scarpín et al., 2018). Así mismo, se han evaluado parámetros tecnológicos de

calidad de fibra (Scarpin et al., 2019; Winkler et al.; 2018; Paytas y Tarrago, 2011; Wakelyn y Chaudhry, 2010; Montenegro et al., 2008; Chaudhry y Guitchounts, 2003). Otras investigaciones estimaron la sustentabilidad del cultivo mediante indicadores de eficacia del uso de insumos (Dagistan et al., 2009). Como así también la demanda y eficiencia en el uso de energía, en relación a diferentes prácticas de manejo en el control de malezas también fue evaluada (Rani et al., 2016).

En relación a evaluaciones de impacto ambiental, mediante la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV) se analizaron los puntos críticos e impactos durante la producción de una prenda de algodón (Bongiovanni y Tuninetti, 2018); como así también se aplicó un ACV para cuantificar la energía requerida para la producción del algodón en distintas regiones algodoneras del mundo, bajo distintos paquetes tecnológicos (Matlock, et al., 2014). También fueron determinados los costos y la cantidad de energía de entrada directa e indirecta por hectárea en la producción de algodón (Yilmaz et al., 2005). El riesgo de impacto en el ambiente por los plaguicidas más usados en el cultivo de algodón también fue evaluado (Grenón et al., 2018; Menapace et al., 2015 y Magliano Sillón et al., 2015). Se desarrollaron e implementaron en las principales regiones algodoneras del mundo un programa de buenas prácticas agrícolas con el involucramiento de los productores y distintos sectores de la cadena industrial (Hina, 2019; Riar et al., 2013; Makhдум et al., 2011; Grose, 2009; Williams, 2005). A escala regional, bajo el lema “algodón 100% santafesino” desde la campaña agrícola 2014/2015 se dio inicio a un programa de trazabilidad del algodón desde la producción primaria hasta la confección de prendas, iniciativa impulsada por APPA en estrecha colaboración con todos los eslabones del cluster productivo (Zampar, 2018; Lopez et al., 2016).

Con la incorporación de la tecnología transgénica el algodón fue estudiado de modo comparativo a los materiales convencionales, con énfasis en la evaluación de sus beneficios e impactos económicos, sociales y ambientales (Edge et al., 2001; Andow et al., 2006; Morse et al., 2006; Fernandez Cornejo y Caswell, 2006). En la dimensión ambiental, Giraldo, (2011) evaluó riesgos biológicos de la tecnología, Reyes et al. (2010) llevaron a cabo mediciones comparativas de los sistemas productivos convencionales y transgénicos de algodón con foco en los cambios de usos de agroquímicos y maquinarias. Así mismo, se realizaron evaluaciones aplicadas al manejo integrado de plagas e impacto de la tecnología transgénica en organismos no objetivo de control (Almada, 2019; Sosa y Almada, 2014; Sosa et al., 2012; Almada et al., 2012; Almada y Sosa; 2012; Thomazoni

et al., 2010; Men et al., 2003) quienes, entre las principales variables estudiadas, fueron los cambios en la abundancia, riqueza y diversidad de las comunidades de artrópodos enemigos naturales de las plagas asociadas a dicho cultivo.

En cuanto a evaluaciones económicas en el cultivo de algodón, se hallaron estadísticas y estimaciones productivas anuales y de prospectiva de las innovaciones tecnológicas (International Cotton Advisory Committee, [www.icac.org](http://www.icac.org)); aspectos de sobre comercialización internacional, mercados y la demanda textil y tendencias (Toby, 2015; Chaudhry y Guitchounts, 2003; ICAC, 2017; 2000; Delssín, 2012) como así también su expansión hacia nuevas áreas productivas a nivel mundial (Ruiz, 2019) como así también a escala regional (Paytas et al., 2015).

A nivel nacional y regional, estudios del clúster algodonero, cadena de valor y mercados (APPA, 2018; 2000; Cámara Algodonera Argentina; 2018; 2000; Piedra, 2008; Elena et al., 2006 a y b); evaluaciones económicas sobre la rentabilidad y prácticas de manejo (Elena et al., 2008a; 2008b; 2006), tendencias sociales, productivas y económicas (Quirolo, 2013; García, 2007; Pertilé, 2003), como así también, valoraciones económicas de las pérdidas por cosecha mecánica; riesgos productivos vinculados al aseguramiento del riesgo agrícola del cultivo; economía de escalas (Lacelli, 2017; 2008; Wdowiak et al., 2012).

Los antecedentes dan cuenta de la importancia agronómica, productiva y socio económica del cultivo del algodón, pero pocos referencian de modo integral estos aspectos. Tampoco predominan análisis sobre la eficiencia del uso de los recursos naturales que sostienen la producción y el desempeño ambiental del cultivo, es decir que no se registran evaluaciones energéticas sobre el cultivo del algodón, en el país. De modo que, lo anteriormente expuesto, ha motivado la presente propuesta de análisis, enfocando no solo en los aspectos agronómicos y económicos del cultivo, sino las interacciones ecológicas y biofísicas que le dan sustento al sistema productivo del algodón.

## Capítulo 3: Materiales y Métodos

### 3.1 Descripción del área de estudio

El norte de la provincia de Santa Fe, forma parte de una de las unidades biogeográficas más importantes de Sudamérica denominada el Gran Chaco. Teniendo en cuenta la fisonomía de la vegetación natural se reconocen cinco grandes subregiones de oeste a este: el Domo Occidental, los Bajos Submeridionales, la Cuña Boscosa, el Domo Oriental (Figura 3.1), y la región ocupada por las llanuras de inundación e islas asociadas al Río Paraná (Giorgi et al., 2009; Cabrera, 1994; Lewis y Pire, 1981). La oferta ambiental es particular en cada una de estas áreas con peculiaridades en sus suelos y paisajes, y con ellos, en los tipos de producciones agropecuarias. El área de estudio, de aproximadamente 800000 ha, se ubica en la región agrícola del Domo Oriental, que abarca el sector central del departamento General Obligado, el sector sudeste y noroeste de los departamentos de Vera y San Javier respectivamente (Figura 3.1), (Sponton y Delssin, 2005). La potencialidad productiva de la zona se encuentra sostenida por el clima subtropical, con régimen de precipitaciones de 1.250 mm al año y temperaturas medias anuales (20°C) (Giorgi et al., 2008; Mieres y Marano, 2010); permitiendo en la región, las producciones agrícolas en secano.

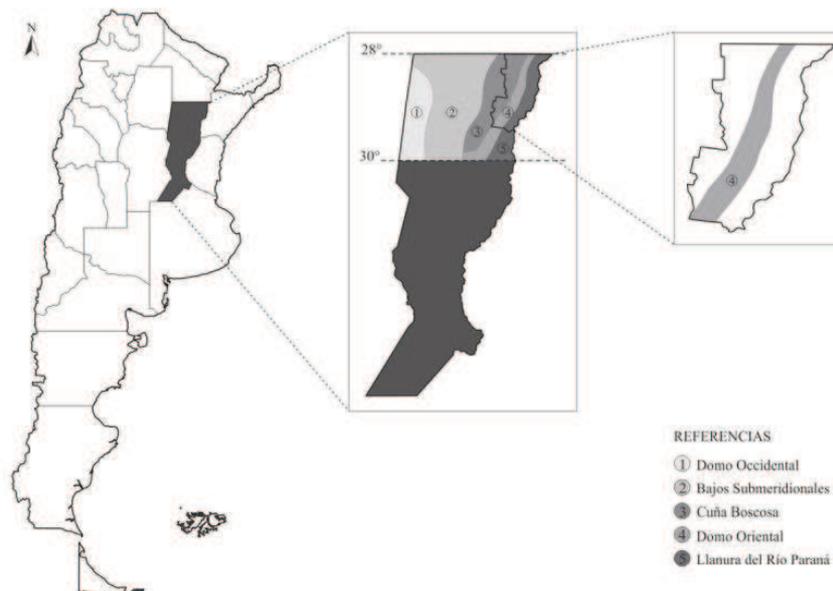


Figura 3.1. Área de estudio: Domo Oriental Agrícola (4), departamento General Obligado, provincia de Santa Fe, Argentina. Fuente: Fisonomía vegetal del norte de la provincia de Santa Fe, adaptada de Regiones Naturales, en Mapa de Suelos INTA MAGPSFE (1981); Panigatti et al. (2007); INTA; Intea; Fundación Argentina y AACCS.

El uso de los suelos, es de tipo agrícola-ganadero, con predominio de producción agrícola en las tierras de aptitud media y alta, áreas donde la vegetación natural del monte chaqueño ha sido reemplazada por cultivos (Giorgi et al., 2008). Relevamientos regionales del contenido de materia orgánica realizados en la década 1998/2008 indican para los 20 cm superiores contenidos promedios de 1,74% en lotes con algodón (Paiz, 2009). El progreso hacia las secuencias agrícolas se adoptó gradualmente en el norte de Santa Fe, junto con el uso de fertilizantes que complementan la disponibilidad de nitrógeno y fósforo del suelo. Actualmente las reposiciones de ambos nutrientes siguen siendo sub-óptimas y los balances nutrimentales negativos, sin embargo, los cultivos de maíz y trigo se consolidaron en los esquemas agrícolas regionales como complemento para lograr manejos sustentables (Mieres, 2017).

La producción de algodón en el área de estudio, queda circunscripta en el centro y norte del departamento General Obligado y es compartida con la soja (*Glycine max*, L. Merr.), el girasol (*Helianthus annuus* L.), el trigo (*Triticum* spp. L.), y el maíz (*Zea mays* L.), como principales cultivos, en porcentajes variables según los años (Figura 3.2), En la provincia, el algodón, es un cultivo representativo principalmente en la zona norte, dadas las condiciones climáticas; prolongados periodos aptos para cultivos de verano, con tres épocas de siembras con secuencias propias para la zona (Giorgi et al., 2008). Si bien, actualmente a nivel provincial, no predomina en superficie (Fig. 3.3) su importancia radica en el desarrollo regional del norte santafesino, logrando un clúster productivo que vincula al sector primario, secundario y terciario, articulando empresas de servicios, industrias metalmecánicas, desmotadoras e hilanderías hasta empresas de confecciones con marcas locales (Gregoret, 2017; Delssín, 2003;), diferenciándose de las demás cadenas productivas por su complejidad y grado de articulación y desarrollo local.

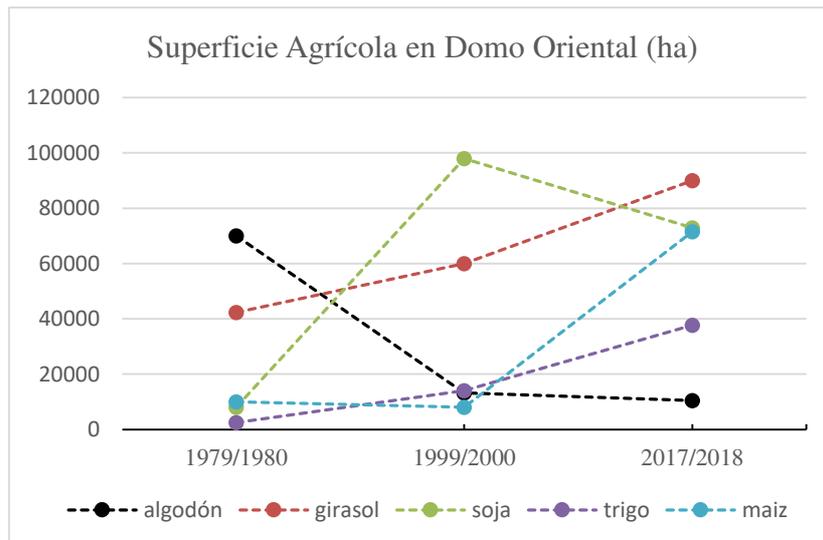


Figura 3.2. Dinámica de la superficie sembrada (ha) de los principales cultivos agrícolas en el Domo Oriental Agrícola, de la provincia de Santa Fe, en tres períodos seleccionados. Fuente: APPA (2018); Estimaciones Agrícolas, Secretaría de Agroindustria (2018); (Delssin, 2012; 2003).

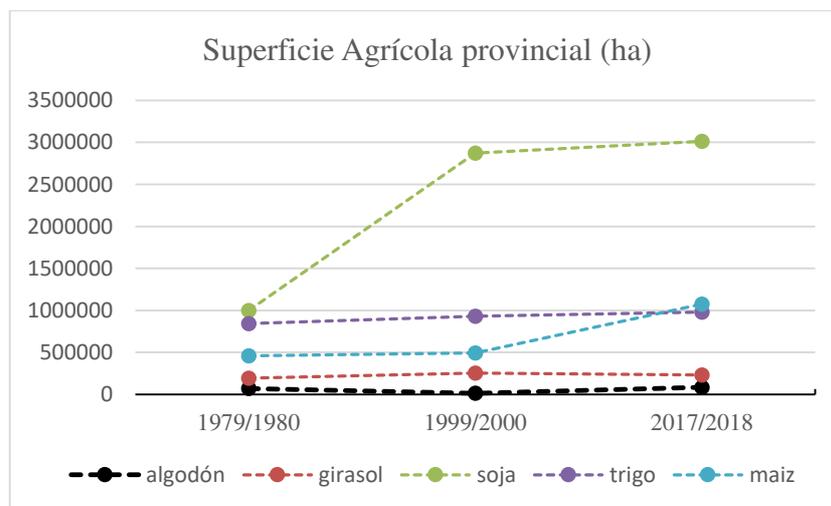


Figura 3.3. Dinámica de los principales cultivos agrícolas sembrados (ha) en la provincia de Santa Fe, en los años de estudio. Fuente: APPA (2018); Estimaciones Agrícolas, Secretaría de Agroindustria (2018); (Delssin, 2012; 2003).

### 3.2 Objeto de estudio

Se seleccionaron los sistemas de producción de algodón en bruto que se encuentran en la zona agrícola del Domo Oriental Santafesino (Figura 3.1) en tres períodos diferentes (1979-1980; 1999-2000 y 2017-2018) que presentan diferencias

claras y contundentes en el manejo de los agroecosistemas destinados a la producción de algodón. De aquí en adelante se los llamarán sistemas de Producción de Algodón en 1980, 2000 y 2018 (PA1980; PA2000 y PA2018 respectivamente). En la Sección 3.3 se brindan detalles de la caracterización de los mismos en los tres períodos mencionados.

La premisa para seleccionar los datos a analizar consistió en obtener información que representara el manejo típico de cada período en la zona estudiada. Cada año seleccionado, representa el manejo productivo aplicando tecnologías e innovaciones para la producción de algodón que se fueron consolidando a través de diez a quince años previos y que son sintetizados en cada año en este trabajo.

El enfoque y tipo de evaluación a realizar requiere identificar la unidad de producción y establecer límites espacio-temporales de los sistemas de estudio. En el presente proyecto se analizó la producción anual de algodón en bruto por hectárea y por año en los tres periodos específicos mencionados anteriormente. El año agrícola se considera desde el mes de mayo de un determinado año a abril del siguiente. Las labores contabilizadas abarcaron las tareas requeridas por el cultivo, previas a la implantación del mismo o pre-siembra, hasta la cosecha, post-cosecha y acondicionamiento de la producción dentro del predio, sin contemplar flete, transporte ni comercialización del producto hasta la industria. Se recopiló y procesó información ambiental, social y económica acerca del modo de producción de algodón en bruto, su manejo y las tecnologías empleadas en cada periodo, que serán detalladas en la sección 3.3.

### **3.3 Caracterización de los sistemas de producción de algodón**

La producción de algodón en el área de estudio a lo largo del tiempo, se caracterizó por manejos y tecnologías representadas en los períodos seleccionados. La alta variabilidad en producción y superficie sembrada a lo largo de la historia del cultivo del algodón (Tabla 3.1) es una cualidad propia de la actividad en la región (Pilatti, O., comunicación personal, 2016; APPA 2018; Gregoret, 2015; 2000; Delssin, 2012). No obstante, el sistema productivo en cada año analizado, constituye el modelo de producción representativo del área de estudio, sin desconocer particularidades en relación a categoría y estratificación de establecimientos según sus escalas productivas (Delssín, 2012; Lacelli, 2003) y tipografía de productor, como así también contextos socioeconómicos particulares.

Tabla 3.1. Evolución de la producción y superficie aldonera nacional, provincial y del Domo Oriental Agrícola, en los periodos seleccionados.

	<b>PA1980</b>	<b>PA2000</b>	<b>PA2018</b>
Superficie nacional sembrada (ha)	585.400	345.950	450.000
Superficie provincial sembrada (ha)	70.000	13.200	83.340
<i>% superficie nacional</i>	<i>11,96</i>	<i>3,82</i>	<i>18,52</i>
Superficie sembrada en Domo Oriental Agrícola (DOA)	52.500	5.000	10.450
<i>% superficie provincial</i>	<i>75</i>	<i>38</i>	<i>13</i>
Rendimiento promedio de algodón en bruto en DOA (kg/ha)	1.000	1.500	1.900
Número de Productores de algodón en la provincia	400	212	124

Fuente: Estimaciones Agrícolas, Secretaría de Agroindustria (2018); Gregoret (2018 y 2015); Delssin (2012 y 2003).

Se detallan a continuación los sistemas de producción de algodón en bruto caracterizados en tres períodos, cada uno de los cuales, como se mencionó, extracta los grandes cambios transcurridos a lo largo de diez o veinte años previos (Tabla 3.2).

Producción de algodón en 1979/1980 (PA1980): Predominó la labranza convencional, con arado y movimiento de suelo profundo. Las semillas sembradas eran variedades convencionales, de ciclo largos, no transgénicas. No se realizó fertilización ni se aplicó herbicidas foliares; las tareas del control de malezas eran mayormente manuales, sólo se usaban herbicidas incorporados al suelo, previo a la implantación del cultivo, como única aplicación. Se utilizaban insecticidas. El cultivo del algodón, no rotaba en una secuencia de cultivos, se hacía monocultivo de algodón. La cosecha era manual, con mano de obra familiar o contratada (al igual que el control de malezas con carpidas y los raleos post-emergencia del cultivo).

Producción de algodón en 1999/2000 (PA 2000): A partir de la década del ochenta y en adelante, grandes innovaciones acompañadas por la tecnológica atravesaron al sector y van consolidándose de aquí en adelante. Se inició con la que se mecanización de la cosecha y se redujeron las tareas manuales de raleo, carpidas y cosecha, no obstante, se aún se aplicaba, en menor proporción, aun la labranza convencional reducida (con arados de cincel y rastras de discos), con movimiento de suelos superficial; como así también coexiste en parte la cosecha manual. El control de malezas se realiza mediante la aplicación de herbicidas. Se emplea la fertilización nitrogenada a la siembra y los insecticidas requeridos para el control de las principales plagas. Se usan semillas de

variedades convencionales. El algodón entra en una rotación de cultivos, siendo la soja su principal antecesor. La cosecha mecánica, se implementa mediante cosechadora autopropulsada con sistema “picker” (sistema predominante desde los años 90).

Producción de algodón en 2017/2018 (PA 2018): En éste período, la producción del algodón adopta la siembra directa junto a la tecnología denominada “surcos estrechos o altas densidades”. La secuencia de cultivos representativa es trigo/soja, y luego algodón. La semilla utilizada es transgénica con la incorporación de genes de tolerancia a herbicida (glifosato) y control de lepidópteros (Bt). Este paquete tecnológico requiere del uso de fertilizantes nitrogenados y fosforados, herbicidas, reguladores de crecimiento, defoliantes e insecticidas. La cosecha es mecanizada, mediante máquinas cosechadoras de arrastre, de tipo “stripper”.

Tabla 3.2. Características generales del tipo de manejo de la producción de algodón en bruto en cada período seleccionado

<b>Manejos/Períodos*</b>	<b>PA1980</b>	<b>PA2000</b>	<b>PA2018</b>
<b>Rotación predominante</b>	Monocultivo	Soja/algodón	Trigo/soja/algodón
<b>Tipo barbecho</b>	Mecánico	Mecánico	Químico
<b>Tipo de semilla</b>	Variedad convencional	Variedad convencional	Variedad OGM-Bt-RR
<b>Tipo labranza</b>	Convencional (mov. suelo profundo)	Convencional reducida (mov. suelo superficial)	SD
<b>Distanciamiento entre surcos (m)</b>	0,70	0,70	0,52
<b>Mano obra promedio (hs)</b>	180 -185	8-12	5-10
<b>Consumo Gasoil (l/ha)</b>	70-80	60-70	25-35
<b>Carpidas y raleos</b>	Únicamente manual	Eventualmente manual	NO
<b>Control de malezas</b>	Manual y mecánico	Control químico	Control químico
<b>Fertilización</b>	NO	Con nitrógeno	Con nitrógeno y fósforo
<b>Reguladores de crecimiento y defoliantes</b>	NO	NO	SI
<b>Sistema cosecha</b>	Manual	Mecánica Sapucay ( autopropulsada-picker)	Mecánica Javiyú (arrastre-stripper)

Fuente: Información propia. Omar Gregoret (APPA-UAA, 2018).

\*Cada año representa una síntesis que caracteriza y abarca un período de quince o veinte años hacia atrás.

## **3.4 Métodos**

### **3.4.1. Entrevistas semiconducidas para identificación de los sistemas**

Para la selección de los agroecosistemas se identificaron los manejos típicos/representativos en cada período a través de entrevistas personales semiconducidas<sup>1</sup> (Bryman, 2012) a un conjunto de productores agropecuarios referentes y/o asesores profesionales miembros de diferentes instituciones vinculadas a la Producción del Algodón (Ver Anexo C). Los profesionales y productores agropecuarios contaban con vasta experiencia, además de los registros correspondientes. Entre las Instituciones consultadas, APPA involucra a todos los eslabones de la cadena algodonera en una misma mesa (salvo el eslabón tintura que está en Buenos Aires (APPA, 2015; Delssin comunicación personal, 2016). Así, para la obtención de los datos (muchos de los cuales se encontraban débilmente registrados en las bases de datos provinciales) y darle robustez a los mismos se adoptaron tres vías: a) entrevistas a especialistas y expertos que permitió recopilar información sobre datos promedio de manejo típico, datos acerca del uso de insumos y tipo de cosecha, para la caracterización de los sistemas, como así también garantizar que los mismos representaran manejos frecuentes/típicos de la zona y período, b) verificación de la información de datos recopilados, en primera instancia, con los datos de manejo de establecimientos específicos seleccionados (que contaban con documentación y registros) junto a bibliografía y c) validación de los datos con otros expertos en manejo de algodón, con el objeto de darle mayor confiabilidad y robustez a los datos recolectados y confirmar que ofrecieran una información representativa de la zona y de cada período. Ver en Anexo C, listado y detalle de instituciones y expertos consultadas.

### **3.4.2. Evaluación emergética**

La emergía, es la cantidad de energía disponible (o exergía) de una sola clase (generalmente referenciada a la solar, Joules solares, sej) que se necesita directa o indirectamente, durante todos los pasos requeridos para la generación de un determinado producto o servicio (Odum, 1996). Debido a que utiliza como base de referencia a la energía solar, es una medida del soporte ambiental. Ese soporte ambiental está representado por la unidad de valor emergético (UVE) que puede ser obtenido a través de

---

<sup>1</sup> Entrevistas semiconducidas: consistentes en completar datos de un inventario pre-establecido y dejar que los expertos/productores detallaran datos, manejos y acciones cuando lo consideraban necesario.

cálculos propios o de bibliografía, y se refiere a la cantidad de emergía (sej) por unidad de producto/servicio medido en energía (J), masa (kg) o dinero (USD), encontrándose en la bibliografía mencionado también como transformidad (sej/J), emergía específica (sej/kg) o tasa emergía-dinero (sej/USD) detallado en la Sección 2.5 (Odum, 1996; Brown, 2004). Mediante el análisis emergético se miden los aportes ambientales (energías y masa), como así también los aportes económicos y laborables del proceso utilizando una unidad única de medida que son los Joules solares o emJoules. Así se pueden medir y comparar tanto los recursos monetarios como no monetarios, bienes y servicios (Brown y Ulgiati, 1999).

### **Procedimiento para la Evaluación Emergética**

Los pasos y puntos básicos aplicados en este estudio siguen los procedimientos metodológicos propuestos por: Odum (1996 y 1983); Brown y Ulgiati (2004 a y b; 2000) y se resumen a continuación:

#### **a) Delimitación del sistema y definición de los límites espacio-temporales**

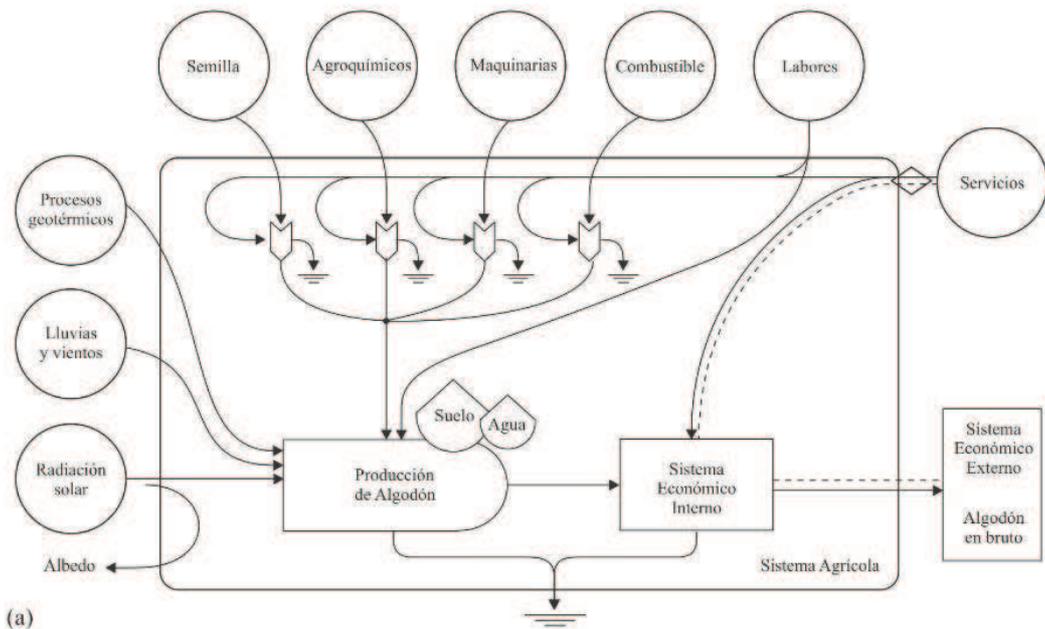
Inicialmente, el sistema a estudiar fue delimitado en función de los objetivos focalizados en la producción de algodón en bruto, en una hectárea y año, en diferentes momentos. A partir de los límites espacio-temporales definidos, se detallaron las principales entradas y salidas de energía, describiendo la organización de los principales flujos, mediante la utilización de la simbología propuesta por Odum (1983, 1996) (Figura 3.4).

#### **b) Construcción de diagramas de flujos energéticos**

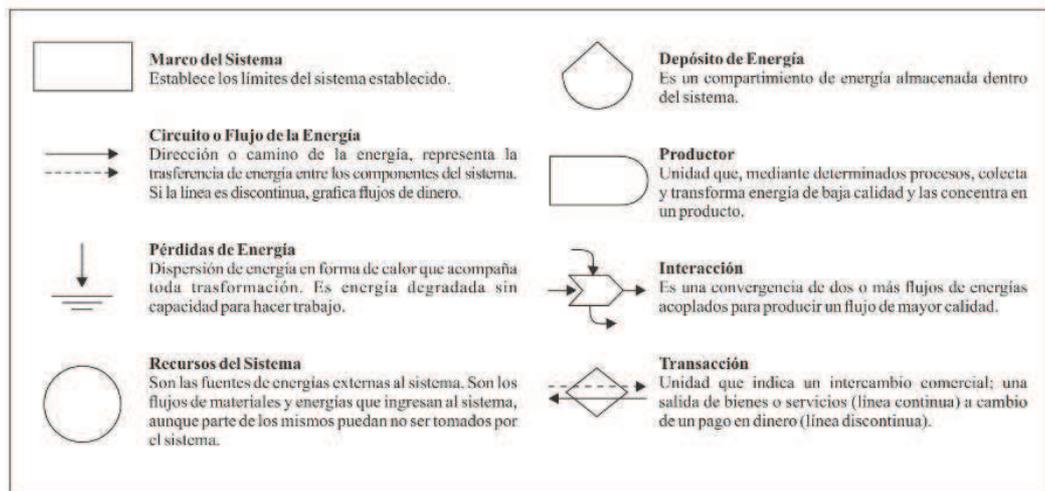
La construcción de un diagrama permite mostrar los flujos y stocks que intervienen en el proceso de producción del algodón en bruto y facilita su contabilidad para luego calcular la emergía resultante (Brown, 2004). En el diagrama del sistema analizado, los componentes y los flujos están ordenados de izquierda a derecha reflejando el flujo de mayor energía disponible, a la izquierda, decreciendo hacia la derecha, con cada paso o salto de transformación de energía (Brown y Ulgiati, 2004). La exergía se va degradando de izquierda a derecha durante las etapas del proceso, mientras la emergía va aumentando.

En la Figura 3.4 se delimitó la escala de análisis, se identificaron y detallaron las entradas y salidas del sistema, se clasifican los principales flujos y recursos vinculados

a la producción del algodón; se presentan sus interacciones. Posteriormente, son estos flujos los que se evalúan y cuantifican por la metodología propuesta.



(a)



(b)

Figura 3.4. (a). Esquema genérico del sistema de producción de algodón aplicado en este estudio como base para la evaluación emergética. (b). Leyenda y significado de simbología en lenguaje energético utilizada en el diagrama. Adaptado de Odum (1996).

### **c) Elaboración de tablas de evaluación emergética**

Una vez definida y diagramada la unidad de análisis con sus flujos y límites espacio-temporales, kg algodón bruto/ha-año, (detallado en la Sección 3.2), y diseñado el sistema a analizar, se cuantificaron y procesaron los datos relacionados a insumos, labor y servicios, costos y rendimientos logrados, además de variables ambientales correspondientes a las tecnologías de cada sistema. Los datos, en unidades de masa, energía, monetaria o horas hombres, fueron listados para la construcción de tablas de inventarios de insumos y productos, detallando los componentes y las actividades que intervienen para la generación del producto (algodón en bruto) en el ecosistema agrícola que lo produce.

Los flujos de entradas y salidas del sistema se contabilizaron en las siguientes unidades: energía (J), gramos o kilogramos y dólares estadounidenses (USD), por hectárea (ha) y año. Una vez cuantificados los contribuyentes al sistema, se procedió a la evaluación en términos de flujos de energía. Para ello se utilizó la energía de cada entrada contribuyendo al sistema, utilizando intensidades emergéticas o unidades de valor emergéticas (UVE). Como se mencionó anteriormente, los valores de UVE, referidos a unidades de energía (sej/J), de masa (sej/g) o de dinero (sej/USD), están disponibles en la bibliografía, calculadas para una amplia variedad de procesos. Así las contribuciones de energía, masa y dinero al sistema fueron transformadas en unidades de energía, con el fin de contabilizar los recursos naturales, así como el soporte ambiental de los bienes y servicios con valor de mercado y del trabajo humano que participan del sistema con el objeto de producir algodón en bruto. Los cálculos y las fuentes de datos utilizados fueron indicados en notas aclaratorias al pie de cada tabla de evaluación emergética de cada sistema (ver Anexo A). Los costos considerados fueron todos los insumos y servicios utilizados más los gastos por empleo, mantenimiento y amortizaciones de maquinaria, de acuerdo a la tecnología implementada en cada sistema. Los precios utilizados fueron en su mayoría precios locales, a valor mercado y convertidos a moneda extranjera (USD, dólares estadounidenses en valores corrientes, valor acorde a cada año) sin IVA.

La Tabla 3.3 muestra, de modo general, el ordenamiento de la información en una Tabla para la realización del análisis emergético (basada y adaptada de Brown y Ulgiati, 2004a).

Tabla 3.3. Ejemplo de tabla de evaluación emergética (Brown y Ulgiati, 2004a).

1	2	3	4	5	6	7
Nº	Item (componente o flujo)	Unidad	Dato (cantidad del flujo)	Unidad de valor energético (UVE) (sej/unidad)	Energía Solar sej/ha/año	% de Energía
1	Item 1	J/ha/año	Xxx 1	Xxx 1	Em 1	Em1/E
2	Item 2	g/ha/año	Xxx 2	Xxx 2	Em 2	Em2/E
...	...	...	...	...	...	
N	Item n	...	Xxx n	Xxx n	Em n	
Y	YItem	J-g- usd/ha/año			$U = \sum_{n=1}^n$ Em	100%

La columna 1, indica el número de orden de cada uno de los componentes o flujos del sistema y se corresponde con el orden de las referencias al pie de cada tabla, donde cita el origen del dato y se detallan los cálculos realizados para la obtención del mismo en sus unidades correspondientes. En la columna 2, cada ítem indica el componente del sistema y el tipo de flujo, que fueron representados previamente en el diagrama del sistema analizado. En la columna 3 se especifican las unidades (energía, masa, horas hombre o unidades económicas J, g, hh o USD, respectivamente) utilizadas para cada cifra de la columna 4 en la hectárea y año. En la columna 4 se muestra la magnitud de cada flujo, cálculos que se detallan al pie de la tabla. La columna 5 representa la unidad de valor emergético, UVE, dato calculado y/o obtenido de bibliografía o factor de equivalencia (sej/unidad (J, g, hh o USD), que transforma las cifras de las columnas 4 en las cifras de las columnas 6 (referencia la energía requerida para la contribución al sistema). Así los valores de la columna 6 indican el valor de energía del flujo o componente analizado y se obtiene multiplicando la columna 4 por la columna 5. La columna 7 incluye el porcentaje de participación o aporte de energía de cada uno de los flujos en relación al total del sistema. En las filas se listan los componentes que ingresan y egresan al y del sistema.

#### d) Indicadores emergéticos

Para el cálculo de los indicadores emergéticos, los ítems de los flujos y recursos de cada sistema (Tabla 3.3), fueron agrupados en *recursos naturales renovables* locales (R: radiación solar, lluvia, evapotranspiración, viento y calor interno de la tierra); en *recursos naturales no renovables* locales (NR: suelos y agua empleada proveniente de aguas subterráneas; considerados no renovables por su lenta tasa de renovabilidad en el

tiempo); *recursos comprados* (M: semilla, combustible gasoil, lubricantes, fertilizantes, insecticidas, fungicidas y herbicidas y otros bienes usados); *mano de obra local* (L: horas hombre de trabajo invertido directamente en la producción del cultivo) y *servicios* (S: trabajo indirecto, “know-how” e información involucrados en el proceso productivo). En cuanto a las entradas renovables (R) dado que todas son co-productos de los principales procesos de la geobiósfera y no son independientes entre sí, solo se contabiliza aquella entrada de mayor valor para evitar su doble contabilidad (Odum, 1996).

De las diferentes relaciones y combinaciones de las variables anteriormente detalladas, Odum, (1996) propuso los siguientes indicadores (Tabla 3.4):

- Valor de Unidad de Emergía requerida por Unidad de Producto (UVE), refiere a la cantidad de soporte ambiental requerido por unidad de algodón en bruto producido, ya sea que se mida en energía (J), masa (g) o dinero (USD).
- Tasa de Carga Ambiental (ELR): indicador que muestra la presión que causa el proceso productivo al ambiente local y las variaciones halladas entre los años analizados. A mayor valor implica mayor presión sobre el ambiente, por parte del proceso productivo.
- Tasa de Aprovechamiento Emergético (EYR): indicador que mide la habilidad que tiene el sistema para utilizar los recursos renovables locales en relación a los insumos importados utilizados.
- Índice Emergético de Sustentabilidad Ambiental (ESI): relaciona la habilidad del sistema para utilizar los recursos renovables (EYR) con la presión ambiental que recibe (ELR), y permite monitorear la sostenibilidad ambiental de cada sistema y sus procesos en el tiempo.
- Porcentaje de Renovabilidad (% Ren): indicador que explica el porcentaje de emergía renovable usada en relación al total de emergía usada en el sistema estudiado. A mayor valor de emergía renovable usada por los sistemas, más sustentables son éstos en relación a aquellos que usan altos porcentajes de emergía no renovable.

Tabla 3.4. Síntesis y descripción de las variables e indicadores utilizados en el análisis (Odum, 1996; Brown y Ulgiati, 2004).

<b>Variables</b>
<b>R:</b> Emergía de los recursos naturales renovables locales (sej)
<b>NR:</b> Emergía de los recursos naturales no renovables locales (sej)
<b>M:</b> Emergía de los recursos o insumos comprados (sej)
<b>L:</b> Emergía de la labor (trabajo directo en horas hombre) (sej)
<b>S:</b> Emergía en servicios (trabajo indirecto) (sej)
<b>F:</b> Sumatoria de Emergía de los componentes económicos M, L y S (sej)
<b>U:</b> Uso total de emergía (R+N+L+S) (sej)
<b>Indicadores</b>
<b>UVE = U / flujo del producto (sej/unidad):</b> Indica el costo de producción emergética de la unidad, es la emergía necesaria para la producción del producto.
<b>ELR = (N+M+L+S) / (R):</b> Relación de carga ambiental; indica la presión ambiental local ejercida por la actividad productiva.
<b>EYR = U / (M+L+S):</b> Relación de rendimiento de la Emergía; indica la ventaja de las fuentes locales por sobre las fuentes de Em importadas.
<b>ESI = EYR / ELR:</b> Índice de Sostenibilidad Emergética; indica la sustentabilidad global del proceso.
<b>% REN = (R / U) * 100:</b> Es el porcentaje de Emergía renovable usada en el sistema.

### 3.4.3 Evaluación económica. Medidas de eficiencia

Utilizando los mismos inventarios se tomaron los rendimientos de la producción obtenida (kg/ha), se multiplicaron por los precios del algodón en bruto (USD), resultando de esto el ingreso (USD/ha) o producción valorizada.

Para el *análisis costo-beneficio\**, se tomaron los costos de producción incurridos en cada sistema y año, para ser contrastados con el ingreso de la producción correspondiente. De este cociente (ingreso/egreso) se obtuvo un valor que indica el potencial retorno por sobre lo invertido en el sistema (ganancia o pérdida por cada dólar invertido) desde pre-siembra del cultivo hasta la cosecha. Si la relación es igual a uno,

implica que no se obtuvo ni beneficio ni pérdida económica; si este valor es mayor a uno indica ganancia, y si el valor es menor a uno implica pérdida.

**\*Análisis costo-beneficio = Ingreso / Costos de Implantación y Protección**

Complementariamente se aplicó la metodología de *márgenes brutos\**, donde los costos o egresos se restaron a los ingresos obtenidos en cada sistema analizado.

**\*Margen Bruto = Ingresos – Costos directos**

Otra de las medidas obtenidas fue el *ingreso/trabajo* (horas hombre-hh). Esta relación indicó el valor por cada hora trabajada, es decir cuánto del ingreso se destinó a pagar las horas hombres empleadas, es decir el valor que tiene cada hora trabajada.

### **3.5 Fuente de datos utilizadas**

Los datos primarios utilizados en la caracterización y evaluación de cada sistema, fueron obtenidos mediante visitas y entrevistas personales con productores agropecuarios y profesionales expertos en la temática que forman parte de la Asociación para la Promoción de la Producción Algodonera (APPA) (<http://www.appasantafe.com.ar>). La misma nuclea a productores, profesionales asesores y otros actores de la cadena productiva del algodón del norte de la provincia de Santa Fe. Otros datos fueron aportados por parte de técnicos y profesionales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). La información ambiental y meteorológica (radiación, lluvias, evapotranspiración, viento) fue suministrada por la Estación Agrometeorológica del INTA Reconquista (<https://inta.gob.ar/documentos/estacion-meteorologica-reconquista>). La erosión del suelo fue estimada a partir del software Erosión Hídrica USLE/RUSLE, con el asesoramiento de sus autores (Gvozdenovich et al, 2015). Los datos acerca del consumo de agua subterránea fueron tomados de literatura e integrados a la información local brindada por expertos. Los bienes e insumos tales como semillas, agroquímicos, combustibles, maquinaria, horas de labor humano y servicios fueron obtenidos mediante las entrevistas y aportes de registros históricos de los manejos agronómicos realizados por productores y profesionales expertos de APPA e INTA, corroborados con bibliografía. Los valores económicos de los insumos, se tomaron y/o estimaron en algunos casos a partir de información de las Revistas Márgenes Agropecuarios y Agromercado, revistas mensuales de agricultura; como así también de Boletines Económicos de Algodón, del INTA Reconquista (Lacelli y Ybran, 2015; 2000) y Revista

de la Cámara Algodonera Argentina en cada periodo. Los valores monetarios de la producción y los insumos utilizados en pesos de moneda argentina, fueron convertidos a valor a dólares estadounidenses (USD) utilizando la tasa apropiada en cada período.

La información secundaria y procedimientos metodológicos para evaluar los flujos de materia y energía, y la energía requerida para generar una unidad de cada uno de los componentes que contribuyen al sistema y producción del algodón en bruto se tomaron de literatura, bases de datos de organismos nacionales e internacionales y referentes claves especialistas en la metodología. Las UVE (unidades de valor energético) de la mayoría de los procesos que intervinieron en los sistemas analizados se obtuvieron de bibliografía (Anexos Tablas 1, 2 y 3) y se ajustaron en referencia a la línea de base energética de  $1,20E+25$  sej/año (Brown y Ulgiati, 2016), cuando correspondía, mediante el uso de un factor de corrección.

## **Capítulo 4: Resultados**

La producción de algodón fue analizada anualmente, como así también su evolución en el tiempo tomando tres años característicos por los cambios en tecnología, a fin de responder a los objetivos propuestos en este trabajo. El producto generado es el conocimiento del desempeño ambiental de la producción del algodón utilizando un análisis sistémico como lo es la evaluación emergética, acompañado por análisis lineales dados en valores productivos y económicos.

Inicialmente se presenta la caracterización de los sistemas productivos de algodón (PA), con la descripción detallada de las formas de producir en cada uno de ellos, que sintetiza un conjunto de prácticas agronómicas consolidadas (la mayoría de ellas), con anterioridad al ciclo anual estudiado. Se focaliza cada sistema individual y luego se presenta la evolución en el tiempo de las tecnologías aplicadas (Figuras 4.1, 4.2). Posterior a ello, se presenta la evaluación emergética del algodón, mostrando el diseño del sistema en donde se representan tanto los principales flujos de entradas y salidas relacionadas a las contribuciones de recursos naturales y antrópicos como sus interacciones (Figuras 4.3; 4.4 y 4.5), las tablas de análisis (Tablas 4.1 a 4.3) y los indicadores de desempeño (Tabla 4.4 y Figura 4.6). Finalmente, se muestran los indicadores relacionados a la evaluación económica de los sistemas productivos (Tabla 4.5). En el Anexo A se describen los cálculos realizados y referencias de Unidades de Valor Emergéticas utilizadas, con las fuentes bibliográficas correspondientes.

### **4.1 Caracterización de las tecnologías implementadas en la producción de algodón**

Los principales cambios tecnológicos ocurridos desde 1980 a 2018, en las formas de producir el algodón en bruto, transitaron por diferentes métodos de labranzas, desde convencional y profunda a reducida y siembra directa con mejoras en la preservación de los suelos; se logró mayor eficiencia en la cantidad de semillas utilizadas por hectárea sembrada, inicialmente con mejoramiento convencional para luego pasar a materiales genéticamente modificados acompañados por diferentes manejos, entre ellos el acortamiento del ciclo del cultivo, adaptado a mejoras en la cosecha mecánica. Los cambios en los procesos de laboreo fueron acompañados con la disminución de las cantidades de combustible fósil; la mecanización de la cosecha disminuyó las horas hombre empleadas en la mano de obra directa abocada a la recolección de los capullos y

al control de las malezas. Se adoptó la fertilización química en busca de mejorar la productividad y la reposición de nutrientes al suelo, como así también aumentaron las cantidades de herbicidas e insecticidas para la protección del cultivo. Todas estas innovaciones influyeron en un aumento del 90% en los rendimientos, elevando los promedios de 1000 a 1900 kilogramos de algodón en bruto por hectárea. A continuación, se detallan las características de los sistemas productivos en los años representativos de cambios tecnológicos, 1980, 2000 y 2018.

#### **4.1.1 Producción de Algodón en 1979/1980 (PA 1980)**

En esta etapa predomina el monocultivo de algodón sin la inclusión de otros cultivos en rotaciones (Arias, 1977; Paiz y Gregoret, comunicación personal, 2016). Los genotipos más usados fueron SP Toba I y II INTA y Chaco 510 INTA con deslindado mecánico de la semilla (Delssín, comunicación personal, 2016; Vrdoljak et al., 1986; Arias, 1977), variedades provenientes de técnicas de mejoramiento convencional (ciclos largos y de mayor porte que las variedades actuales, Vrdoljak et al., 1986; Paytas y Ploschuk, 2013). En cuanto a la densidad y arreglo espacial, el cultivo se sembraba a una distancia entre surcos de un metro y/o setenta centímetros y se utilizaba desde 35 a 40 kg de semilla por hectárea con ajuste de la densidad mediante raleo manual (60.000-100.000 plantas por hectárea) (Arias, 1977; Paiz; Tomadín y Gregoret, comunicación personal, 2016). Las tareas previas a la implantación del cultivo consistían en la preparación del suelo a través de labranza convencional. Las labores culturales durante el ciclo del cultivo, implicaban el movimiento de suelo superficial y/o profundo, carpidas manuales, cultivadas mecánicas y aporques (tantas veces como fuese necesario, en función de las características ambientales de la campaña agrícola). Las principales labores manuales aplicadas al cultivo fueron el ajuste de la densidad de plantas mediante el raleo con azadas, junto a una primera carpida de malezas en días posteriores a la emergencia del cultivo (posterior a esto, de ser necesario, se realizaban uno o más cortes de malezas o carpidas) y finalmente la cosecha (Pilatti; Brach, comunicación personal, 2016). La aplicación de fertilizantes era escasa o nula, mientras que el uso de herbicidas era mínimo, pero predominantemente realizado en pre-siembra, incorporado o mezclado en el suelo, proporcionando de esta manera el control de las malezas. El uso de insecticidas para el control de plagas consistió en general en productos sistémicos en polvo o granulados de alta toxicidad (Vrdoljak et al., 1986; Arias, 1977; Brach y Delssín, comunicación personal, 2016), algunos de estos productos eran agregados en el tratamiento de la semilla

en desmotadoras; mientras que otros a la siembra o posteriormente. Las principales maquinarias e implementos agrícolas utilizados eran: tractor, arado de reja y vertedera, arado de disco, rastras de discos y rastras de dientes, rastras de discos de doble acción, sembradoras y escardillo mecánico (la mayoría de ellos fabricados en los talleres de empresas metalmecánicas locales). Las herramientas y maquinarias en su gran mayoría eran propias del productor, no era común la contratación de servicios agropecuarios; los establecimientos eran categorizados como medianos o pequeños (Paiz; Muchut; Delssín, comunicación personal, 2016). En cuanto a la recolección manual del algodón, se realizaba con mano de obra familiar o contratada temporalmente (Delssín; Muchut; Brach y Brach comunicación personal, 2016). Dado que la maduración de los capullos de algodón no se daba al mismo tiempo, la cosecha tendía a ser escalonada (Arias, 1977). Los rendimientos promedios alcanzados eran de 1.000 kg/ha de algodón en bruto. Cosechar una hectárea, implicaba el aporte de mano de obra de aproximadamente 15 personas por día (se cosechaba en promedio 60-80 kg/día por persona). Cada bolsa de algodón cosechado se volcaba en la cabecera del lote, se extendía para secar al sol, quitar humedad y preservar mejor la calidad de la fibra, finalizando al atardecer con tareas de embolsado, apisonado y costura de bolsas para su pesaje final por parte del patrón o encargado de estancia (Rosati, 2015; Brach y Brach; Muchut; Delssin; Tomadín, comunicación personal, 2016). El pago de la cosecha tenía vigencia por producto (a destajo), por kilo de algodón recolectado, o el pago a porcentaje por hectárea (para los operarios). La producción se vendía a cooperativas locales, a un acopiador o desmotador particular, quien posteriormente vendía la fibra y luego proveía la semilla para la campaña siguiente (Rosati, 2015, Brach; Delssín, comunicación personal, 2016). En esta etapa, había aproximadamente 400 productores algodoneiros en la región del área de estudio (Lacelli, comunicación personal, 2016). Llegaron a existir más de diez desmotadoras locales desmotando el 50% de la producción provincial, como así también lo proveniente de las provincias de Chaco, Santiago del Estero y Formosa (Delssín, 2015; Gregoret, comunicación personal, 2016).

#### **4.1.2 Producción de Algodón en 1999/2000 (PA 2000)**

En este período, el algodón se producía en rotación con otros cultivos, siendo la soja su principal antecesor; la siembra era realizada predominantemente en labranza convencional, con semillas no transgénicas de origen nacional, los materiales genéticamente modificados presentaban bajos niveles de adopción en algodón (Delssin,

2012; Gregoret, comunicación personal, 2016). La semilla pasó del deslizado mecánico a deslizado por flameado a fuego, y de este modo se inició una mejora en el ajuste en densidad de siembra, utilizando 35 kg de semilla por hectárea o menores cantidades; las variedades más sembradas eran Porá INTA, Guazuncho 2 INTA Guazuncho 2000 y Chaco 520 INTA; las cuales presentaban mejores rindes, porcentajes y calidad de fibras, comparadas con las del periodo anterior (Delssín; Tomadín; Gregoret, comunicación personal, 2016). La siembra se realizaba a una distancia entre surcos de noventa y setenta centímetros y densidad de 60.000 a 100.000 plantas por hectárea (Paiz; Tomadín, comunicación personal, 2016). En relación al tamaño de los establecimientos agropecuarios, las pequeñas y medianas empresas eran las representativas del área de estudio, tendencia que se mantuvo constante desde el periodo anterior (Delssín; Gregoret, comunicación personal, 2016). La mano de obra contratada, fue disminuyendo en este período. Las labores manuales tales como raleo, carpidas y cosecha, fueron mecanizadas paulatinamente y reemplazadas por el paquete tecnológico implementado (Delssín, 2012; Paiz y Tomadín, comunicación personal, 2016). Las labores eran realizadas con maquinaria e implementos propios; los principales eran tractor, arados de cincel, rastra de discos desencontrados, cultivador de campo, rastra de discos de doble acción, sembradora, escardillo, pulverizadora terrestre y cosechadora (Regonat; Muchut, comunicación personal, 2016). Se utilizaban nuevos productos químicos, fertilizantes y reguladores de crecimiento, incrementándose su uso; principalmente, herbicidas para los barbechos químicos y el control de malezas, como así también insecticidas piretroides para el control de plagas. Se realizaba la fertilización química, para equilibrar la productividad de los suelos y optimizar los rendimientos (Delssín, 2012; Paiz y Tomadín, comunicación personal, 2016). Se incorporó la cosecha mecánica, ocupando el lugar dejado por el gradual retiro de la mano de obra cosechera, iniciándose un proceso irreversible. El cambio de la ecuación económica (valor del trabajo vs. valor del producto), la realidad de trabajos forzosos, las condiciones de vida implicadas en dichas tareas, las difíciles relaciones obreros-patronales, la preferencia de los trabajadores rurales “cosecheros” por trasladarse hacia las ciudades, donde aún como mano de obra no calificada, encontraban trabajos más regulares y menos sacrificados que la cosecha del algodón, junto a la cada vez más compleja administración de las contrataciones para los productores, fueron separando a la gente de esos trabajos, quedando reducidos a tareas esporádicas, no buscadas salvo excepciones, por los trabajadores ni por los productores (Delssín, 2003; Crudelli, 1980; Pilatti, comunicación personal, 2016). De este modo,

cambió el esquema productivo y social histórico del algodón; principalmente a través de nuevas prácticas culturales, como así también con la incorporación de la cosecha mecanizada. El sistema de cosecha predominante era la cosecha tipo “picker” o con “púas” o husillos”, autopropulsada, aptas específicamente para estas distancias entre surcos (Paytas, 2013; Pilatti, comunicación personal, 2016). En esta etapa, una máquina cosechadora, tenía la capacidad de realizar en una hora el trabajo de 70 jornaleros (García, 2007). Se pasó de cosechas de 60-80 kilos diarios de algodón por cosechero a 5.000 - 9.000 kilos por jornada y por operario en una cosechadora de cuatro surcos (Mondino et al., 2006; Lorenzón, comunicación personal, 2016); con rendimientos promedios de 1.500 kg/ha de algodón en bruto. El algodón cosechado era acondicionado mediante tareas manuales, para su manejo post-cosecha, carga en los camiones y traslado. Al igual que PA 1980, la producción primaria terminaba en diferentes canales de comercialización: cooperativas, acopiadores y/o desmotadoras (Pilatti; Paiz y Tomadín, Delssín, comunicación personal, 2016). Los cambios en los modos de producir y en los paquetes tecnológicos, entre los años 1980 y 2000, lograron incrementos del rendimiento del 50%. En esta etapa se registraron 212 productores algodoneros aproximadamente en la región (APPA, 2002). Desde 1999 a 2007 la región sufre una caída en la superficie de siembra con el consecuente cierre y deslocalización de numerosas desmotadoras. La capacidad de desmote para la producción local ronda en un 30-35%, y el resto se mantiene con la producción proveniente de Chaco y Santiago del Estero (Delssín, 2013).

#### **4.1.3 Producción de Algodón en 2017/2018 (PA 2018)**

El tamaño representativo de las empresas agropecuarias que producen algodón en el área de estudio, siguen siendo medianas y pequeñas empresas (Gregoret, 2018; Zorzón, comunicación personal, 2017). En este ciclo, se consolidó el sistema de siembra o tecnología denominada “surcos estrechos” o de “altas densidades” que logró estabilizar significativamente la producción (Paytas, 2013; Delssín, 2011; Pilatti, comunicación personal, 2016). Esta estrategia, que tuvo sus inicios a partir del año 2000 aproximadamente, para consolidarse unos años más tarde, implicó cambios en los manejos tales como, el ajuste del cultivo, sus densidades, distanciamientos, fechas de siembra, logró armonizar las mejoras genéticas con el sistema de siembra, regulaciones del crecimiento y los ciclos de floración-fructificación-maduración, para obtener cosechas más “compactas”, sistematizando el proceso productivo y simplificando la cosecha (Paytas, 2013; Regonat, comunicación personal, 2016). Este manejo es

considerado clave para la optimización de tiempo y calidad de cosecha (Pilatti; Zorzón, comunicación personal, 2016; 2017). La producción del algodón es realizada en siembra directa (no obstante, en algunos casos se recurre a labores de remoción de suelos ante el problema de malezas resistentes (Gregoret; Regonat, comunicación personal, 2016). El cultivo entra en una secuencia de rotaciones con trigo y soja como principales cultivos antecesores, si bien pueden participar otros cultivos como maíz y sorgo (Zorzón, 2019; Gregoret, 2018). Los eventos biotecnológicos más usados y sembrados son: Guazuncho 2000, con la incorporación de genes de resistencia a herbicida (RR<sup>®</sup>) y DeltaPine 402, DeltaPine 1238, NuOpal con incorporación de genes apilados de resistencia al herbicida glifosato (RR<sup>®</sup>) y resistencia contra insectos lepidópteros Bt (BG<sup>®</sup>), (Guazuncho 2000 proviene de genotipos que inicialmente fueron desarrollados y mejorados por INTA, y luego junto a empresas privadas se asocian para la incorporación de genes de resistencia) (Scarpin et al., 2018; Gregoret, 2015). En cuanto a la densidad y arreglo espacial, el cultivo se siembra a 0,52 metros de distancia entre surcos y se utiliza 25 a 30 kg de semilla por hectárea a una densidad de 180.000 a 230.000 plantas por hectárea, con semillas deslindadas químicamente (o ácido deslindadas) y clasificadas, lo cual mejora las condiciones físico-mecánicas y germinativas, logrando mejor calidad de siembra y establecimiento del cultivo (Zorzón, comunicación personal, 2017). Las características genéticas de los materiales utilizados, junto a las altas densidades, disminuyen el número de capullos por planta, pero incrementan el número de capullos por unidad de superficie (Mondino y Peterlin, 2005). Las labores manuales son mínimas, restringidas a algunas tareas de acondicionamiento del algodón cosechado; los implementos son en la mayoría de los casos propios del productor, en general no se tercerizan los servicios, salvo excepciones donde se contrata servicio de cosecha, carga y/o flete (Zorzón comunicación personal, 2017). En la fase de barbecho, se hace control químico de malezas. En cuanto a la fertilización, es en base a fertilizantes sólidos, siendo el nitrógeno y el fósforo los principales elementos aplicados en dos momentos del cultivo: a la siembra: fosfato diamónico (18-46-0) y a inicio de la floración: urea (46-0-0) (Scarpin, 2018). En este periodo, el cultivo de algodón se vio comprometido por la fuerte presión de una plaga de gran impacto económico “el picudo algodonero” *Anthonomus grandis* Boheman, que, a partir del año 2003, se generalizó en el noreste argentino, y a partir del año 2006 se estableció en el área de estudio (Sosa, 2006; Sosa et al, 2009). Dicha situación sanitaria, ha disminuido superficies de siembra (Gregoret; Delssín, comunicación personal, 2016), como así también ha incrementado exponencialmente el uso de insecticidas y enmascaró

la ventaja de los algodones transgénicos (Bt) relacionada a la reducción del uso de los mismos, y consecuentemente, a la disminución de los costos de producción (Valeiro, 2015). Así, en términos generales, se ve afectada seriamente la productividad del cultivo en Argentina, al aumentar los costos de producción y reducir los rendimientos por hectárea (Gregoret; Delssin, comunicación personal, 2016). La destrucción del rastrojo del cultivo es otra práctica necesaria para el adecuado vacío sanitario requerido por el manejo del picudo del algodnero, junto a la aplicación de determinados insecticidas (Cracogna et al., 2011; SENASA, 2007). En cuanto a la cosecha, el 99,5% de la superficie es realizada mecánicamente, Gregoret, 2015 y 2018), el sistema predominante es la cosechadora integral de arrastre con tractor agrícola, con cabezal de cosecha despojador “Stripper” y equipo de pre-limpieza. Dado que, en el área de estudio, no se dio la adopción masiva del modulador o rotoenfardadora del algodón, las tareas de post-cosecha vinculadas al acondicionamiento y carga del algodón en bruto, continúan siendo tareas manuales mediante personal contratado o propio del establecimiento (Pilatti; Zorzón, comunicación personal, 2016; 2017). Los rendimientos alcanzados en este periodo fueron superiores a los promedios de los periodos anteriores y rondaron los 1.900 kg/ha de algodón en bruto. De este modo, entre los sistemas PA 2000 y PA 2018 se observó un incremento en el rendimiento del 50% y del 90% entre el inicio de esta evaluación y PA 2018. En este periodo se registra un total de 124 productores algodneros (correspondientes al área de estudio) y se cuenta con cinco desmotadoras activas (tres de ellas en el área de estudio) que procesan el 90% de la producción del norte de Santa Fe, para abastecer la industria textil nacional (Gregoret, 2018; Muchut y Zorzón, comunicación personal, 2016; 2017).

#### **4.1.4 Evolución de los insumos y tecnologías utilizados en los sistemas**

Las Figuras 4.1 y 4.2 muestran la evolución en el tiempo de los principales recursos e insumos utilizados y generados en la producción de una hectárea de algodón, donde se comprobaron cambios en las magnitudes participantes. Se observó un uso eficiente de semillas sembradas por hectáreas con una disminución del 20% entre PA 1980 y 2018 (Fig. 4.1 a). El combustible (gas oil) empleado en labores, siembra y cosecha disminuyó con el correr del tiempo, mostrando una merma del 61% entre el PA 1980 y 2018 (Fig. 4.1 b). Entre los insumos que incrementaron sus cantidades se destacan los fertilizantes y herbicidas (mostrando mayores aumentos en litros los herbicidas (5 veces más) entre 1980 y 2018; duplicando en número de aplicaciones. El uso de fertilizantes se

incrementó en un 116% (desde 2000 a 2018, no utilizados en PA 1980; Figura 4.1 d); mientras que los insecticidas se redujeron en un 25%; Fig. 4.1 c).

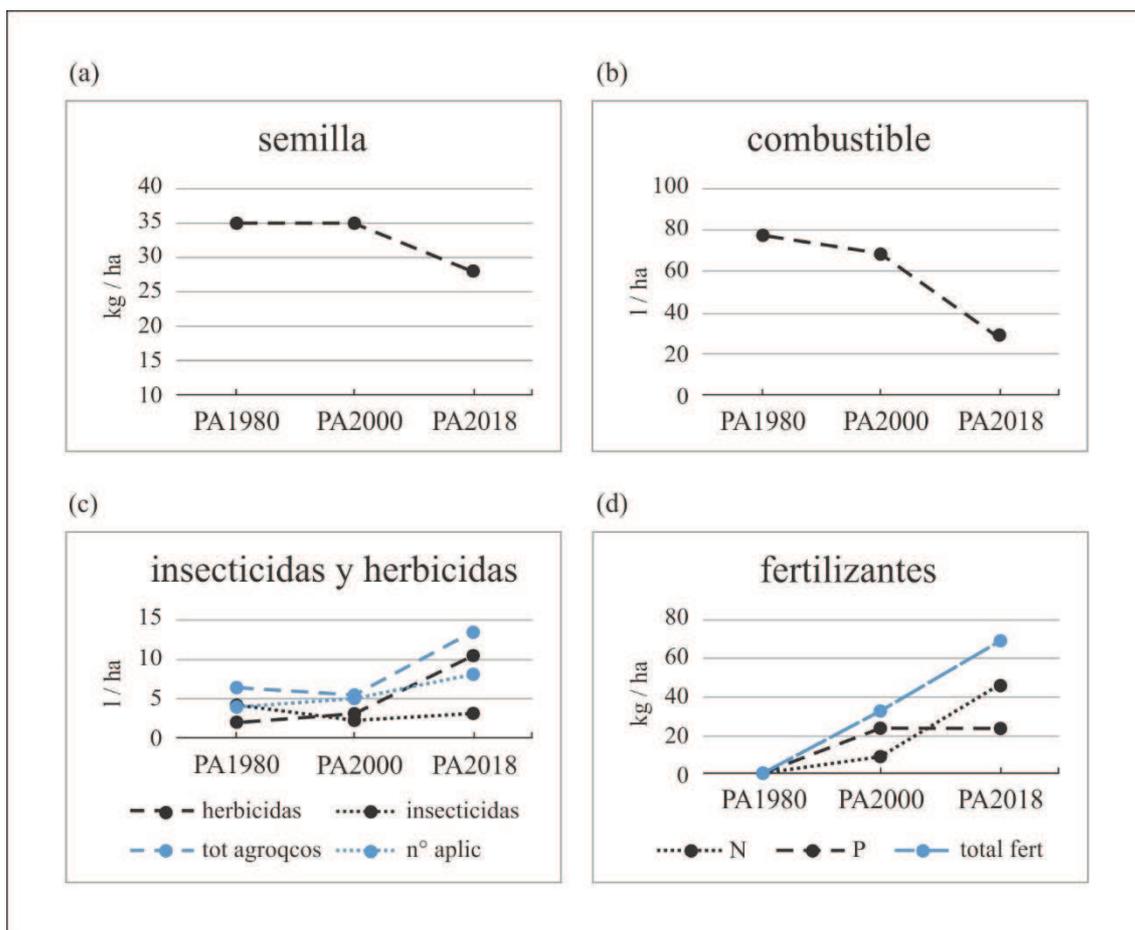


Figura 4.1. Evolución de insumos utilizados en los sistemas productivos de algodón PA 1980, PA 2000 y PA 2018: (a) semillas (kg/ha), (b) combustible (l/ha), (c) insecticidas y herbicidas (l/ha) y (d) fertilizantes (kg/ha).

En cuanto a los servicios utilizados en los sistemas productivos aumentaron en un 91%; mientras que el empleo de mano de obra directa, considerado en horas hombre, disminuyó en un 96% (Fig. 4.2 a). Finalmente, los rindes mostraron incrementos del 90%, tal como se mencionó anteriormente (Fig. 4.2 b).

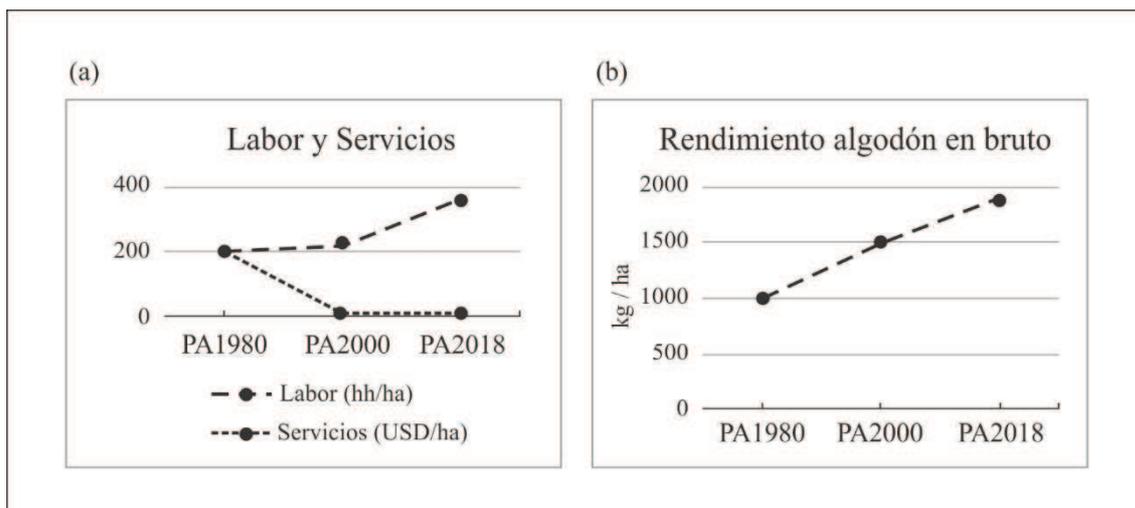


Figura 4.2. Evolución de mano de obra directa e indirecta y rendimientos en los sistemas productivos de algodón PA 1980, PA 2000 y PA 2018, (a) mano de obra directa (hh/ha) y servicios o mano de obra indirecta (USD/ha) y (b) rendimientos (kg/ha) obtenidos.

## 4.2 Evaluación emergética de la producción de algodón

Las tablas de evaluación emergética (Tablas 4.1 a 4.3) listan con detalle las entradas y salidas de los flujos de recursos naturales e insumos que motorizan al sistema de producción de algodón en bruto, mientras que la Figura 4.3, utilizando lenguaje energético, representa las principales contribuciones al sistema de producción de algodón en los tres períodos analizados y listados en las tablas.

Tabla 4.1. Evaluación energética de la producción de una hectárea de algodón en bruto el año 1979/1980 (PA 1980).

#	Algodón 1979/1980 Items	Unidad	Cantidad	UVE (*) (sej/unidad)	Energía (sej/ha/año)	Energía (%)	Ref (^)
<b>Recursos renovables (R)</b>							
1	Radiación solar	J/ha/año	1,22E+13	1,00E+00	1,22E+13		a
2	Evapotranspiración	J/ha/año	5,71E+10	3,73E+04	2,13E+15	55,2	c
3	Viento	J/ha/año	1,67E+10	1,86E+03	3,11E+13		b
4	Calor geotérmico	J/ha/año	1,00E+10	9,12E+03	9,12E+13		b
<b>Recursos no renovables (N)</b>							
5	Pérdida de suelo	J/ha/año	4,24E+09	5,62E+04	2,38E+14	6,2	b
6	Agua usada	J/ha/año	2,96E+06	1,85E+05	5,48E+11	0,0	c
<b>Recursos comprados (M)</b>							
7	Semilla	g/ha/año	3,50E+04	4,88E+08	1,71E+13	0,4	d
8	Combustible (gasoil)	J/ha/año	2,62E+09	1,45E+05	3,80E+14	9,8	e
9	Lubricantes	J/ha/año	1,09E+08	1,36E+04	1,48E+12	0,0	e
10	<b>Fungicida</b>						
	Captan	g/ha/año	4,20E+01	2,05E+10	8,60E+11	0,0	f
12	<b>Herbicidas</b>						
	Trifluralina	g/ha/año	1,01E+03	1,77E+10	1,79E+13	0,5	f
13	<b>Insecticidas</b>						
	Aldrin	g/ha/año	6,13E+01	1,61E+10	9,86E+11	0,0	f
	Aldicard	g/ha/año	3,60E+02	2,07E+10	7,46E+12	0,2	f
	Oxidemeton metil	g/ha/año	9,68E+01	1,61E+10	1,56E+12	0,0	f
	Dimetoato	g/ha/año	1,56E+02	1,61E+10	2,51E+12	0,1	f
	Parathion	g/ha/año	8,89E+02	1,55E+10	1,38E+13	0,4	f
14	Maquinaria agrícola	g/ha/año	5,56E+03	8,51E+09	4,73E+13	1,2	g
15	<b>Labor</b> (horas hombre, hh) (L)	hh/ha/año	2,01E+02	2,38E+12	4,77E+14	12,4	h
16	<b>Servicios</b> (S)	USD/ha/año	1,89E+02	2,76E+12	5,22E+14	13,5	h
<b>Total Energía utilizada (U)</b>					<b>3,86E+15</b>	<b>100</b>	
<b>Producto generado</b>							
	Algodón (g bruto)	g/ha/año	1,00E+06	<b>3,86E+09</b>			
	Precio algodón	USD/g	3,45E-04				
	Ingreso (precio x rinde)	USD/ha/año	3,45E+02	<b>1,12E+13</b>			

(\*) y (^) Referencias de UVEs y bibliográficas son listadas en el anexo A, junto con la descripción detallada de cada sistema.

Tabla 4.2. Evaluación energética de la producción de una hectárea de algodón en bruto el año 1999/2000 (PA 2000).

#	Algodón 1999/2000 Items	Unidad	Cantidad	UVE (*) (sej/unidad)	Energía (sej/ha/año)	Energía (%)	Ref (^)
	<b>Recursos Naturales</b> (localmente disponibles)						
	<b>Renovables (R)</b>						
1	Radiación solar	J/ha/año	1,17E+13	1,00E+00	1,17E+13		a
2	Evapotranspiración	J/ha/año	5,97E+10	3,73E+04	2,23E+15	28,30	c
3	Viento	J/ha/año	9,15E+09	1,86E+03	1,70E+13		b
4	Calor geotérmico	J/ha/año	1,00E+10	9,12E+03	9,12E+13		b
	<b>No renovables (N)</b>						
5	Pérdida de suelo	J/ha/año	3,19E+09	5,62E+04	1,79E+14	2,28	b
6	Agua usada	J/ha/año	3,71E+06	1,85E+05	6,85E+11	0,01	c
	<b>Recursos importados (M)</b>						
7	Semilla no OGM	g/ha/año	3,50E+04	5,16E+08	1,81E+13	0,23	
8	Combustible (gasoil)	J/ha/año	2,32E+09	1,45E+05	3,35E+14	4,26	d
9	Lubricantes	J/ha/año	6,39E+07	1,36E+04	8,69E+11	0,01	d
10	Fertilizantes (N)	g/ha/año	9,00E+03	5,84E+09	5,26E+13	0,67	a
	(P)	g/ha/año	2,30E+04	4,95E+09	1,14E+14	1,45	a
11	Fungicidas						
	Triadimenol	g/ha/año	1,33E+02	2,05E+10	2,73E+12	0,03	f
	Diclofluanida	g/ha/año	1,75E+01	2,05E+10	3,58E+11	0,00	f
12	Herbicidas						
	Trifluralina	g/ha/año	1,01E+03	1,77E+10	1,79E+13	0,23	f
	Cloromecuato	g/ha/año	7,43E+01	1,67E+10	1,24E+12	0,02	f
	Thidiazuron	g/ha/año	9,06E+01	2,05E+10	1,85E+12	0,02	f
	Diuron	g/ha/año	4,44E+01	2,05E+10	9,09E+11	0,01	
13	Insecticidas						
	Teblubenzuron	g/ha/año	7,47E+01	3,22E+10	2,41E+12	0,03	f
	Imidacloprid	g/ha/año	1,52E+02	3,22E+10	4,89E+12	0,06	f
	Clorpirifos	g/ha/año	4,20E+02	1,61E+10	6,76E+12	0,09	f
	Cipermetrina	g/ha/año	2,25E+02	3,34E+10	7,53E+12	0,10	f
14	Maquinaria agrícola	g/ha/año	4,08E+03	8,51E+09	3,47E+13	0,44	
15	<b>Labor</b> (horas hombre, hh) (L)	h/hom/ha	1,14E+01	6,48E+12	7,36E+13	0,93	
16	<b>Servicios (S)</b>	USD/ha/año	2,16E+02	2,22E+13	4,79E+15	60,84	h
	<b>Total Energía utilizada (U)</b>				<b>7,88E+15</b>	100	
	<b>Producto generado</b>						
	Algodón (g bruto)	g/ha/año	1,50E+06	<b>5,25E+09</b>			
	Precio algodón	USD/g	2,20E-04				
	Ingreso (precio x rinde)	USD/ha/año	3,30E+02	<b>2,39E+13</b>			

(\*) y (^) Referencias de UVEs y bibliográficas son listadas en el anexo A, junto con la descripción detallada de cada sistema.

Tabla 4.3. Evaluación energética de la producción de una hectárea de algodón en bruto el año 2017/2018 (PA 2018).

#	Algodón 2017/2018 Ítems	Unidad	Cantidad	UVE (*) (sej/unidad)	Emergía (sej/ha/año)	Emergía (%)	Ref (^)
<b>Recursos Naturales</b> (localmente disponibles)							
<b>Renovables (R)</b>							
1	Radiación solar	J/ha/año	1,25E+13	1,00E+00	1,25E+13		a
2	Evapotranspiración	J/ha/año	6,27E+10	3,73E+04	2,34E+15	22,24	c
3	Viento	J/ha/año	9,83E+09	1,86E+03	1,83E+13		b
4	Calor geotérmico	J/ha/año	1,00E+10	9,12E+03	9,12E+13		b
<b>No renovables (N)</b>							
5	Pérdida de suelo	J/ha/año	1,32E+09	5,62E+04	7,44E+13	0,71	b
6	Agua usada	J/ha/año	3,56E+06	1,85E+05	6,58E+11	0,01	c
<b>Recursos importados (M)</b>							
7	Semilla de algodón OGM	g/ha/año	2,80E+04	1,50E+09	4,21E+13	0,40	d
8	Combustible (gasoil)	J/ha/año	1,02E+09	1,45E+05	1,47E+14	1,40	e
9	Lubricantes	J/ha/año	5,78E+07	1,36E+04	7,86E+11	0,01	e
10	Fertilizantes						
	(N)	g/ha/año	4,58E+04	5,84E+09	2,68E+14	2,54	a
	(P)	g/ha/año	2,30E+04	4,95E+09	1,14E+14	1,08	a
11	Fungicidas						
	Azoxystrobina	g/ha/año	5,63E+00	2,05E+10	1,15E+11	0,00	g
	Fludioxonil	g/ha/año	1,03E+00	2,05E+10	2,12E+10	0,00	g
	Metalaxil	g/ha/año	2,52E+00	2,05E+10	5,16E+10	0,00	g
12	Herbicidas						
	2,4-D	g/ha/año	1,81E+03	1,58E+10	2,88E+13	0,27	g
	Glifosato	g/ha/año	4,53E+03	2,03E+10	9,21E+13	0,87	g
	Flurocloridona	g/ha/año	2,98E+02	2,05E+10	6,09E+12	0,06	g
	Acetoclor	g/ha/año	9,90E+02	2,05E+10	2,03E+13	0,19	g
	Cloromecuato	g/ha/año	6,84E+02	1,67E+10	1,14E+13	0,11	g
	Thidiazurón	g/ha/año	9,06E+01	2,05E+10	1,85E+12	0,02	g
	Diuron	g/ha/año	4,44E+01	2,07E+10	9,20E+11	0,01	g
	Haloxifop	g/ha/año	3,94E+02	3,22E+10	1,27E+13	0,12	g
13	Insecticidas						
	Imidacloprid	g/ha/año	9,06E+01	3,22E+10	2,92E+12	0,03	g
	Thiodicard	g/ha/año	2,54E+02	3,22E+10	8,18E+12	0,08	g
	Cipermetrina	g/ha/año	6,25E+01	3,34E+10	2,09E+12	0,02	g
	Clorpirifos	g/ha/año	5,80E+02	1,61E+10	9,33E+12	0,09	g
	Mercaptotion	g/ha/año	2,40E+03	1,55E+10	3,71E+13	0,35	g
14	Maquinaria agrícola	g/ha/año	1,61E+03	8,51E+09	1,37E+13	0,13	
15	<b>Labor</b> (horas hombres, hh) (L)	hh/ha/año	7,37E+00	3,31E+12	2,44E+13	0,23	f
16	<b>Servicios</b> (S)	USD/ha/año	3,62E+02	2,01E+13	7,27E+15	69,03	h
<b>Total Emergía utilizada (U)</b>					<b>1,05E+16</b>		
						100	
17	<b>Producto generado</b>						
	Algodón (g bruto)	g/ha/año	1,90E+06	<b>5,54E+09</b>			
	Precio algodón (g)	USD/g	5,21E-04				
	Ingreso (rinde x precio)	USD/ha/año	9,90E+02	<b>1,06E+13</b>			

(\*) y (^) Referencias de UVEs y bibliográficas son listadas en el anexo A, junto con la descripción detallada de cada sistema.

En la Figura 4.3 de manera sintética se representan los principales componentes y flujos que ya fueron detallados en las Tablas 4.1 a 4.3; como así también las interacciones generadas para lograr la producción del algodón. El esquema permite identificar de forma agregada, las magnitudes de los flujos de entradas en forma de recursos naturales renovables, no renovables y los recursos comprados en cada sistema, que hicieron al total de la emergía utilizada para la producción de una hectárea de algodón en bruto. Se observó que el soporte ambiental necesario para todo el proceso, es decir la emergía total (U) utilizada para la producción de una hectárea de algodón en bruto aumentó en 173% en el período desde PA 1980 a PA 2018; (Tablas 4.1 a 4.3 y Figura 4.3).

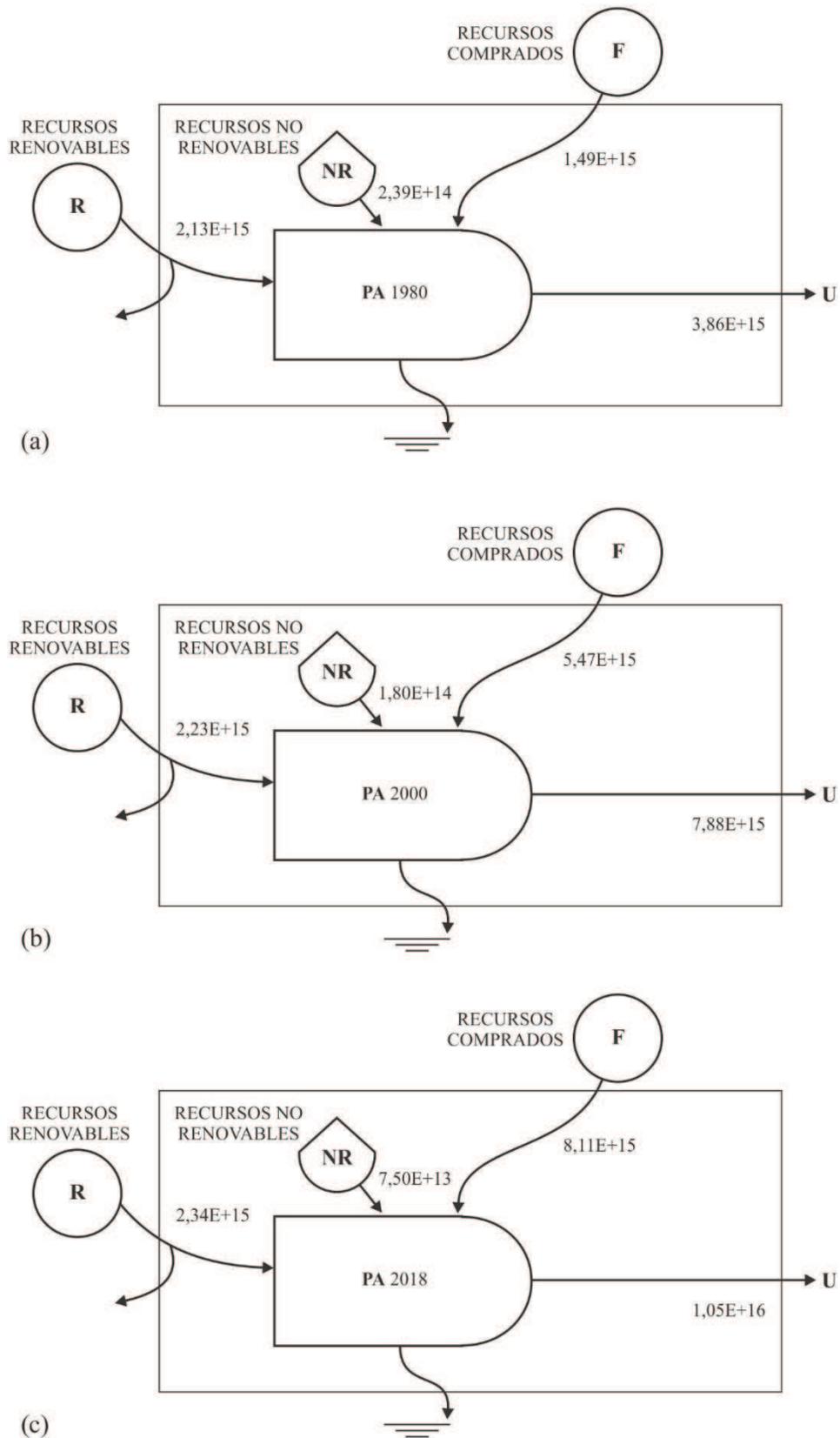


Figura 4.3. Diagrama con las principales contribuciones en los tres sistemas de producción del algodón en bruto a) PA 1980, b) PA 2000 y c) PA 2018. Las letras R, NR, F y U se corresponden con los cálculos de las variables de la Tabla 3.4.

#### **4.2.1 Contribución, en base energética, de los recursos naturales y antrópicos a la producción de algodón**

Dentro de los recursos naturales renovables (R), la evapotranspiración, (producto de la lluvia caída, consumo del cultivo y microorganismos del suelo), contribuye con el 55%, 28% y 22% del total del trabajo ambiental requerido para la producción de una hectárea de algodón en bruto, en los años 1980, 2000 y 2018 respectivamente (Tablas 4.1 a 4.3 y 4.4). Así el uso de la lluvia, fue el principal recurso natural renovable local contabilizado a través de la evapotranspiración en los tres sistemas estudiados. Cabe destacar que la oferta ambiental de precipitaciones en el área de estudio, permite la producción del algodón en secano, sin necesidad de energía externa provista por riego artificial. Esta disminución relativa en el tiempo del recurso agua de lluvia a la contribución total energética al sistema analizado, muestra como el manejo del sistema productivo tiende a depender cada vez menos del aporte de los recursos naturales de la región. Por otro lado, la contribución de los recursos locales no renovables o lentamente renovables (NR) como es el suelo contabilizado a partir de su pérdida por erosión y la utilización de agua subterránea presentan un mejor desempeño ambiental a medida que se avanza en los períodos analizados. Esto se observa principalmente porque el sistema ha disminuido la pérdida de suelo en los años analizados ya que la contribución relativa del trabajo del suelo a la producción total varió de 6%; 2% a 0,70% en (PA 1980, PA 2000 y PA 2018, respectivamente) (Tablas 4.1 a 4.3 y 4.4). En este caso, contrariamente a lo ocurrido con los R, el manejo implementado en los períodos analizados que incorpora la utilización de la labranza reducida y la siembra directa, ha ayudado a que la participación de los (NR) en el sistema productivo sea cada vez menor.

Mientras se observa que el manejo implementado en los sistemas de producción de algodón en bruto, a lo largo del tiempo, depende cada vez menos de la contribución ambiental local relativa del trabajo de los R y de los NR, también se observó una menor contribución relativa a la energía total de insumos comprados (M) de 13% en 1980 a 8% en 2000 y 2018. Esta menor contribución relativa se vincula al gran aumento de trabajo indirecto (S) que se incorpora en el tiempo. Es decir, si analizamos la contribución de insumos en valores absolutos de energía, observamos que los insumos comprados (M) aumentó un 67% juntamente con un aumento de 1300% del trabajo indirecto (S) vinculado a la producción de esos materiales.

La reducción de la intensidad y cantidades de labranzas, la reversión de la tendencia del monocultivo hacia las rotaciones, el acortamiento del ciclo del cultivo y la reposición de nutrientes mediante la fertilización, fueron las principales prácticas que han contribuido a mejorar y/o revertir la pérdida de suelos por erosión, con mejoras de 69% (12,5 a 3,9 tn/ha/año entre PA 1980 y 2018, respectivamente). De este modo, se considera que estos cambios contribuyeron a detener la degradación de los suelos, además de lograr menores consumos de combustible. En cuanto al uso del agua subterránea, utilizada para realizar las aplicaciones de agroquímicos, se observó mayor eficiencia en el uso de la misma, con mermas de consumo en litros del 20%, pese a que se duplicó el número de aplicaciones entre PA 1980 y 2018 (pasando del uso de 100 y 200 l/ha a 90 l/ha en PA 2018). De este modo, en términos energéticos, la provisión de NR en los sistemas analizados, mostró valores decrecientes con el correr del tiempo (Tabla 4.4).

Se observó un mayor uso de agroquímicos (Figura 4.4), y entre éstos, se destacan los fertilizantes químicos, a partir del año 2000, los herbicidas y reguladores de crecimientos necesarios para la correcta maduración y uniformidad del cultivo requerida por la cosecha mecánica. De modo inverso al aumento en la utilización de agroquímicos se observó una merma en consumo de combustible (Figuras 4.1 b, c, d; y 4.4) a lo largo del tiempo, éste último, vinculado principalmente a los cambios de prácticas en el control mecánico de malezas como así también a los sistemas de siembra y labores que han reducido el movimiento de suelo profundo.

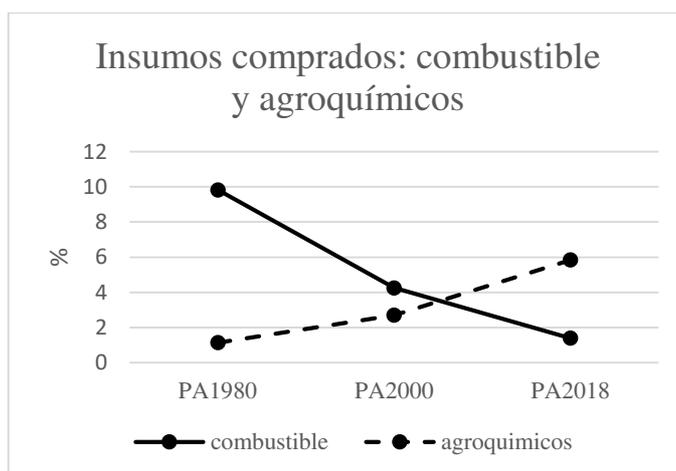


Figura 4.4. Evolución de los porcentajes (%) de consumo de dos de los principales insumos externos comprados (M): agroquímicos (fertilizantes, herbicidas e insecticidas) y combustible (gas oil) en el proceso productivo del algodón en PA 1980, 2000 y 2018.

Sin embargo estos insumos comprados incluyen mayor tecnología aplicada y mayor conocimiento traducido en un mayor trabajo indirecto (S) relativo, que aumentó de 14%, 61% y 69% respectivamente en los años analizados, mientras que la contribución del trabajo directo (L, medida en cantidad de horas hombre y referida al aporte de energía que realizan los trabajadores que obtienen de su entorno alimento y educación) disminuyó pasando de 12%, 0,9% y 0,2% en 1980, 2000 y 2018 respectivamente (Tablas 4.1 a 4.3 y 4.4). Así, a lo largo de 35 años, se observa una disminución de 96% de la contribución emergéctica proporcionada por el trabajo directo debido a los cambios tecnológicos y la mayor mecanización que redujeron el trabajo manual de carpidas, desmalezadas y principalmente de la cosecha del algodón.

#### 4.2.2 Huella Emergética

La Figura 4.5 representa la evolución en el tiempo de las principales contribuciones ambientales de los componentes requeridos por el sistema para producir algodón en bruto en una hectárea en cada uno de los años estudiados. Aquí, se resume lo explicado en la Sección 4.2.2, y se evidencia que la producción de algodón en PA 1980 se basó fuertemente en el soporte de los recursos naturales locales, contrariamente al PA 2018 que depende en mayor medida, del soporte aportado por el trabajo indirecto o servicios.

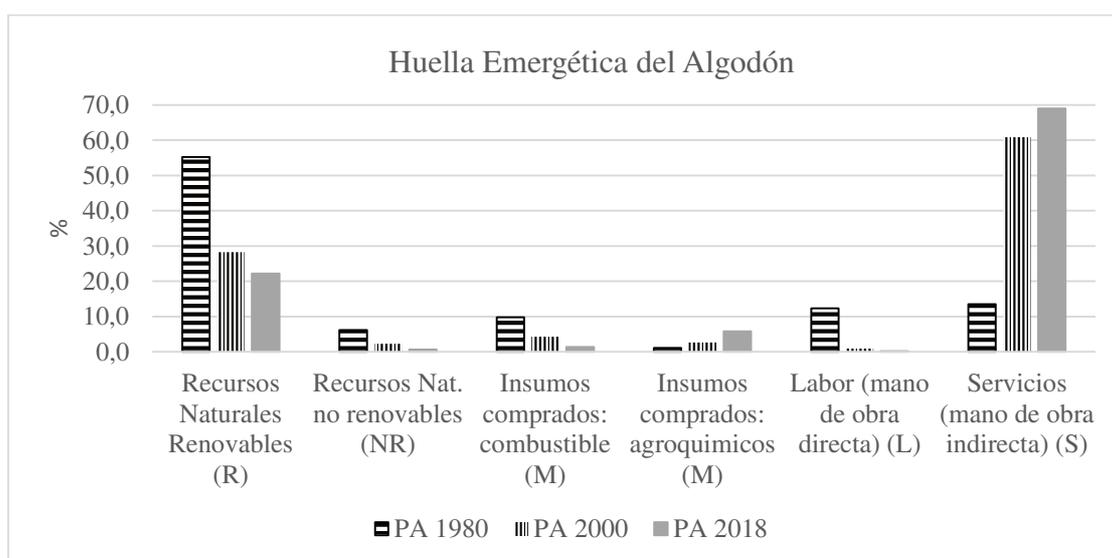


Figura 4.5. Evolución de los porcentajes de contribución emergéctica por las diferentes entradas de energías al proceso de la Producción de Algodón (PA 1980, 2000 y 2018).

### 4.2.3 Eficiencia y desempeño ambiental de la producción de algodón

La Tabla 4.4 presenta las relaciones entre las variables que agrupan a los principales flujos listados en las tablas anteriores. De las relaciones entre dichas variables, se calcularon los indicadores que permiten realizar la evaluación y comparación de la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas productivos.

Tabla 4.4. Principales variables e indicadores energéticos aplicados a los sistemas productivos de algodón (PA 1980, PA 2000 y PA 2018).

Abreviat.	Descripción Variables (sej/ha-año) e Indicadores Energéticos	PA 1980	PA 2000	PA 2018
<b>R</b>	Recursos Renovables Locales	2,13E+15	2,23E+15	2,34E+15
<b>RN</b>	Recursos No Renovables Locales	2,39E+14	1,80E+14	7,50E+13
<b>M</b>	Materiales comprados	4,90E+14	6,02E+14	8,19E+14
<b>L</b>	Trabajo directo	4,77E+14	7,36E+13	2,44E+13
<b>S</b>	Trabajo indirecto	5,22E+14	4,79E+15	7,27E+15
<b>U</b>	Uso total energía R+N + M + L+S	3,86E+15	7,88E+15	1,05E+16
<b>F</b>	F= M+L+S	1,49E+15	5,47E+15	8,11E+15
<b>UVE</b>	U / un. prod (sej/ g alg bruto)	3,86E+09	5,25E+09	5,54E+09
<b>UVE</b>	U / un prod (sej/USD alg bruto)	1,12E+13	2,39E+13	1,06E+13
<b>ELR</b>	(N+M+L+S) / (R)	0,81	2,53	3,50
<b>EYR</b>	U / (M+L+S)	2,59	1,44	1,30
<b>ESI</b>	EYR / ELR	3,20	0,57	0,37
<b>%REN</b>	(R / U) * 100	55,23	28,30	22,24

### 4.2.4 Valor de Unidad de Energía del algodón (UVE)

La intensidad biofísica de cada sistema es la unidad de valor energética lograda por el sistema de producción de algodón que relaciona a la totalidad de energía utilizada con el rendimiento alcanzado por el cultivo por unidad de superficie (o soporte ambiental por unidad de producto) o por su valor económico (soporte ambiental requerido por USD obtenido). Su valor se muestra en la Tabla 4.4. Así, la contribución del soporte ambiental requerido para producir un gramo de algodón en bruto es 44% mayor en 2018 que en 1980 (Tabla 4.4). Es decir que PA 1980 mostró la mayor eficiencia energética, invirtiendo menor cantidad de energía por cada gramo de algodón generado, mientras que PA 2018 fue quien requirió de mayor soporte energético para la producción de un gramo de algodón. Sin embargo, si se calcula la eficiencia energética en función del ingreso, se observa que la variación entre los sistemas PA 1980 y PA 2018, es mínima (5% en los 40 años).

### 4.3 Indicadores energéticos

Estos indicadores del desempeño ambiental (Tabla 4.4) integran la información proveniente de cada flujo del sistema, ofrecen otra dimensión para la evaluación de los mismos. Mediante éstos se analizaron las distintas relaciones, entre los recursos naturales renovables versus no renovables, recursos comprados versus gratuitos y disponibles localmente, flujos monetarios versus biofísicos.

En cuanto a la *Tasa de aprovechamiento energético* (EYR) el sistema PA 1980, en comparación a los demás, mostró mayor valor indicando un mejor aprovechamiento de los recursos provenientes de fuentes locales por sobre las fuentes de energías importadas (Tabla 4.4 y Figura 4.6 a). En relación a la medida de *presión ambiental* (ELR) ejercida sobre el ecosistema a través del proceso productivo, se observó que PA 1980 mostró el valor más bajo, (Tabla 4.4 y Figura 4.6 b) indicando menor presión o menor carga por sobre el ambiente comparado con los demás sistemas (PA 2000 y PA 2018). Significa que los recursos renovables disponibles localmente son los que direccionan el desarrollo del sistema. Por otro lado, la mayor contribución de los recursos no renovables locales (NR) en PA 1980 queda diluida por la menor participación de recursos importados en comparación con PA 2018. Así PA 2018 mostró valores de EYR próximos a uno (1) y los valores más altos de ELR, indicando no solo alto impacto de recursos importados, sino también un impulso en el desarrollo de otras regiones, generadoras de los recursos externos. Mientras que el sistema PA 1980 con alto valor de EYR y bajo ELR, que se traduce en el *indicador de sustentabilidad*  $ESI = 3,20$  mostró una mejor sustentabilidad global en su proceso productivo comparado con los demás sistemas ( $ESI = 0,58$  y  $0,37$ ; PA 2000 y 2018 respectivamente), (Tabla 4.4 y Figura 4.6 c). Así, el sistema PA 1980 mostró mejor habilidad en capturar recursos provenientes de la naturaleza (EYR) proporcionalmente mayor a la presión ejercida (ELR), resultando así mejor sustentabilidad ambiental. Un patrón similar se observó con la fracción de energía renovable (%REN) utilizada por los sistemas, donde PA 1980 presentó la mejor performance con un 55 % de la energía renovable utilizada, duplicando el valor de los demás sistemas (% REN = 28 % y 22 %, PA 2000 y 2018 respectivamente), (Tabla 4.4 y Figura 4.6 d). A lo largo del tiempo los sistemas bajo estudio mostraron un incremento en el uso de recursos no renovables, por sobre los renovables. Fracciones de alrededor 50% de renovabilidad en un sistema indica que la mitad de todos los recursos e insumos que se invirtieron en el proceso productivo, fueron consumidos a tasas que no exceden la

velocidad de la tasa a la cual son producidos. Comparando PA 1980 y 2018, se observó que los sistemas actuales, tendrían menor capacidad o habilidad para utilizar los recursos renovables en función de los insumos invertidos (EYR) disminuyendo en un 50% dicha capacidad, con incrementos 4 veces mayores relacionada a los insumos externos (ELR).

El desempeño ambiental de la producción del algodón, mediante el total de los indicadores aplicados (Tabla 4.4 y Figura 4.6) fue mejor en PA 1980, demostrando un mejor rendimiento energético con menor presión ambiental, manifestado por una mejor o mayor contribución del capital natural renovable a la producción final. PA 1980, además demuestra ser el sistema más sustentable, con la mejor performance en cuanto a los porcentajes de energías renovables utilizadas (% REN = 55).

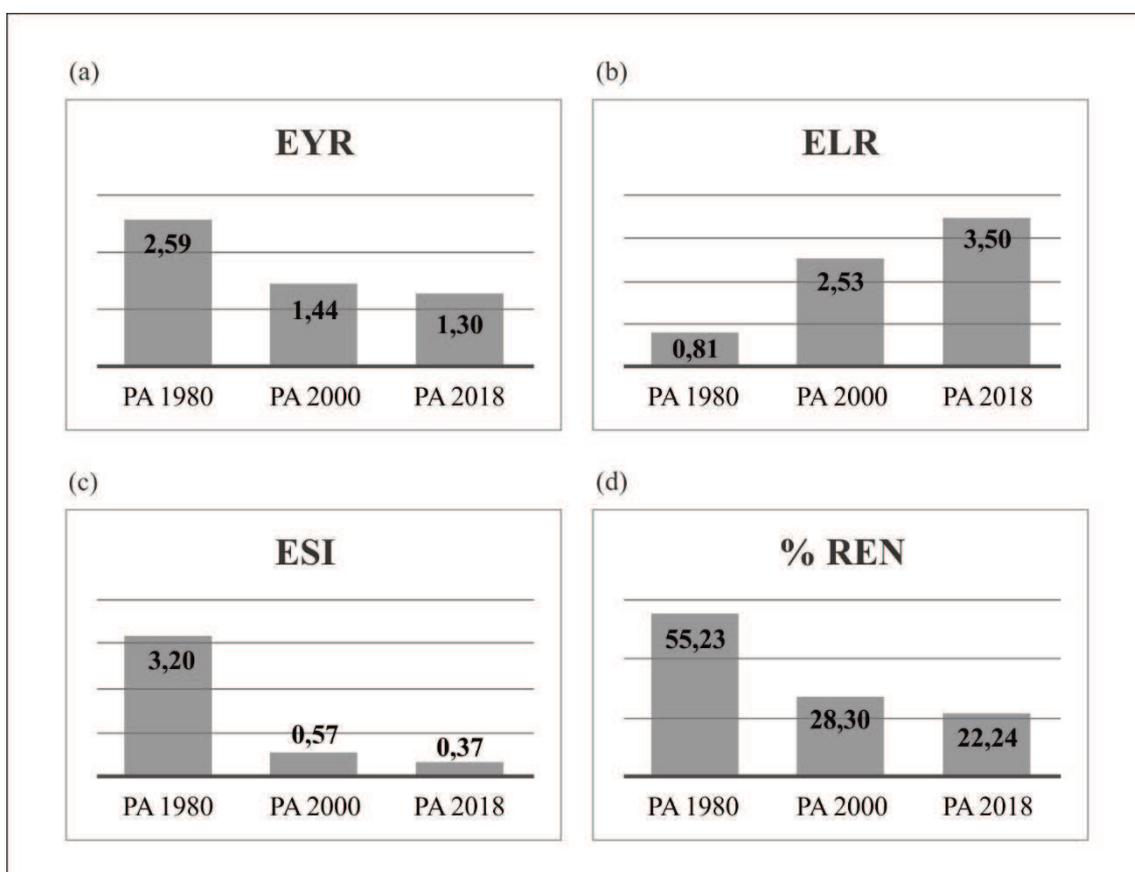


Figura 4.6. Evolución de los indicadores energéticos en los sistemas Productivos de Algodón (PA) 1980, 2000 y 2018: (a) EYR; (b) ELR, (c) ESI y (d) % REN.

#### 4.4 Evaluación Económica. Medidas de eficiencia

La evaluación ambiental es complementada con una evaluación económica. En la Tabla 4.5 se presentan y comparan las medidas de eficiencia estimadas mediante el análisis económico de la producción de algodón en bruto por hectárea en cada sistema analizado. Finalmente, serán abordados en la discusión de este trabajo, las relaciones entre los índices de eficiencia ambiental con las medidas de eficiencia económica para cada período evaluado.

Tabla 4.5. Análisis económico de la producción de una hectárea de algodón en bruto en cada sistema evaluado.

	PA 1980	PA 2000	PA 2018
Producción Agrícola (kg/ha de algodón en bruto)	1000	1500	1900
Precio de mercado de la producción (USD/t)	345	220	521
Ingreso (producción valorizada, USD/ha)	345	330	990
Costos totales (USD/ha)	189	216	362
Gasto en semilla (USD/ha)	6,8	14,4	78,0
Gasto en semilla /gasto total (%)	3,6	6,7	21,6
Gasto en agroquímicos (USD/ha)	32,2	76,6	208,5
Gasto en agroquímico/gasto total (%)	17,0	35,5	57,6
Gasto en combustible (USD/ha)	15,8	28,0	40,6
Gasto en combustible/gasto total (%)	8,3	13,0	11,2
Margen bruto (USD/ha)	156	114	628
Análisis Costo-Beneficio (ingreso/costos)	1,82	1,53	2,73
Emergía/Ingreso (sej/USD)	1,12E+13	2,39E+13	1,06E+13

A lo largo del tiempo los sistemas analizados mostraron que los *rendimientos* ascendieron escalonadamente. No obstante, los *precios* no mostraron la misma evolución, dado que en PA 2000 fueron más bajos que PA 1980 y luego en PA 2018 ascienden a valores superiores comparado a los dos ciclos anteriores (Tabla 4.5). Medidos en dólares constantes, los resultados no alteran el sentido de su interpretación, ya que la pérdida de valor de la divisa (debido a la inflación estadounidense desde 1980 a 2018), es compensado en el país cuando se compara su poder de compra relativo de diferentes bienes internos como pueden ser fertilizantes, trabajo o energía. (Lacelli, comunicación personal, 2018) en base a datos del sitio estadístico The Global Economy). La emergía

por ingreso indica el soporte ambiental que contribuye a la producción de algodón que es cubierto por cada USD recibido. Es decir, es el reconocimiento por los servicios ecosistémicos involucrados en la producción. El último año se observa una disminución de (U/USD) debido a que la producción tiene un alto soporte de insumos externos, (M aumentó un 67% desde 1980) y poco aporte de servicios ecosistémicos a ser recompensados. Así, la emergía invertida por dólar (Tablas 4.1 a 4.3 y 4.5) muestra que dicha relación fue de  $1,12E+13$ ;  $2,39E+13$  y  $1,06E+13$  sej/USD (PA 1980; 2000 y 2018 respectivamente). En base a esto, se puede decir que el sistema PA 2018 requirió una contribución emergética similar que en 1980 para generar un dólar.

En cuanto a los costos totales y los costos de algunos de los principales insumos se destaca que el uso de los agroquímicos, en PA 2018 ocupó el 58% del gasto total, mientras que en PA 2000 y PA 1980 éstos insumos implicaron un 36% y 16% de su gasto total respectivamente (Tabla 4.5). En cuanto al gasto en semilla implicó un 2% y 22% en PA 1980 y 2018 (aun sembrando menores cantidades en PA 2018). Del mismo modo, el combustible, si bien disminuyen los litros usados por hectárea, no se vio reflejado en los costos, dado que en PA 1980 implica el 4% y en PA 2018 un 11% del costo total.

En relación a los *ingresos*, medidos en USD/ha, PA 2000 fue quien obtuvo el menor valor, seguido de PA 1980, mientras que PA 2018 logró los mejores ingresos. Es decir, no hubo incrementos entre PA 1980 y PA 2000, sino una disminución en USD/ha del 4% (que por lo explicado anteriormente puede considerarse despreciable). Entre PA 2000 y PA 2018 se obtuvieron incrementos del 67% en los ingresos, pero si se analiza el cambio en el ingreso entre PA 1980 y PA 2018 el incremento fue del 187%. La relación entre la emergía invertida y los ingresos obtenidos (Tablas 4.1 a 4.3) muestra que dicha relación fue de  $1,12E+13$ ;  $2,39E+13$  y  $1,06E+13$  sej/USD (PA 1980; 2000 y 2018 respectivamente). En base a esto, se puede decir que en el sistema PA 2018 la eficiencia emergética por unidad monetaria (sej/USD obtenido de la producción) fue semejante a PA 1980, mientras que al mismo tiempo fue 44% mas ineficiente si lo referenciamos en términos de masa (sej/g de algodón producido).

El análisis *costo/beneficio*, permite ver la eficiencia con que el capital es utilizado. El coeficiente ingreso/costo también es conocido como beneficio bruto y debe ser mayor a uno para que indique que hay ganancia positiva (por cada dólar invertido se obtiene al menos ese dólar); en los tres casos es mayor a 1.

Es decir que la producción de algodón en bruto aumentó 90% (de 1 t en 1980 a 1.9 t en 2018), obteniendo un beneficio económico del 50% mayor (costo-beneficio) (Tabla 4.5) y requiriendo una inversión energética 170% mayor (de 3.86e15 a 1.05e16) (Tabla 4.4) respectivamente comparando los períodos mencionados

Aun calculando los indicadores económicos (ingreso y margen bruto) para el ciclo PA 2018 con el precio del algodón del ciclo PA 1980 (345 USD/tn), se observa un beneficio de 90% y 87% respectivamente, mientras que el coeficiente de ingreso/costo se mantiene igual a 1980 y se requiere mayor soporte ambiental por cada dólar invertido (Tabla 4.6). Estos parámetros económicos, junto a los indicadores energéticos serán discutidos de manera integral en la próxima sección.

Tabla 4.6. Indicadores económicos del periodo PA 2018 comparados con precios corrientes del periodo PA 1980.

Indicadores económicos	Unidad	PA 1980	PA 2018	
		precios 1980	precios 2018	(precios 1980)
Precio Algodón	USD/tn	345	521	345
Ingreso	USD/ha	345	990	655,5
Margen Bruto	USD/ha	156	628	293,5
Relación Ingreso/Costo	USD/USD	1,82	2,73	1,81
Relación soporte ambiental/ingreso	sej (E+13)/USD	1,12	1,06	1,60

## **Capítulo 5: Discusión de los resultados**

Los sistemas productivos fueron analizados individualmente de manera comparativa entre sí, a lo largo de los 35 años que reviste este estudio, con el objetivo de comprender el soporte ambiental para la producción del algodón, bajo las mismas condiciones de oferta ambiental por parte del clima y el paisaje; en función del uso de los recursos y las tecnologías. En esta sección se analizan y discuten los cambios en el uso de los recursos naturales y socioeconómicos, para interpretar el desempeño ambiental de los agroecosistemas. La discusión se divide en cuatro secciones: la primera expone la evolución de las tecnologías en la producción del algodón, la segunda presenta las variaciones en la eficiencia del uso de los recursos desde el punto de vista energético y económico que permiten concluir sobre el desempeño ambiental de los sistemas productivos; en tercer lugar, se discute acerca de la eficiencia energética y económica productiva. Finalmente se exponen reflexiones finales. En cada sesión se articula la información generada con los conocimientos previos disponibles que permitan concluir sobre la sustentabilidad de la producción del algodón; como así también valorar la metodología aplicada para una comprensión integral del sistema productivo estudiado.

### **5.1 Transformaciones tecnológicas en la producción del algodón**

La producción de algodón en el mundo desde la década del '80 en adelante logra mejoras productivas, no obstante, posterior a los años 2000, alcanza mayores incrementos en productividad, con la introducción de variedades genéticamente modificadas, fertilización y riego, manejo y control de plagas (Ruiz, 2019; Delssín y Piedra, 2006); tendencia que fue observada en este trabajo. Las regiones algodonerías del país, no quedaron al margen de esta realidad y adoptaron lo acontecido en la trama internacional (Garay et al., 2017; Delssín, 2015 y 2003; Valenzuela et al., 2011; Peterlin, 2006). De similar modo y en paralelo a un contexto internacional, el sector agropecuario y agroindustrial argentino, en los últimos 35 años, atravesó cambios sustanciales en la adopción e innovación tecnológica y organizacional con la incorporación de la siembra directa, la biotecnología, las tecnologías de información y la agricultura de precisión, como se mencionó anteriormente (Andrade et al., 2017; Garay et al., 2017; Pengue, 2015; Aparicio et al., 2015; Cominiello, 2012; Schneider et al., 2006; Giunta et al., 2005; Adámoli et al., 2004; Viglizzo et al., 2002). A consecuencia de esto, uno de los principales logros fue el incremento en la productividad y rentabilidad de los cultivos, desde un contexto socio-económico, situación que fue analizada en la producción del algodón

(Ruiz, 2019; Delssín, 2012, 2005 y 2003) y evidenciada en este trabajo, con algunas particularidades.

Entre las innovaciones tecnológicas, deben destacarse dos procesos propios del cultivo del algodón: 1) la “mecanización de la cosecha” que, en Argentina, reemplaza gradualmente la cosecha manual desde la década del '80 en adelante (si bien los ensayos en cosecha mecánica en la Argentina datan de principios de la década de 1950), se intensificó diez años después con la difusión masiva de las cosechadoras mecánicas a mediados de los noventa, muchas de ellas, con desarrollo local (Delssín, 2003). 2) el sistema aplicado para la siembra de algodón en “surcos estrechos o en altas densidades” logrado mediante, la siembra directa y el uso de semillas transgénicas, que se consolida desde el año 2006 de manera conjunta en todas las regiones algodoneras del país (Cámara Algodonera Argentina, 2017; Delssín, 2015; Delssín, 2006; Delssín y Piedra, 2006). En solo ocho años, la máquina cosechadora “Javiyú”, (de origen nacional y diseñada para este paquete tecnológico), pasó a cosechar el 40% del algodón argentino, (principalmente adoptada por pequeños y medianos productores) con 400 máquinas vendidas, incluso en el exterior, no obstante, el sistema de siembra se aplicó en un 70% del área algodonera (Ventura, 2016). La adopción masiva del sistema de siembra en surcos estrechos, fue un paquete que se consolidó principalmente, mediante un conjunto de prácticas agronómicas vinculadas a la etapa de producción primaria (Paytas, 2013), junto a importantes acciones, concernientes a la sincronización entre los sectores públicos y privados de la cadena algodonera, logrados a través de la investigación y desarrollo, luego la transferencia tecnológica), (Ventura, 2016; Paytas, 2013).

El impacto de la tecnificación en la producción del algodón, sobre el empleo rural (principalmente la cosecha), fue un fenómeno atravesado en Argentina, como así también en América Latina en otras producciones agropecuarias (Andrade et al., 2017; Tealdo et al. 2010; García, 2007; Adámoli et al., 2004; Tubio, 2001). La disminución de mano de obra por los cambios tecnológicos, ocurrió en la producción de otros cultivos tales como la soja, maíz y trigo desde 1970 a 2007, (disminución de un 40%, aun triplicándose la producción de dichos cultivos en el país, Cominiell, 2012. Simón (2015) destaca la repetición de este patrón en otros sistemas productivos, con alta dependencia de trabajo directo, tales como la caña de azúcar, la vid y la fruticultura, subrayando que las nuevas tecnologías generan nuevas tareas, bajan costos y permiten una mejor competencia y rentabilidad, con aumentos en la producción promedio y rindes por hectárea, realidad que

también se evidenció en este trabajo. Junto a esto se acentúa la disminución de la población rural, con caída de número de establecimientos agropecuarios, productores y trabajadores permanentes en los establecimientos, situación que fue expuesta en este trabajo (Tabla 3.1), aunque los factores causales de este fenómeno, van más allá de las transformaciones tecnológicas (Tealdo et al., 2010; García, 2007). La evolución de la tecnología se convierte en un importante factor de cambios, beneficios asociados a la tecnificación, intensificación y expansión de la agricultura argentina (Andrade et al., 2017; Viglizzo et al., 2002). En la producción del algodón en los años de estudio, éstos cambios impactaron en el esquema productivo y social histórico del cultivo y le confiere mejores y mayores ventajas competitivas posicionándolo mejor frente a otras producciones agrícolas (Ventura, 2016; Simón, 2015; Delssin, 2005). No obstante, aunque no exclusivo al sistema productivo del algodón, la tendencia al mayor uso de insumos externos acorde a los avances tecnológicos, en muchas regiones del país, ha demostrado ejercer mayor una mayor presión en los agroecosistemas, disminuyendo las funciones e integridad ambiental; destacándose entre ellos, el problema actual de malezas resistentes al uso excesivo de herbicidas (Alavez, et al., 2019; Andrade et al., 2017; Viglizzo et al., 2011; Aparicio et al., 2015; Viglizzo y Frank; 2006). Otro de los principales insumos, que mostró tendencia en aumento, es el uso de fertilizantes químicos, específicamente en los sistemas aquí estudiados (Fig 4.1.a); propensión que coincide en otros sistemas productivos agrícolas actuales (Andrade, 2017; Ferraro y Benzi, 2015; Zhang et al., 2016 y 2012; Ghisellini et al., 2014; Viglizzo et al., 2011; Martin et al., 2006).

De este modo, si bien en el periodo estudiado, la producción aumentó 1 vez más, el costo ambiental lo hizo casi 2 veces, el mayor uso de insumos externos al sistema, tal como la fertilización es un aspecto a considerar, dada la mayor dependencia creada por el uso de energías no renovables de altísimos costos energéticos en sus procesos de generación, utilizados para realizar un trabajo que potencialmente podría ser realizado por los propios procesos ecológicos de la naturaleza (Tow et al., 2011; Altieri, 1999). Sumado a esto, estos insumos pueden liberan contaminantes que requieren de mayor energía para degradarse, asimilarse y restablecer el equilibrio nuevamente (Rótolo et al., 2011; Rótolo y Francis, 2008; Viglizzo y Frank, 2006; Altieri et al., 1999).

Validar y ajustar métodos y prácticas agronómicas adaptadas regionalmente, para reducir estos insumos tiene gran potencial para aumentar la sostenibilidad y disminuir la presión ambiental de la producción del algodón.

## **5.2 Desempeño ambiental**

La evaluación emergética de las transformaciones tecnológicas sobre el cultivo de algodón, muestra un patrón general que permitiría afirmar que las formas de producción actuales basan su funcionamiento en una dependencia de insumos externos representado por un menor respaldo del soporte ambiental local y por lo tanto mayor contribución emergética a la producción (aumento de uso total de emergía,  $U=173\%$ ). Dado que se encontraron escasas evaluaciones emergéticas aplicadas a sistemas productivos de algodón en bruto, esta evaluación tomó de referencia otros sistemas productivos, tales como granos y otras producciones, del país y otras regiones del mundo. Si bien se trató de enfocar a estudios de la región pampeana, se utilizaron los de otras regiones también sabiendo que esos indicadores pueden estar afectados por las diferencias propias entre ellas, de sistemas de manejo y producción (Listado de estos sistemas en Anexo B).

### **5.2.1 Evolución de recursos y uso total de emergia**

El uso de la *emergía total requerida* en los procesos productivos se incrementó, requiriendo  $173\%$  más contribución ambiental en PA 2018, (3 veces más) que en PA 1980. Los niveles de tecnificación en PA 1980, con un menor uso de recursos externos, serían una de las razones por las que el sistema es más eficiente en el uso de los recursos locales. Mientras que en PA 2018 no sólo hay mayores requerimientos emergéticos, sino que la mayor proporción de éstos, provienen de recursos no renovables provistos por la economía (insumos externos y servicios) y no por recursos renovables disponibles localmente, situación que los hace más propensos a no ser sustentables en el tiempo. Estos resultados esencialmente no difieren de las conclusiones aportadas por Rótolo et al. (2014), donde la inversión total de emergía para producir una hectárea de soja en la región pampeana fue similar (pero levemente inferior a lo registrado en algodón) en los años 1986, 1995 y 2009. Del mismo modo, los mismos autores analizaron que la emergía total utilizada ( $U$ ) en el proceso productivo de los cultivos maíz, soja y trigo, aumentó desde 1986 a 2009 en un  $111\%$ ,  $17\%$ , y  $121\%$  aumentos relacionados con el mayor uso de

recursos provenientes de la economía y no de los recursos naturales renovables, mostrando además menor sustentabilidad, de la mano de cada vez más altos niveles de tecnificación e intensificación mediante el uso de recursos no renovables; tendencia similar a lo observado en este estudio.

Entre los aportantes a la emergía total, el recurso lluvia, fue el recurso natural renovable de mayor aporte emergético, contabilizado a través de la evapotranspiración, con aportes del 55, 28 y 22% en los tres sistemas estudiados (desde PA 1980 a PA 2018). La evapotranspiración es el proceso por el cual, varios servicios de la naturaleza aportan en forma conjunta al sistema para una de las funciones vitales para el desarrollo del cultivo. La evapotranspiración es la pérdida de agua por parte de los suelos (física, por evaporación; como así también biológica, a través de la transpiración de las plantas), proceso en el cual participan los flujos de energías provenientes de la radiación, viento, humedad ambiente, cobertura vegetal como así también el tipo de suelo. Dado que la evaluación emergética, sigue un enfoque sistémico y tiene en cuenta el sistema mayor (en el espacio y en el tiempo) en el cual se inserta el sistema estudiado, solo se usó el aporte de la evapotranspiración, para evitar la doble contabilidad de los flujos mencionados (Odum, 1996). Además de esto, cabe destacar que la oferta ambiental de precipitaciones en el área de estudio, permite la producción del algodón sin necesidad de energía externa provista por riego artificial; lo cual insumiría altas tasas energéticas y mayores costos económicos (ICAC, 2019) y ambientales, con mayores valores en emergía proveniente de recursos no renovables. La demanda de riego artificial muestra mayores desbalances entre los recursos renovables y no renovables impactando negativamente en los indicadores de sustentabilidad (Martin et al., 2006). La provisión natural del insumo agua, sin lugar a dudas demuestra la importancia de este recurso renovable para la producción en los tres sistemas analizados.

En cuanto al consumo de recursos naturales no renovables (suelo y agua subterránea), la reducción de la intensidad y cantidades de labranzas, la reversión de la tendencia del monocultivo hacia las rotaciones, el acortamiento del ciclo del cultivo y la reposición de nutrientes mediante la fertilización, fueron las principales prácticas que han contribuido a mejorar y/o revertir la pérdida de suelos por erosión, con mejoras de 69% (12,5 a 3,9 tn/ha/año en PA 1980 y 2018, respectivamente). Se considera que todos estos cambios fueron positivos en los sistemas productivos de algodón y que no contribuyeron al deterioro del suelo, sino todo lo contrario, implicando también un menor consumo de

combustible. En cuanto al uso del agua subterránea, utilizada en aplicaciones de agroquímicos, se observó mayor eficiencia en el uso de este recurso, con mermas del 20% aun habiendo duplicado el número de aplicaciones entre PA 1980 y 2018. Así, el soporte ambiental por parte de estos recursos no renovables es menor, aun siendo mayor la productividad.

Las mayores contribuciones emergéticas en los sistemas actuales de algodón corresponde a emergía proveniente de insumos comprados y el trabajo indirecto implicado en los mismos, (77% del total emergético requerido para la producción en PA 2018,) a diferencia de 26% en PA 1980; este aumento en los porcentajes de emergía están en estrecha relación a la tecnificación de los sistemas basada en un mayor uso de insumos, principalmente por el uso semilla genéticamente modificadas, fertilizantes, herbicidas e insecticidas, asociadas a las prácticas de siembra directa que involucra barbechos químicos, al sistema de siembra en surcos estrechos, control y regulación del cultivo para óptimas cosechas. Sun et al. (2013) afirman similar situación, aseverando que sistemas productivos de algodón en China (2006 a 2010), mostraron bajo grado de dependencia de los recursos ambientales renovables y alto grado de dependencia emergética proveniente de insumos comprados, cuya composición es igual a su costo de producción. Así también, lo observado en este estudio se corresponde con una tendencia nacional; datos provenientes de Casafe (2013) indican que en la campaña agrícola 2011/12 en Argentina, el uso de agroquímicos, fue varias veces superior al correspondiente a dos décadas atrás. En Argentina, el aumento en volumen de plaguicidas utilizados por unidad de superficie es principalmente, debido al uso de herbicidas, asociado a la práctica de siembra directa (barbecho químico), utilización de cultivos “RR” (resistente a herbicida), y la aparición de malezas resistentes (Andrade et al., 2015). Los mayores requerimientos de reguladores de crecimiento, defoliantes y desecantes, utilizados en algodón, asociados al sistema de siembra en surcos estrechos, fueron requeridos para la regulación del cultivo, y el consecuente proceso de cosecha en óptimas condiciones, con calidad de fibra. De este modo, lleva a concluir que tanto en la producción de granos, como en el algodón la producción se volcó a una mayor dependencia de insumos externos al sistema. Si bien, a lo largo de este análisis, los agroquímicos aumentaron en cantidades aplicadas, éstos corresponderían a categorías menos peligrosas que las usadas en PA 1980, y por ende incidirían con menores riesgos al ambiente (Casafe, 2013; Viglizzo et al., 2011). No obstante, no fue foco de este estudio analizar si hubo mayores o menores externalidades

negativas en cada sistema productivo. Es de destacar que PA 2018, la reducción del uso de maquinarias por el cambio de sistema de siembra y labranzas como así también el cambio en el control de malezas trajo una disminución directa en el consumo de combustible fósil, con una merma del 61% entre PA 1980 y PA 2018 (pasando de 77 a 30 litros por hectárea en PA1980 y 2018 respectivamente. Sin embargo, a pesar de esta reducción del consumo directo de combustible, el uso de energía de origen fósil indirectamente se mantiene constante o en aumento de la mano del mayor uso de fertilizantes, herbicidas e insecticidas dado que todos estos, insumen energía fósil para su fabricación, procesamiento y transporte. De este modo el uso de energía fósil indirecta, no disminuye a lo largo de este estudio. Los cambios en las intensidades y cantidades de labranzas, incidieron en un menor uso de energía fósil directa (combustible para el laboreo), con la reducción en la erosión de los suelos, pero así también co-evolucionaron al mismo tiempo, con el aumento en el uso herbicidas principalmente, como así también fertilizantes e insecticidas y los servicios (trabajo o mano de obra indirecta, entendido por el conjunto de pasos y procesos e insumos de fondo, implicados en los múltiples acciones y gestiones para el desarrollo de un producto, Ulgiati y Brown, 2012.

En cuanto a los cambios del aporte de la mano de obra directa, (trabajo directo aplicado en el proceso de producción, L), ha sido reemplazado por la tecnificación y mecanización. Así, las horas hombres que ingresaban como mano de obra, en tareas concretas dentro del proceso productivo fue suplantada por insumos externos, servicios y procesos que fueron simplificados por la biotecnología y maquinarias más eficientes (Ventura, 2016; Simón, 2015; Cominiello, 2012). Estas transformaciones no siempre impactan favorablemente a la sostenibilidad del proceso desde el punto de vista ambiental, como se observa en este trabajo, en coincidencia con lo descrito por Rótolo et al. (2014), destacan que la performance de los indicadores emergéticos de la soja, muestran una evolución negativa en el tiempo, vinculada al incremento de los servicios involucrados en los procesos productivos, destacándose incrementos del 36% (mientras que L aporta menos del 1%). Similar tendencia se registró para la producción del algodón en este estudio, donde los servicios se incrementaron entre PA 1980 y 2018, y L disminuyó. Mientras que en PA 1980 se necesitaron 201 horas/ha/año de trabajo de operarios y cosecheros en PA 2018 solo se requieren 7 horas para seguimiento del cultivo, el acondicionamiento post-cosecha y carga del algodón. Así, se evidencia un patron de fuerte reconversión de la mano de obra, en algodón en los años analizados, asociados por

el recambio hacia la tecnificación de las prácticas, tendencia que también fue registrada por otros cultivos (Cominiello, 2012). En este trabajo, la tasa de cambio entre estos componentes (relación trabajo directo vs indirecto), fue mucho mayor entre PA 1980 y PA 2000, mostrando una tasa de 2,92 en los 20 primeros años versus 0,20 entre PA 2000 y PA 2018; indicando un cambio de mayor intensificación entre los primeros años.

De este modo, en la actualidad se demuestra la tendencia hacia una menor cantidad de horas en mano de obra directa y mayor dependencia de insumos externos asociada a la mano de obra indirecta en los sistemas productivos actuales, sean estos en la producción del algodón como así también de otras commodities. También se desprende que los sistemas productivos actuales, se apoyan cada vez menos en la contribución de los servicios ecosistémicos (SE) locales y mas en insumos externos. De este modo no solo utilizan SE provenientes de otras regiones (que al pagar monetariamente por esos insumos favorecemos los desarrollos de otras regiones) sino que también al no utilizar el trabajo de nuestros recursos naturales los impactamos (mayores insumos) y los desequilibramos, haciendo de este modo, cada vez mas necesario seguir incorporando insumos externos para compensar desequilibrios momentáneos ya que se transformarán en problemas futuros.

### **5.2.2 Indicadores emergéticos**

En cuanto a la *tasa de aprovechamiento emergético* (EYR), PA 1980 demostró el mejor valor, dado por una mejor capacidad por parte del proceso productivo en utilizar los recursos locales renovables y no renovables, en relación a la inversión de recursos externos al sistema (Brown y Ulgiati, 2004). El valor de EYR de 2,59 para PA 1980 indicó que más de 2 emjoules solares de emergía local fue utilizada por cada emjoule solar de recurso comprado invertido en el sistema. Los menores valores de EYR obtenidos en PA 2000 = 1,44 y PA 2018 = 1,30; indicarían que el sistema solamente convierte recursos del exterior para su exportación, sin mucha adición de los recursos locales, actuando de modo similar a una industria en lugar de un agroecosistema (Zhang et al., 2012; Brown y Ulgiati, 2004); mostrando poca capacidad para utilizar lo que está disponible local y gratuitamente. En general, en la comparación entre sistemas productivos intensivos o industrializados versus tradicionales, estos últimos, demuestran buena capacidad para emplear los recursos locales disponibles, pero en general con baja eficiencia productiva y viceversa (Zhang et al., 2012; Martin et al., 2006) comparando con los rendimientos

actuales que aumentaron un 90% de la mano de un aumento en el uso de fertilizantes (116%, entre 2000 y 2018) y de cinco veces más de herbicidas, en todo el periodo estudiado, o 400% más. La dependencia del proceso productivo del algodón de las fuentes de energías renovables disminuyó en un 60%. Similares resultados fueron registrados por Rótolo et al. (2014) para maíz, soja y trigo, donde EYR fue 38%, 24% y 40% menos en 1986 comparado con el año 2009, respectivamente; con valores (EYR en 2009 = 1,23, 1,56; y 1,25 respectivamente). Los cambios a lo largo del tiempo en cuanto a los manejos y las tecnológicas implementadas han reducido la dependencia de los procesos de producción sobre los usos de recursos naturales renovables locales; siendo lo esperable que cada sistema logre rendimientos adecuados con mayor dependencia de energías renovables, no obstante, valores de EYR ligeramente superiores a 1 pueden parecer bajos, pero son típicos de los sistemas agrícolas (Martín et al., 2006; De Barros et al., 2009).

La *presión ambiental* (ELR) ejercida por los sistemas PA 2000 y 2018 es entre tres y cuatro veces mayor que PA 1980, respectivamente. No obstante, dichos valores caen en un rango de moderado a bajo impacto ambiental (Brown y Ulgiati, 2004). Este indicador es una medida de disturbio sobre las dinámicas ambientales locales, generada por un desarrollo impulsado desde el exterior. Los sistemas que poseen un ELR = 0 son aquellos en los que no existe la intervención humana mientras que una ciudad moderna en Estados Unidos que depende en gran medida de recursos importados pueden tener un valor mayor a 100 (Brown y Ulgiati, 2004; Tilley y Swank, 2003). Martín et al. (2006) evaluaron sistemas productivos contrastantes y demostraron que agroecosistemas diversificados tradicionales, con baja irrupción de sus ciclos naturales, donde se respetan las sucesiones ecológicas y sin la incorporación de insumos externos, muestran los porcentajes más altos de energías renovables en la producción con altos valores de ELR. Ferraro y Benzi (2015) evaluaron una rotación agrícola típica de la región pampeana y demostraron que la presión ambiental en los sistemas evaluados era similar o más baja en comparación a otros sistemas productivos en otras regiones del mundo, no obstante, destacan aumentos en la presión ambiental por parte de los sistemas de la mano de mayor intensificación y adopción de tecnologías a lo largo de los años de estudio, similar a lo hallado en este trabajo.

Los valores del *índice de sustentabilidad emergética* (ESI), en PA 2018, mostraron una disminución debido a la mayor carga ambiental (ELR) generada. Esto indicaría que mayores cantidades de recursos no renovables serían invertidos en el

proceso productivo del algodón en bruto, hecho que no contribuiría a la sustentabilidad de los mismos a largo plazo. Similar tendencia se observa para soja, maíz y trigo, con mermas en la sustentabilidad de los sistemas productivos entre los años 1986 y 2009 (Rótolo et al., 2014). Estos autores afirman que hay un desequilibrio entre el uso de los recursos gratuitos renovables y disponibles localmente versus recursos comprados desde afuera del sistema que no son renovables; y este desequilibrio no puede ser ignorado, siendo un aspecto clave de la sostenibilidad. Arpigiani (2014) describe la situación de diferentes sistemas agrícolas en la región del noroeste argentino, destacando que sistemas agrícolas tradicionales (escala de pequeños productores) mostraron mayor reciclaje interno o menor dependencia de recursos externos; mayor rendimiento emergético por unidad de emergía externa incorporada, menor presión ambiental y una mayor sustentabilidad (ESI); en contraposición a sistemas agrícolas bajo riego con mayor intensificación con los valores opuestos a los indicadores mencionados. Esto ubicaría a los sistemas tradicionales como más adaptados a su entorno, debido a su relación más balanceada con los recursos naturales (además de no presentar diferencias en productividad con los sistemas modernos) sugiriendo mayor estabilidad y menor presión ambiental en el largo plazo. Los sistemas productivos de PA 1980, se asemejarían a lo citado por Ferreyra (2001) quien caracteriza a los sistemas agrícolas desde inicios y mediados del siglo XIX en la región pampeana Argentina, donde demuestra que desde una perspectiva emergética, la producción agrícola fue extremadamente sostenible durante este periodo. Los valores de ESI, fueron los más altos del siglo a consecuencia de los altos valores de EYR y bajos ELR (mínimos estrés ambiental), sin embargo, las condiciones ecológicas notables de las pampas argentinas, no lograron competir con las mejoras de la productividad e innovación tecnológicas en otros países, perdiendo mercados extranjeros y teniendo que intensificar su producción (Ferreyra, 2001). Consecuencia de ello, mejora la productividad en desmedro de la presión ambiental. Zhang et al. (2016) analizaron la sustentabilidad de las producciones agrícolas de una región en China entre 2000 y 2010; demostrando que la mayor entrada de emergía comprada no renovable hace la mayor contribución a la entrada total (valor promedio 61% de la entrada total, derivada de la mecanización y fertilización). Puntualizan que logran aumentos en la eficiencia productiva, en desmedro del rendimiento emergético, con aumentos en su carga ambiental (ELR = 58%), reduciendo la sustentabilidad de los sistemas productivos en un 37% con la disminución del índice ESI de 1,27 a 0,80, durante este período de estudio. Otra evaluación a escala regional en China (Liu et al., 2019)

determina que de 30 provincias analizadas (de 2006 a 2015) la sustentabilidad agrícola de las mismas muestra bajos valores de ESI, destacando que la mayoría de ellas, tienen mucho por mejorar en la producción de sus cultivos. Ulgiati y Brown (1998) sostienen que los procesos o sistemas productivos deberían introducir nuevos patrones o tecnologías hacia un mayor rendimiento energético y sustentabilidad, aumentando su dependencia hacia los recursos renovables y minimizando las importaciones de energías no renovables, no obstante, lamentablemente, las tendencias en las economías actuales, demuestran decrecimiento de los valores ESI.

En cuanto al indicador de la *fracción de energías renovables utilizadas (% REN)*, PA 2018, utilizó mayor cantidad de energía comprada y menor porcentaje de energías provenientes de los recursos renovables para la producción, por lo tanto, obtuvo la fracción más baja de energías renovables (22,24%). En PA 1980 la no utilización de fertilizantes y la baja utilización de herbicidas, incidieron en el sistema con menores porcentajes de los recursos externos y que la producción fuese sostenida en mayor proporción por los recursos renovables. No obstante, éstos sistemas pueden verse limitados por la variabilidad de la oferta ambiental de los recursos naturales y sin soporte externo, pueden llegar a condicionar su rendimiento. De este modo, PA 1980 se asemeja a sistemas de producción agrícola de subsistencia o aquellos sistemas con bajos niveles de intensificación y rendimientos, tal como fueron descritos por Rótolo et al., (2015b); Martin et al., (2006). Los menores valores de fracción de recursos renovables utilizados en PA 2000 y PA 2018 indicarían que se han basado en gran medida en el uso de recursos provenientes de la economía (insumos comprados y servicios), y éstos, además, requieren de mayores demandas energéticas en sus procesos de generación, coincidiendo con lo expuesto por Rótolo et al., 2014; Ulgiati y Brown, 2014). Entre estos productos se destacan las semillas con biotecnología, fertilizantes y plaguicidas, éstos últimos derivados del petróleo, con mayores niveles de procesamiento, energía y consiguientemente externalidades. El incremento en el uso de éstos, no sería sustentable desde lo ambiental, sumado a que la dependencia exclusiva hacia los recursos externos comprados, hace que los sistemas sean más susceptibles a las fluctuaciones de precios, que aquellos sistemas que tengan mayor equilibrio entre las fuentes renovables y no renovables que utilizan.

Así, los cambios tecnológicos en el manejo de los sistemas productivos de algodón, han reducido la dependencia de los procesos de producción sobre los recursos

renovables locales y esto coincide con los mismos patrones descrito por Rótolo et al. (2014 y 2015c) quienes aplicaron quince indicadores ambientales a los principales cultivos de la región pampeana norte, donde el 70% de ellos, mostraron leve desmejoramiento con mejoras por unidad productiva e ingresos de los mismos. Rótolo et al. (2015b) analizaron a lo largo de 25 años en la misma región, diferentes patrones de producción de maíz, demostrando que aquellos sistemas con altos niveles de intensificación, dependencia de insumos, servicios y tecnologías no renovables muestran un peor desempeño ambiental que ponen en riesgo su sostenibilidad a largo plazo. Sin embargo, el desempeño de sistemas agrícolas representativos en dos regiones (sur y norte) de Italia (1985-2010), evaluado por Ghisellini et al. (2014), demostró tendencias favorables, dado principalmente a los cambios en el uso de la tierra, mayor uso de fracción de recursos naturales, incidiendo de manera positiva en los índices de sostenibilidad a lo largo de la serie estudiada.

### **5.3 Eficiencia emergética, económica y productiva**

En cuanto a la eficiencia emergética, bajo la afirmación de Odum, 1996, que conceptualiza que la menor emergía específica es una medida de mayor eficiencia, los resultados demostraron que PA 1980 utilizó menos recursos para producir una unidad (g) de algodón en bruto por hectárea, mostrando ser más eficiente en el uso de los recursos renovables y no renovables (PA 1980 = 3,86E+09 y PA 2018 = 5,54E+09 sej/gramo de algodón producido). La tendencia hacia el incremento de emergía específica en sistemas productivos en la agricultura moderna (entendiendo por esta, a los sistemas con dependencia de alta tecnificación, intensificación y dependencia de servicios e insumos externos), fue observado en varios trabajos (Rotolo, 2014, Lou y Ulgiati, 2013). Los valores de emergía específica en la producción de soja, (Rotolo et al., 2014), fueron inferiores a los valores de algodón. No obstante, ambos cultivos mostraron la misma tendencia, incrementos en su emergía específica a lo largo del tiempo, con incrementos de 35% para soja y 40% para algodón, en cada serie de años analizados.

Si bien la eficiencia emergética (es decir eficiencia en la utilización del soporte ambiental) disminuyó, los sistemas mostraron mayor eficiencia en términos de productividad; mostrando incrementos en kilogramos de algodón en bruto generados por hectárea (90%) con aumentos en los ingresos de USD/ha de 187%, conforme a las innovaciones tecnológicas aplicadas y analizadas anteriormente. Si bien los costos para

la producción del algodón tendieron a incrementarse (90%), las ganancias también lo hicieron. Los principales insumos que aportaron al incremento de los costos fueron la semilla, agroquímicos y combustible, pero a su vez también son los que explicarían el aumento en la productividad.

Así, los resultados señalan que la producción de algodón mediante el uso más intensivo de insumos y servicios externos, con mayores aportes recursos provenientes de la economía al sistema son más eficientes en términos de productividad (kg/ha), pero menos sostenibles en base emergética al disminuir su dependencia de los flujos de los recursos naturales renovables. En este sentido, coincidiendo con la situación local y del país, Lou y Ulgiati (2013) analizaron el crecimiento económico chino mediante indicadores emergéticos (dado que el crecimiento económico de este país, afecta la economía mundial) y de similar modo a lo expuesto en este trabajo, la tendencia observada fue que los indicadores ambientales desmejoran, dado el mayor uso de recursos no renovables, mientras que los índices económicos son cada vez mejor. Ferreyra (2001) también refiere a los aumentos en la productividad del sector agrícola en la zona núcleo de Argentina, mediante el aumento de la dependencia en insumos externos de energía, proviniendo ésta cada vez más de la innovación tecnológica extranjera, y afirma que, en este contexto, las políticas hacia el sector agrícola deberían fomentar la agricultura sostenible mediante no solo la adaptación de tecnología extranjera a las condiciones locales, sino también hacia nuevas alternativas. En un mismo sentido, Martin et al. (2006) sustentan que la dependencia de energías no renovables para la obtención de mayores rindes puede ser una alternativa a utilizar cuando las energías renovables no están fácilmente disponibles; sin embargo, cuando las energías no renovables ya no estén disponibles o estén muy restringidas los modos de producir deberán replantearse, para poder lograr obtener un flujo limitado pero disponible de recursos para la producción.

Los datos expuestos en este trabajo, parecen sugerir que los mayores rendimientos e ingresos logrados en la producción de una hectárea de algodón en PA2018, en comparación a los otros años, se logran a expensas de una menor sostenibilidad, y menor aprovechamiento de los recursos que provee el ecosistema natural tal como lo expresan los indicadores emergéticos.

La metodología emergética permitió visibilizar el soporte ambiental para los sistemas productivos de algodón, complementándola con un análisis económico de la

productividad y rentabilidad, demostrando aspectos que la valoración económica no los tiene en cuenta en coincidencia con Odum, 1996, y otros trabajos publicados (Rótolo et al., 2010; Brown y Cambell, 2007; De Groot, 2007; Cuadra y Rydberg, 2006; Ferreyra, 2001). En este estudio la evaluación económica de los sistemas, proyecta buena performance para los sistemas analizados en el tiempo, no obstante, mediante la metodología emergética se puede valorar que el desempeño y la eficiencia productiva de profundizar las tendencias hacia la intensificación agrícola, de la mano de mayores recursos externos no renovables podrían poner en mayores riesgos la sostenibilidad de los mismos a largo plazo. Los resultados del desempeño ambiental de la producción del algodón, coinciden con muchas otras evaluaciones de sistemas productivos, (Zhang et al., 2016; Rótolo et al., 2015b y c; Lou y Ulgiati, 2013; Tow et al., 2011; Barros et al., 2009; Rótolo et al., 2007; Martín et al., 2006; Cheng et al., 2006; Cuadra y Rydberg, 2006) que señalan que los mayores rendimientos o productividad lograda, está en estrecha vinculación y son el resultado de grandes inversiones en insumos de alta calidad de recursos no renovables. Esto a su vez, reduce las fracciones de recursos renovables y aumenta el riesgo de degradación ambiental. De este modo la producción sostenible agrícola u otras, dependerían de cambios en el modelo de producir en relación al uso equilibrado entre las fuentes de entradas de los recursos renovables versus no renovables como así también recursos disponibles localmente versus los proveniente de la economía externa.

#### **5.4 Reflexiones finales**

A modo de síntesis, los resultados de esta tesis, ratifican el planteamiento de las hipótesis iniciales. Se corrobora que las transformaciones tecnológicas se orientan a la intensificación productiva, dada por un cambio gradual en los patrones de consumo de recursos externos al sistema, con mejores rendimientos logrados por unidad de superficie. Esta intensificación implica la simplificación de los sistemas, de la mano de la conversión de tecnología de procesos por tecnologías de insumos, aún habiendo mejorado muchos aspectos de las prácticas agronómicas aplicadas. La tendencia a través de los periodos analizados, indica mayor uso de emergía proveniente de recursos externos, no renovables por sobre los recursos gratuitos, renovables y disponibles localmente, y esto, puede provocar impactos no deseados, creando la necesidad de la incorporación de nuevos insumos para compensar dichos desequilibrios, además de incentivar el desarrollo de las regiones y sociedades ajenas a donde se realiza la producción, es decir de donde provienen

esos recursos externos. Un análisis complementario de las externalidades en lo social y lo ambiental de estas innovaciones tecnológicas sobre los sistemas productivos, sumarían información sobre el impacto a los recursos naturales contribuyendo, en conjunto, a arbitrar estrategias y manejos para el uso racional y la conservación de los recursos naturales para el sustento de las generaciones futuras.

La metodología permitió evaluar los cambios temporales en el desempeño ambiental de la producción del algodón en bruto, la caracterización lograda de cada año en particular, sirvió para captar los grandes cambios y variaciones en el uso de los recursos naturales y antrópicos. Los indicadores emergéticos demostraron el desempeño ambiental de los sistemas productivos. La evaluación emergética permite visibilizar y contabilizar el aporte de los servicios ecosistémicos y el soporte ambiental a la producción de energías, fibras y alimentos, provee un análisis integral, superador de las metodologías convencionales, que carecen de un enfoque sistémico.

Así, a partir de estos resultados, se desprenden algunos planteos y posibles acciones para complementar este estudio, como así también se visualizan aspectos de mejoras a considerarse en los sistemas productivos:

-Los datos aquí obtenidos pueden ser insumos para proyectos de investigación, redes y plataformas de trabajos sobre Emergías, aportando a bases de datos y sistemas software, donde a través de programas de simulación y modelado puedan prosperar sobre diagnósticos y análisis de impactos en los sistemas socioecológicos con énfasis en sistemas productivos agropecuarios; velando por la sustentabilidad de los mismos. La base de datos utilizada para el presente análisis también puede ser utilizada para continuar con estudios de ACV, reunir datos con información de otros estudios en emergía aplicados a la producción agrícola.

-Complementando estos resultados, resulta de gran interés priorizar líneas de investigación en generación y aplicación de fuentes renovables de energías en los sistemas productivos agrícolas, en el aprovechamiento de recursos renovables o en la generación de sistemas mixtos agrícola-ganaderos integrados, donde los residuos de un subsistema se transforman en insumos para otro, con el objetivo de disminuir las cantidades de insumos externos de los sistemas actuales. De este modo, se contribuiría a la mitigación de las tendencias demostrada por los indicadores, mejorando eficiencias y la sostenibilidad a largo plazo.

-Así también, la información reunida en esta tesis, visibiliza y marca una serie de aspectos posibles de modificar a escala de producción primaria en los manejos agropecuarios. De este modo, y otra línea de trabajo podría vincularse a iniciativas que apunten a sistemas de seguimiento y toma de datos de los procesos productivos, antes, durante y post implantación del cultivo, (pautas de manejo, detalladas, identificadas y anotadas) que permitirán visibilizar y adecuar de manera óptima las decisiones agronómicas a tomar, y mejorar algunas de las tendencias señaladas por los indicadores emergéticos. En este sentido, se debe promover el fortalecimiento de la cadena organizacional, para el logro de la aplicación a programas tales como Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), iniciativas de Agregado de Valor en Origen o Estrategias de Trazabilidad aplicadas a la producción. Estas opciones, facilitan y además demuestran el manejo de los recursos aplicados a la producción del algodón y tienden a lograr un manejo racional de los mismos.

-Finalmente, complementando a los planteos antepuestos, la suma de las iniciativas planteadas, y los datos aportados por los indicadores ambientales y económicos de esta tesis podrán contribuir a generar redes y plataformas con información local y regional para bases de datos sobre la gestión ambiental de los recursos naturales vinculados con los sistemas productivos, sean estos de algodón u cultivos regionales. Bases de datos que puedan aportar información dirigida a quienes formulan marcos regulatorios o decisores de políticas vinculados a la gestión ambiental integral de los territorios y las sociedades.

## Conclusiones

- La evaluación emergética permitió identificar los cambios temporales acontecidos en el desempeño ambiental y productivo de la producción del algodón en bruto, en los periodos de estudio seleccionados. Las tendencias observadas mediante esta investigación aportan datos con bases científicas para actuar en la planificación y adecuación de los manejos en los sistemas productivos.
- Se logró exhibir, visibilizar y contabilizar la contribución de los recursos naturales, bienes y servicios del sistema natural y antrópico disponibles para la producción del algodón en bruto; junto a sus variaciones en relación a las tecnologías implementadas en cada año en los sistemas productivos de algodón.
- En los sistemas productivos de algodón en 2000 y 2018, las prácticas agronómicas contribuyeron a mejoras en los rendimientos, en la conservación de suelos y reducción de combustible fósil, no obstante, tendrían menor capacidad o habilidad para utilizar los recursos renovables en función de los incrementos en los insumos externos invertidos. La tendencia al mayor uso de recursos externos al sistema y no renovables (principalmente herbicidas y fertilizantes) por sobre los recursos gratuitos, renovables y disponibles localmente, puede provocar impactos no deseados, creando la necesidad de la incorporación de nuevos insumos externos para compensar dichos desequilibrios, favoreciendo un bucle sin fin de incremento de insumos.
- El uso mas intensivo de insumos y servicios externos, con mayores aportes de energías provenientes de la economía al sistema, lograron mayores eficiencias en términos de productividad (kg/ha), (PA 2000 y 2018) pero son considerados menos sostenibles al disminuir su dependencia de los flujos de recursos naturales renovables y aumentarla de los recursos importados.
- El sistema productivo de algodón en 1980 mostró la mayor eficiencia emergética, invirtiendo menor cantidad de energía por cada gramo de algodón generado, mientras que la producción en 2018 fue quien requirió mayor soporte emergético para la producción de un gramo de algodón. Así mismo, en 2018 se observó una

disminución de energía por ingreso (U/USD), dado que la producción está dada por un mayor soporte de insumos externos. De este modo, si bien aumentó la productividad y el ingreso, la diferencia en el uso total de energía por unidad de dinero obtenido, entre 1980 y 2018 fue del 5%, indicando que la inversión tecnológica e intensificación, no necesariamente estaría beneficiando el desarrollo local o el del productor. No obstante, los tres sistemas mostraron beneficios económicos, lo cual es coyuntural porque depende del humor del mercado.

- Mediante el análisis de la evolución en el uso de los recursos y los indicadores energéticos, se logra detectar aspectos críticos que permitan acciones de mejoras en los sistemas productivos; como así también aspectos positivos en la evolución de las tecnologías aplicadas. Los valores del índice de sustentabilidad en los sistemas actuales (PA 2000 y 2018) mostraron una disminución, por parte de los sistemas en su habilidad para utilizar los recursos renovables y una relativamente mayor carga ambiental generada, por mayor cantidad de recursos no renovables invertidos en los sistemas, hecho que no contribuiría a la sustentabilidad de los mismos a largo plazo.
- La evaluación energética presenta un enfoque sistémico, que tangibiliza el aporte del sistema natural a los sistemas productivos. La integración de los resultados obtenidos por la misma, junto a los indicadores económicos permite una lectura completa, revelando aspectos no contemplados por cada método por si solo.

## Referencias Bibliográficas

- ABELLEYRA, D., BANCHERO, S., VERÓN, S., MOSCIARO, J., VOLANTE, J. (2019). Mapa Nacional de Cultivos. Campaña 2018/2019. Ediciones INTA. <http://www.geointa.inta.gob.ar/2019/09/10/mapa-nacional-de-cultivos-campana-20182019>.
- ADÁMOLI, J., GINZBURG, R., TORRELLA, S., & HERRERA, P. (2004). Expansión de la frontera agrícola en la región chaqueña: el ordenamiento territorial como herramienta para la sustentabilidad. *Gerencia ambiental*, 11(112), 810-6.
- AIZEN, M., GARIBALDI, A., & DONDO, M. (2009). Expansión de la soja y diversidad de la agricultura argentina. *Ecología austral*, 19(1), 45-54.
- ALAVEZ, V., VEGA, M., TERÁN, A. H., ESCALANTE, A. E., & WEGIER, A. (2019). Enfrentando el reto de evaluar los daños ambientales ocasionados por organismos genéticamente modificados. *Antropización: primer análisis integral*, ibunam, conacyt, 125-148.
- ALMADA, M., SOSA, M., & GONZÁLEZ, A. (2012). Araneofauna (Arachnida, Araneae) en cultivos de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) transgénicos y convencionales en el Norte de Santa Fe, Argentina. *Rev. Biol. Trop.* 60 (2): 611-623.
- ALMADA, M., SOSA, M. (2012). Cambios temporales de la artropodofauna asociada a cultivos de algodón genéticamente modificados. 25° Reunión Argentina de Ecología RAE 2012. Luján. Universidad Nacional de Luján. Septiembre de 2012
- ALMADA, M. (2019). Algodón Bt: Aplicando nuevas herramientas para su evaluación. *Revista APPA*, N° 18. Año 2018.
- ALLEGRETTI, G., TALAMINI, E., SCHMIDT, V., BOGORNI, P., & ORTEGA, E. (2018). Insect as feed: An emergy assessment of insect meal as a sustainable protein source for the Brazilian poultry industry. *Journal of Cleaner Production*, 171, 403-412.
- ALTIERI, M. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 74, 19-31
- ALTIERI, M. (1999). Bases científicas para una agricultura sustentable. Nordan Comunidad. Montevideo. 1999. 338.
- ALTIERI, M. A., HECHT, S., LIEBMAN, M., MAGDOFF, F., NORGAARD, R., & SIKOR, T. O. (1999). Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Nordan-Comunidad.
- ALTIERI, M. A., & NICHOLLS, C. I. (2002). Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)* No. 64 p.
- ANDOW, D., & ZWAHLEN, C. (2006). Assessing environmental risks of transgenic plants. *Ecology letters*, 9(2), 196-214.
- ANDRADE, F. (2016). Los desafíos de la agricultura. International Plant Nutrition Institute, 1a ed. 2016. ISBN 978-987-46277-0-4. 136 p.

- ANDRADE, F., TABOADA, M., LEMA, D., MACEIRA, N., ECHEVERRIA, H., POSSE BEAULIEU, G., ...& GAMUNDI, J. C. (2017). Los desafíos de la agricultura argentina: satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental. Ediciones INTA.
- APARICIO, V., DE GERÓNIMO, E., GUIJARRO, K., PEREZ, D., PORTOCARRERO, R., ...& VIDAL, C. (2015). Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente. INTA Ediciones, Argentina, 1-74.
- APPA. (2000). Asociación para la Promoción de la Producción del Algodón. Datos campaña Agrícola 1999/2000. Registros y Estadísticas.
- APPA. (2018). Asociación para la Promoción de la Producción del Algodón. Datos campaña Agrícola 2017/2018. Registros y Estadísticas.
- ARIAS, D. (1977). Manual de prácticas para el Cultivo del Algodón. Área de Secano. INTA R. S. PEÑA. 44.
- ARPIGIANI, D. (2014). Sustentabilidad de los Sistemas Productivos tradicionales y modernos del chaco Semiárido: Un abordaje desde la Síntesis Emergética. Universidad de Buenos Aires.
- ASOCIACION COOPERADORA DEL INTA RECONQUISTA. Campañas agrícolas 1979/1980; 1999/2000 y 2017/2018. Registros contables y Estadísticas.
- AVILA, K., CHAPARRO GIRALDO, A., & REYES, G. (2011). Environmental effect of conventional and GM crops of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and corn (*Zea mays* L.). *Agronomía Colombiana*. 29(3), 341-348.
- BALVANERA, P., & COTLER, H. (2007). Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta ecológica*, (84-85), 8-15.
- BARRAL, J., & ZAGO, L. (1980). Programa para el Manejo Integrado de Insectos y Ácaros en Algodón. Boletín N° 71. R.S.PEÑA, Chaco. INTA. 49.
- BASTIANONI, S., & MARCHETTINI, N. (2000). The problem of co-production in environmental accounting by emergy analysis. *Ecological Modelling*, 129(2-3), 187-193.
- BASTIANONI, S., MARCHETTINI, N., PANZIERI, M., & TIEZZI, E. (2001). Sustainability assessment of a farm in the Chianti area (Italy). *Journal of Cleaner Production*, 9(4), 365-373.
- BEVILACQUA, M., CIARAPICA, F., MAZZUTO, G., & PACIAROTTI, C. (2014). Environmental analysis of a cotton yarn supply Chain. *Journal of Cleaner Production*. 82, 154-165.
- BONGIOVANNI, R., & TUNINETTI, L. (2018). Análisis del Ciclo de Vida de un jean producido en Argentina. *LALCA-Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida*, 2(1), 9-34.
- BRACH, A. (2006). Monitoreo de malezas en el cultivo de algodón. Memorias de la Tercera Reunión Anual del Proyecto Nacional Algodón. Avances, Conclusiones y proyección futura.

- BRANDT, J., CHRISTENSEN, A. A., SVENNINGSSEN, S. R., & HOLMES, E. (2013). Landscape practise and key concepts for landscape sustainability. *Landscape Ecology*, 28(6), 1125-1137.
- BROWN, M., & HERENDEEN, R. (1996). Embodied energy analysis and EMERGY analysis: a comparative view. *Ecological economics*, 19(3), 219-235.
- BROWN, M., & ULGIATI, S. (1999). Emery evaluation of the biosphere and natural capital. *Ambio* 28 (6), 486-493.
- BROWN, M., BRANDT-WILLIAMS, S., TILLEY, D., & ULGIATI, S. (2000). Emery Synthesis: an introduction. En: Brown, M.T. (Ed.) *Emery Synthesis: Theory and Applications of the Emery Methodology*. Proceedings from the First Biennial Emery Analysis Research Conference, Centre for Environmental Policy, Gainesville, Fl. 1999 1-14.
- BROWN, M., & BARDI, E. (2001). *Handbook of Emery Evaluation. Emery of Ecosystems. Folio 3*. Center for Environmental Policy. Environmental Engineering Sciences. University of Florida, Gainesville, USA.
- BROWN, M., & ULGIATI, S. (2004, a). Energy quality, emery, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling*. 178, 201-213.
- BROWN, M., & ULGIATI, S. (2004, b). Emery analysis and environmental accounting. *Encyclopedia of Energy*. Elsevier Inc. 2, 329-354.
- BROWN, M. T., PROTANO, G., & ULGIATI, S. (2011). Assessing geobiosphere work of generating global reserves of coal, crude oil, and natural gas. *Ecological Modelling*, 222(3), 879-887.
- BROWN, M. T., CAMPBELL, D. E., DE VILBISS, C., & ULGIATI, S. (2016). The geobiosphere emery baseline: a synthesis. *Ecological Modelling*, 339, 92-95.
- BRYMAN, A. (2012). *Social Research Methods (4th ed.)*. New York: Oxford University Press.
- BUENFIL, A. A. (2001). Emery evaluation of water (Doctoral dissertation, University of Florida).
- CABRERA, A. (1994). Regiones Fitogeográficas Argentinas. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Tomo II. Fascículo 1. Ed. ACME Buenos Aires. Argentina. 85.
- CAMARA ARGENTINA ALGODONERA. (2000 y 2018). Editoriales a cargo del Presidente de la CAA. I.S.S.N. 0236 – 1581.
- CAMPBELL, E., & BROWN, M. (2009). Emery synthesis of natural capital and environmental services of the United States Forest Service system. *Emery Synthesis*. 5, 65-86.
- CANTRELL, R. G. (2006). The role of biotechnology in improving the sustainability of cotton. In 65th Plenary Meeting, Brazil.

- CARREÑO, L., & VIGLIZZO, E. (2007). Provisión de servicios ecológicos y gestión de los ambientes rurales en Argentina. Ediciones INTA. Buenos Aires. Argentina. 68.
- CASAFE. Guía de Productos Fitosanitarios 2013 – 2015. (2013). Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (CASAFE), 16, 1185.
- CAVALETT, O., QUEIROZ, J., & ORTEGA, E. (2006). Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling*. 193(3-4), 205-224.
- CAVALETT, O., & ORTEGA, E. (2010). Integrated environmental assessment of biodiesel production from soybean in Brazil. *Journal of Cleaner Production*. 18, 55-70.
- CHAUDHRY, M., & GUITCHOUNTS, A. (2003). Cotton facts. Washington, DC, USA: International Cotton Advisory Committee. US. 2003. xv, 158.
- CHEN, G., JIANG, M., CHEN, B., YANG, Z., & LIN, C. (2006). Emergy analysis of Chinese agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 115 (1-4), 161-173.
- CHENG, H., CHEN, C., WU, S., MIRZA, Z. A., & LIU, Z. (2017). Emergy evaluation of cropping, poultry rearing, and fish raising systems in the drawdown zone of Three Gorges Reservoir of China. *Journal of cleaner production*, 144, 559-571.
- CHEN, W., GENG, Y., DONG, H., TIAN, X., ZHONG, S., WU, Q., Y LI, S. (2018). An emergy accounting based regional sustainability evaluation: A case of Qinghai in China. *Ecological indicators*, 88, 152-160.
- CHERRETT, N., BARRETT, J., CLEMETT, A., CHADWICK, M., & CHADWICK, M. J. (2005). *Ecological Footprint and Water Analysis of Cotton, Hemp, and Polyester*, Stockholm Environmental Institute. Vasa. 39, 22 pp.
- COMINIELLO, S. (2012). Cambios en los procesos de trabajo en la producción de cereales y oleaginosas, Argentina, 1970-2007. In VII Jornadas de Sociología de la UNLP, 2012 La Plata, Argentina. Argentina en el escenario latinoamericano actual: Debates desde las ciencias sociales. UNLP. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación.
- CONABIA. Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria. (2015). Eventos con autorización comercial. [http://www.minagri.gob.ar/site/agregado\\_de\\_valor/biotecnologia/55OGM\\_COMERCIALES/index.php](http://www.minagri.gob.ar/site/agregado_de_valor/biotecnologia/55OGM_COMERCIALES/index.php)
- CONINAGRO, (2018). Informe técnico N° 7: Economías regionales: Algodón. Área Economía. <http://www.coninagro.org.ar/DocsVarios/Informes/2018-02-Algodn.pdf>
- CONSTANZA, R., & PATTEN, B. (1995). Defining and predicting sustainability. *Ecological economics*. 15(3), 193-196.
- CONSTANZA, R., & MAGEAU, M. (1999). What is a healthy ecosystem? *Aquatic ecology*, 33(1), 105-115.
- CRACOGNA, M., SOSA, M., GREGORET, O., MARTINEZ, O., FOGAR, M., SIMONELLA, M., & MONDINO, M. (2011). Guía de manejo del cultivo de

- algodón con presencia zonal de picudo *Anthonomus grandis* Boheman. Ediciones INTA. CR Chaco Formosa y CR Santa Fe Argentina.
- CRUDELLI, L (1980). Algodón, que será de ti. En revista Oro Blanco. Fiesta Nacional del Algodón Avellaneda. Ed. Braidot Victor.
- CUADRA, M., & RYDBERG, T. (2006). Emergy evaluation on the production, processing and export of coffee in Nicaragua. *Ecological Modelling*. 196 (3-4), 421-433.
- DAGISTAN, E., AKCAOZ, H., DEMIR TAS, B., & YILMAZ, Y. (2009). Energy usage and benefit-cost analysis of cotton production in Turkey. *African Journal of Agricultural Research*. 4(7), 599-604.
- DALY, H. E. (1990). Toward some operational principles of sustainable development. *Ecological economics*. 2(1), 1-6.
- DE BARROS, I., BLAZY, J., RODRIGUES, G., TOURNEBIZE, R., & CINNA, J. (2009). Emergy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 129(4), 437-449.
- DE BARROS, I., PACHECO, E., & LEMOS DE CARVALHO, H. (2017). Integrated Emergy and Economic Performance Assessments of Maize Production in Semiarid Tropics: Comparing Tillage Systems. *Journal of Environmental Accounting and Management*, 5(3), 211-232.
- DE GROOT, R. S., WILSON, M. A., & BOUMANS, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408.
- DE GROOT, E., & GÓMEZ-BAGGETHUN, E. (2007). Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas: Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 16(3), 1.
- DE ORELLANA J., & M. PILATTI. (1994). La Estabilidad de Agregados como Indicadores edáficos de Sostenibilidad. *Ciencia del Suelo*, 2: 75-80.
- DECLARACIÓN ESTOCOLMO (1972). Aprobada el 16 de junio de 1972 por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente. *Revue Internationale de la Croix-Rouge (RICR)*, 648.
- DELSSÍN, E. (2003). El algodón en Santa Fe. Una historia ligada al desarrollo. *Publicación Miscelánea N° 13*. Ediciones INTA. Argentina. 52.
- DELSSÍN, E. (2005). Algodón: consideraciones sobre la oferta en Argentina. *Publicación Técnica N° 25*. Ediciones INTA 31.
- DELSSÍN, E. (2006). De innovaciones y paradigmas: la cosechadora “Javiyú”. En revista *Voces y Ecos*. Año VIII. N° 17. 2006. Ediciones INTA. 28.
- DELSSÍN, E., & PIEDRA, D. (2006). Jornada algodонера y presentación de la “Javiyú”. En revista *Voces y Ecos*. Año VIII. N° 17. 2006. Ediciones INTA. 48.

- DELSIN, E. (2011). Innovaciones tecnológicas para el desarrollo sostenible de la cadena de valor del algodón en Argentina. Centro Regional Chaco Formosa, Argentina.
- DELSÍN, E. (2013). Tendencias algodoneras en Argentina. Análisis desde un enfoque prospectivo de los principales parámetros que definen la actividad. Ediciones INTA. 79pp.
- DELSÍN, E. (2015). Pronóstico de estabilidad en la producción mundial de algodón. INTA, Argentina.
- DILEO, P., SCARPIN, G., WINKLER, M., ROESCHLIN, R., LONGHI, T., & PAYTAS M. (2018, a). Evaluación de genotipos de algodón en dos ambientes con oferta hídrica diferencial. APPA, AÑO 18. N° 18.
- DILEO, P., WINKLER, M., SCARPIN, G., ROESCHLIN, R., & PAYTAS M. (2018, b). Biotecnología aplicada al mejoramiento genético. APPA, AÑO 18. N° 18.
- EDGE, J. M., BENEDICT, J. H., CARROLL, J. P., & REDING, H. K. (2001). Bollgard cotton: an assessment of global economic, environmental, and social benefits.
- EKINS, P. (1993). Limits to growth' and 'sustainable development': grappling with ecological realities. *Ecological Economics*. 8(3), 269-288.
- ELENA, G., IMFELD, E., PASICH, L., RICCIARDI, A., & RUSSO, J., (2000) Estudio de la cadena nacional agroindustrial algodón de la republica argentina. EEA Sáenz Peña (Chaco). INTA. 80.
- ELENA, G.; ÍBALO, S., & GESUALDO, E. (2006). Evaluación económica de prácticas de manejo de algodón. Chaco, EEA Sáenz Peña. Avances. Conclusiones y Proyección futura. 3° Reunión Anual. Ediciones INTA. Argentina. 235.
- ELENA, G., YBRAN, R., & LACELLI, G. (2008, a). Evaluación económica de alternativas de sistemas de siembra y cosecha de algodón en Santa Fe y Chaco. En: Bongiovani (Ed), *Economía de los cultivos industriales: algodón, caña de azúcar, maní, tabaco, té y yerba mate*. Ediciones INTA, Argentina, 2008. 5-9.
- ELENA, M. G., PIEDRA, D., & D'ANGELO, M. (2008, b). Cadena agroindustrial del algodón. En: Bongiovani (Ed), *Economía de los cultivos industriales: algodón, caña de azúcar, maní, tabaco, té y yerba mate*. Ediciones INTA, Argentina, 2008. 11-16.
- ESTACIÓN METEOROLÓGICA INTA RECONQUISTA Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/estacion-meteorologica-reconquista> . Base de datos desde 1960.
- FAO. (2007). FOASTAT Cotton yields. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. <http://faostat.fao.org/site/567/>
- FAO. (2016). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Base de datos Aquastat. [www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html)
- FAO. (2017). FAO y los ODS. Indicadores: Seguimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Disponible en: [www.fao.org](http://www.fao.org).

- FAO. (2017). Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura El futuro de la alimentación y la agricultura: Tendencias y desafíos. Vías alternativas hacia el 2050. <http://www.fao.org/publications/fofa/es>
- FERNANDEZ, H. (2017). Campaña Algodonera 2017/2018. Perspectivas para la superficie de siembra. En revista de la Cámara Algodonera Argentina. [www.camaraalgodonera.com.ar](http://www.camaraalgodonera.com.ar)
- FERNANDEZ-CORNEJO, J., & CASWELL, M. F. (2006). The first decade of genetically engineered crops in the United States. USDA-ERS Economic Information Bulletin, 11.
- FERRARO, D., & BENZI, P. (2015). A long-term sustainability assessment of an Argentinian agricultural system based on emergy synthesis. Ecological modelling, 306, 121-129.
- FERREYRA, C. (2001). Emergy perspectives on the Argentine economy and food production systems of the rolling pampas during the twentieth century. Thesis presented to the graduate school of the University of Florida in Partial Fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. University of Florida. USA.
- FERREYRA, C. (2006). Emergy analysis of one century of agricultural production in the Rolling Pampas of Argentina. International journal of agricultural resources, governance and ecology, 5(2-3), 185-205.
- FERREYRA, C., & BROWN, M. T. (2007). Emergy perspectives on the Argentine economy during the 20th century: a tale of natural resources, exports and external debt. International journal of environment and sustainable development, 6(1), 17-35.
- Ferreira, Ó. I., Del Pilar Hurtado, M., García, E., Correa, C., Manrique, R., & RAO, I. (2010). Emergía de tres sistemas agroforestales en el sur del municipio de Lempira, Honduras. Acta Agronómica, 59(3), 327-337.
- FONSECA, A., MARQUES, C., PINTO-CORREIA, T., & CAMPBELL, D. (2016). Emergy analysis of a silvo-pastoral system, a case study in southern Portugal. Agroforestry systems, 90(1), 137-157.
- FRANK, R. G. (1977). Costos y administración de la maquinaria agrícola (Vol. 25). Hemisferio Sur.
- GAGO, J., CARRETERO, O., FILGUEIRAS, A., & VIÑAS, L. (2018). Synthetic microfibers in the marine environment: a review on their occurrence in seawater and sediments. Marine pollution bulletin, 127, 365-376.
- GARAY, A., KRAPOVICKAS, J., & MIKKELSEN, C. A. (2017). Transformaciones territoriales en ámbitos rurales del Noroeste Argentino y la Región Pampeana hacia finales del siglo XX e inicios del XXI.
- GARBERS, R., & CHEN, E. (2013). Costos Operativos de Maquinaria Agrícola. (Síntesis básica para su cálculo). Dirección Nacional de Contratistas Rurales e Insumos Agrícolas. Subsecretaría de Agricultura. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

- GARCÍA, I. L. (2007). Los cambios en el proceso de producción del algodón en el Chaco en las últimas décadas y sus consecuencias en las condiciones de vida de minifundistas y trabajadores vinculados. *Revista de estudios regionales y mercado de trabajo*, (3), 111-134.
- GARRATT, J. R. (1992). *The Atmospheric Boundary Layer* Cambridge University Press Cambridge 316.
- GHISELLINI, P., ZUCARO, A., VIGLIA, S., & ULGIATI, S. (2014). Monitoring and evaluating the sustainability of Italian agricultural system. An emergy decomposition analysis. *Ecological Modelling*, 271, 132-148.
- GIORGI, R., TOSOLINI, R., SAPINO, V., VILLAR, J., LEÓN, C., & CHIAVASSA, A. (2008). *Zonificación Agroeconómica de la Provincia de Santa Fe*. Publicación Miscelanea N°110. Ediciones INTA. Argentina. 33 pp.
- GIRALDO, A. C. (2011). Cultivos transgénicos: entre los riesgos biológicos y los beneficios ambientales y económicos. *Acta Biológica Colombiana*, 16(3), 231-251.
- GIUNTA, R., ZALESKY, M., & SONA, G. (2005). Cambios registrados en el sector agropecuario santafesino entre 1988 y 2002. Análisis de las variables más significativas. Ministerio de la Producción. Santa Fe.
- GLAVIC, P., & LUKMAN, R. (2007). Review of sustainability terms and their definitions. *Journal of cleaner production*. 15(18), 1875-1885.
- GOMERO, L., & VELASQUEZ ALCANTARA, H. (2003). Evaluación de la sustentabilidad del sistema de algodón orgánico en la zona de trópico húmedo del Perú. Mundi-Prensa. DF. LEISA. Edición especial. 47-52.
- GONZÁLEZ, A., MÁRQUEZ, A., DOMÍNGUEZ, C., CAÑIZALES, N., & ROJAS, C. (2013). Desarrollo sostenible y procesos de intensificación agrícola: ¿una contradicción? *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 81-90: 31.
- GONZALEZ, A. J. (2015). Evaluación in vitro de materiales de algodón *Gossypium hirsutum* L. en relación a la capacidad de regeneración y respuesta a estrés abiótico. Análisis de variedades comerciales de INTA, líneas avanzadas (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario).
- GORENSTEIN, S., & ORTIZ, R. (2016). La tierra en disputa: agricultura, acumulación y territorio en la Argentina reciente. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/51903>
- GREGORET, O. (2000). El algodón en la provincia de Santa Fe. En revista de la Cámara Algodonera Argentina, 2015. 15 pp.
- GREGORET, O. (2015). El algodón en la provincia de Santa Fe. En revista de la Cámara Algodonera Argentina, 2015. 15 pp.
- GREGORET, O. (2017). El algodón en la provincia de Santa Fe. En revista de la Cámara Algodonera Argentina, 2017. 12 pp.
- GREGORET, O. (2018). El algodón en la provincia de Santa Fe. Campaña algodонера 2017/2018. En revista APPA. 10p. ISSN 2591-3379.

- GRENÓN, D., GALÁN, E., PERNUZZI, F., & GUZMAN, S. (2018). IIRAmb: Avances en el Índice Integrado de Riesgo Ambiental por el uso de plaguicidas en cultivos. In X Congreso de AgroInformática (CAI)-JAIIO 47 (CABA, 2018).
- GROSE, L. (2009). Sustainable cotton production. In Sustainable textiles (pp. 33-62). Woodhead Publishing.
- GVOZDENOVICH, J., BARBAGELATA G., & LOPEZ, G. (2015). Erosión Hídrica USLE-RUSLE Argentina: Herramienta para calcular pérdida de suelo. INTA Paraná. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/erosion-hidrica-usle-rusle-argentina-herramienta-para-calculer-perdida-de-suelo>
- HAU J., & BAKSHI B. (2004). Promise and problems of emergy analysis. Ecological Modelling 178:215
- HENRY, B., LAITALA, K., & KLEPP, I. (2019). Microfibres from apparel and home textiles: Prospects for including microplastics in environmental sustainability assessment. Science of The Total Environment, 652, 483-494.
- HEPBASLI, A., UTLU, Z., & AKDENIZ, R. (2007). Energetic and exergetic aspects of cotton stalk production in establishing energy policies. Energy Policy. 35(5), 3015-3024.
- HINA, T. (2019). Impact of Better Management Practices on Sustainable Cotton Production: Evidence from South Punjab. Journal of Economic Impact, 1(3), 92-97.
- HOUSHYAR, E., WU, X. F., & CHEN, G. Q. (2018). Sustainability of wheat and maize production in the warm climate of southwestern Iran: an emergy analysis. Journal of Cleaner Production, 172, 2246-2255.
- ICAC. (2010). Technical report: World situation of cotton. International Cotton Advisory Comitee. Washington OC, Estados Unidos de América. No. 2. Washington DC, Estados Unidos.
- ICAC. (2017). Technical report: Cotton in the Era of Globalization and Technological Progress. International Cotton Advisory Comitee. Statement of the 76th Plenary Meeting. Washington DC 20006 USA.
- INTA (1979). Servicio Regional de Extensión. Informe Agropecuario campaña 1978/79. EEA Roque Sáenz Peña. Ediciones INTA.
- IÑIGO CARRERA, J. (2000). La producción algodonera del Nordeste Argentino y sus perspectivas en el mercado internacional
- JAKLIČ, T., JUVANČIČ, L., KAVČIČ, S., & DEBELJAK, M. (2014). Complementarity of socio-economic and emergy evaluation of agricultural production systems: The case of Slovenian dairy sector. Ecological Economics, 107, 469-481.
- LACELLI, G. (2003). El tamaño y la competitividad en las empresas agropecuarias del norte santafesino. Informe para extensión N° 75. INTA Reconquista. Ediciones INTA.
- LACELLI, G. (2008). Los riesgos en el cultivo del algodón. Idia XXI. revista de información sobre investigación y desarrollo agropecuario., 8(10).

- LACELLI, G., & DOMÍNGUEZ, J. (2017). Economías de escala en la producción de algodón: relaciones capitalistas y políticas públicas para el agro santafesino. *Saberes*, 9(1).
- LATERRA, P., CASTELLARINI, F., & ORÚE, M. E. (2011). ECOSER: Un protocolo para la evaluación biofísica de servicios ecosistémicos y la integración con su valor social. *Valoración de Servicios Ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 359-89.
- LEFROY, E., & RYDBERG, T. (2003). Emery evaluation of three cropping systems in southwestern Australia. *Ecological Modelling*, 161(3), 195-211.
- LEWIS, J., & PIRE, E. (1981). La vegetación de la República Argentina. Reseña sobre la vegetación del Chaco Santafesino. Serie Fitogeográfica N° 18. Pág. 31  
LEWIS, J.P. 1981. La vegetación de la provincia de Santa Fe. *GAEA*, 9:121-148.
- LIU, Z., WANG, Y., GENG, Y., LI, R., DONG, H., XUE, B., & WANG, S. (2019). Toward sustainable crop production in China: An emergy-based evaluation. *Journal of cleaner production*, 206, 11-26.
- LOMAS HUERTAS, P. (2009). Aportaciones de la Síntesis Emergética a la Evaluación Multi-Escalar del empleo de los Servicios de los Ecosistemas a través de casos de estudio. Tesis Doctoral. Departamento de Ecología. Universidad Autónoma de Madrid 2009. 1-245.
- LÓPEZ M.V., PAIZ, D., PAYTAS, M. (2016) Proyecto Colaborativo: Test de Trazabilidad Algodón 100% de Santa Fe. En: Revista APPA. Asociación para la promoción de la Producción Algodonera. N° 16. 42 pp. 2016.
- LOU, B., & ULGIATI, S. (2013). Identifying the environmental support and constraints to the Chinese economic growth. An application of the Emery Accounting method. *Energy Policy*, 55, 217-233.
- MAGLIANO SILLON, M., ARREGUI, C., MENAPACE, P., PERNUZZI, F., ARNOLD, M., CRACOGNA, M., & VITTI, D. (2015). Estudio del riesgo del impacto ambiental de los herbicidas más utilizados en el cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum*) y girasol (*Helianthus annuus*) en la región norte de Santa Fe y Santiago del Estero. In Congreso de la ALAM. 22. Congreso de la ASACIM. 1. Setiembre 2015.
- MAKHDUM, A. H., KHAN, H. N., & AHMAD, S. (2011, February). Reducing cotton footprints through implementation of better management practices in cotton production; a step towards Better Cotton Initiative. In *Proceedings of the Fifth Meeting of the Asian Cotton Research and Development Network*, Lahore, Pakistan (pp. 23-26).
- MANCINI, F., TERMORSHUIZEN, A., JIGGINS, J., & VAN BRUGGEN, A. (2008). Increasing the environmental and social sustainability of cotton farming through farmer education in Andhra Pradesh, India. *Agricultural Systems*. 96(1-3), 16-25.
- MANUEL-NAVARRETE, D., GALLOPÍN, G. C., BLANCO, M., DÍAZ-ZORITA, M., FERRARO, D., HERZER, H., ... & PIÑEIRO, M. (2005). Análisis sistémico de la

- agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extra pampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. CEPAL. Serie Medioambiente. 118. 65 p.
- MARTIN, J., DIEMONT, S., POWELL, E., STANTON, M., & LEVY-TACHER, S. (2006). Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 115(1), 128-140.
- MARTINEZ ALIER, J., JUSMET, J., & SÁNCHEZ, J. (1998). Economía ecológica. Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental.
- MARVUGLIA, A., BENETTO, E., RIOS, G., & RUGANI, B. (2013). SCALE: Software for CALculating Emergy based on life cycle inventories. *Ecological modelling*, 248, 80-91.
- MATLOCK, M., THOMAS, G., NUTTER, D., & COSTELLO, T. (2008). Energy Use Life Cycle Assessment for Global Cotton Production Practices. *Energy*.
- MATLOCK, M., THOMA, G., NUTTER, D., & COSTELLO, T. (2014). Energy Use Life Cycle Assessment for Global Cotton Production Practices. Final Report. Cotton Incorporated; University of Arkansas Division of Agriculture. 2008.
- MEBRATU, D. (1998). Sustainability and sustainable development: historical and conceptual review. *Environmental Impact Assessment Review*. 18(6), 493-520.
- MEILLAUD F., GAY, J. & BROWN M. (2005). Evaluation of a building using the emergy method. *Solar energy*, 79(2), 204-212.
- MEN, X., GE, F., LIU, X., & YARDIM, E. (2003). Diversity of arthropod communities in transgenic Bt cotton and nontransgenic cotton agroecosystems. *Environmental Entomology*, 32(2), 270-275.
- MENAPACE, P., CRACOGNA, M., VITTI, D., GRENON, D., SANCHEZ, D., ARNOLD, M., & MAGLIANO SILLON, M., (2015). Estudio del riesgo del impacto ambiental de los fitosanitarios más utilizados en el cultivo de algodón en el norte de la provincia de Santa Fe. Jornadas Fitosanitarias Argentinas. Octubre de 2015. Santa Fe. AR.
- MIERES, L., SZWARC, D., ALMADA, M., VITTI, D., SOSA, M., PAYTAS, M., SAGER, M., BIANCHI, E. & SAGER, G. (2015). Análisis integral de la producción del algodón en la zona de influencia de los Bajos Submeridionales. En *Revista APPA* 2015. Año 15 N° 15. 28p.
- MIERES, L. (2017). Agricultura intensificada en siembra directa y convencional en el norte de Santa Fe. En Salvaggiotti, F; Kruger, H y Studdert, G. (2017). *Ensayos de larga duración en Argentina: un aporte al logro de Sistemas Agrícolas Sustentables*. Colección Recursos. Ediciones INTA. 83.
- MIERES, L., & MARANO, R. (2010). Respuesta productiva del cultivo de girasol (*Helianthus annuus*) a riego suplementario en el NE santafesino. IV Jornadas Riego y Fertirriego. Mendoza, Argentina.

- MIERES, L., SCARPIN, G., & PAYTAS, M. (2019). Cultivo de servicio y fertilización a la siembra de algodón. En Revista APPA, 2019. 40p. ISSN 2591-3379.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA DE LA NACIÓN. (2018). Estimaciones Agrícolas. <https://datos.agroindustria.gob.ar/dataset/estimaciones-agricolas>
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA (2018). Tabla de Conversiones Energéticas. Disponible en <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3622>
- MONDINO, M., & PETERLIN, O. (2005). Efectos de la densidad de plantas sobre la productividad de algodones sembrados en surcos distanciados a 0,50 metros. En Proyecto Nacional de Algodón. Informe de avance N°1. 2° Reunión anual. Ediciones INTA. 2005. P34. 197.
- MONDINO, M., & ARAUJO, L. (2011). Fertilización foliar con nitrato de potasio para mejorar cantidad y calidad de fibra del algodón en surcos estrechos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 8.; COTTON EXPO, 1., 2011, São Paulo. Evolução da cadeia para construção de um setor forte: Anais. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2011.
- MONDINO M. & LOZANO, A. (2015). Ordenamiento espacial de las plantas de algodón y su influencia sobre la evolución de la eficiencia de intercepción de la radiación y el índice de área foliar. En revista Ciencia y Tecnología de los cultivos industriales. Algodón. Año 5. N° 8 – 2015. ISSN 1853 – 7677. 72p.
- MONDINO, M., & KORITKO, L. (2017). Influencia de las fechas de siembra sobre el rendimiento, sus componentes y la calidad de fibra de la variedad de algodón Nuopal RR conducida en diferentes sistemas de producción (Convencional y Estrecho). 1° Congreso Internacional de Algodón. Roque Sáenz Peña, Chaco, Argentina, 27.
- MONTENEGRO, A., PAZ, J., & FERNÁNDEZ, P. (2008). Evaluación de la calidad de fibra de algodón por parámetros tecnológicos y comerciales. Idia XXI. Cultiv. Ind, 8(10), 141-144.
- MORSE, S., BENNETT, R., & ISMAEL, Y. (2006). Environmental impact of genetically modified cotton in South Africa. Agriculture, ecosystems & environment, 117(4), 277-289.
- NAKAJIMA, E., & ORTEGA, E. (2015). Exploring the sustainable horticulture productions systems using the emergy assessment to restore the regional sustainability. Journal of Cleaner Production, 96, 531-538.
- NEAD, NATIONAL ENVIRONMENTAL ACCOUNTING DATABASE (2017/2018). Center for Environmental Policy. University of Florida. <http://www.emergy-nead.com/home>
- OLIVEIRA, M., & AGOSTINHO, F. (2015). Assessing alternative developments for milk production in the southern region of Minas Gerais State, Brazil: an emergy perspective.
- ODUM, H.T. (1983). Systems Ecology: An Introduction. John Wiley, NY. 644.

- ODUM, E.P. (1984). Properties of agroecosystems. In *Agricultural Ecosystem*. R. Lowrance et al. N.Y. Wiley Interscience. 5-11.
- ODUM, H.T. (1996). *Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making*. John Wiley and Sons, New York. 369.
- ODUM, H., BROWN, T., & BRAND-WILLIAMS, S. (2000). *Handbook of Emery Evaluation: Folio # 1. Introduction and Global Budget*. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville.
- ONU-WCED, U. (1987). *Organización de las Naciones Unidas. World Commission on Environment and Development. Our common future*. Oxford University Press.
- PADILLA, E. (2002). *Equidad intergeneracional y sostenibilidad las generaciones futuras en la evaluación de políticas y proyectos*. Universitat Autònoma de Barcelona.
- PAIZ, D. (2009). *Caracterización de los suelos sembrados con algodón. Provincia de Santa Fe. Resumen de actividades Asociación para la Promoción de la Producción Algodonera*, 9:26-31.
- PARUELO, J., GUERSCHMAN, J., & VERÓN, S. (2005). *Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo*. *Ciencia hoy*, 15(87), 14-23.
- PATRIZI, N., NICCOLUCCI, V., CASTELLINI, C., PULSELLI, F. M., & BASTIANONI, S. (2018). *Sustainability of agro-livestock integration: Implications and results of Emery evaluation*. *Science of the Total Environment*, 622, 1543-1552.
- PAYTAS, M. (2010) *Improving cotton yield under water limiting conditions in Argentina*. In: *ICAC Recorder International Cotton Advisory Committee. Vol XXVIII No. 2. 2010*. Washington DC, Estados Unidos.
- PAYTAS, M., & TARRAGO, J. (2011). *Cotton genotypes performance under rainfed and irrigated conditions in two regions of northern Argentina*. In *World Cotton Research Conference-5, Mumbai, India, 7-11 November 2011* (pp. 309-311). Excel India Publishers.
- PAYTAS, M., MIERES, L., REGONAT, A., & GREGORET, O. (2011) *Narrow row cotton: Can we increase yield by enhancing assimilate supply?* En: *Congresso Brasileiro De Algodão, 8; Evolução da cadeia para construção de um setor forte: Anais. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2011. Brasil 1782-1787 pp. Cotton Improvement*. En: *WCRC-5. India*. 309.
- PAYTAS, M. (2012) *Cotton physiology at maturity and defoliation management: ¿getting ready for harvesting?* En: *CONALGODON (Confederación colombiana del algodón) 2012*. Bogotá, Colombia.
- PAYTAS, M.; MIERES, L.; DYKE, F; GREGORET, O., & AGRETTI, S. (2012). *Algodón con riego y fertilización en condiciones subtropicales*. En: *Revista APPA 2012. Año 12. Nº 12*. 30-33.
- PAYTAS, M. (2013) *Cambios en la estructura de la planta de algodón: Efecto de la configuración entre surcos y el estrés hídrico en el rendimiento y sus componentes*. en: *Congresso Brasileiro De Algodão, 9; Brasilia, Brasil*.

- PAYTAS, M., & PLOCHUK, E. (2013) Algodón. En: De La Fuente, E; Gil A.; Kantolil, A. (2013). Cultivos Industriales. Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. Argentina. 835.
- PAYTAS, M. (2013). Los avances tecnológicos en algodón y la importancia de la articulación público privado. Voces y ecos, (30). Ediciones INTA.
- PAYTAS, M., MIERES, L., SZWARC, D., VITTI, D., ALMADA, M., BIANCHI, E., & SAGER, G. (2015). Altibajos de la expansión algodonera hacia nuevas áreas, una mirada retrospectiva. Revista "Voces y Ecos" N° 33. 2-7.
- PAZ, R., LIPSHITZ, H., ZERDA, H., & TIEDEMAN, J. (2015). Estructura agraria, áreas de concentración de la agricultura familiar y procesos de expansión de la frontera agropecuaria en Santiago del Estero, Argentina. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/56727>
- PENGUE, W. (2005). Deuda ecológica con la agricultura: Sustentabilidad débil y futuro incierto en la Pampa argentina. Ecología política, (29), 55-74.
- PENGUE, W. A. (2009). Fundamentos de economía ecológica: bases teóricas e instrumentos para la resolución de los conflictos sociedad naturaleza. KAICRON EDITORIAL. ISBN: 978-987-23841-8-0.
- PENGUE, W., & FEINSTEIN, H. (2013). Desde "Río-20" a "Río+ 20". Pengue & Feinstein (Direc.), Nuevos enfoques de la Economía Ecológica. Lugar (Ed.).
- PENGUE, W. A. (2015). Dinámicas y perspectivas de la agricultura actual en Latinoamérica: Bolivia, Argentina, Paraguay y Uruguay. Santiago de Chile: Ediciones Böll.
- PERTILE, V. (2003). Características sociales del pequeño productor algodonero Chaqueño. Su vulnerabilidad económica. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones científicas y Tecnológicas 2004. Resumen H-002.
- PETERLIN, O. (2006). Proyecto Nacional de Algodón. Balance de resultados logrados y perspectivas futuras. En Proyecto Nacional de Algodón. 3<sup>era</sup> Reunión Anual. Septiembre de 2006. Ediciones INTA. 235.
- PEZZEY, J. (1992). Sustainable Development Concepts: An Economic Analysis. World Bank Environment. Paper Number 2. The World Bank. Washington, D.C. 75.
- PIEDRA, D. (2008). El mercado internacional del algodón. En: Bongiovani (Ed), Economía de los cultivos industriales: algodón, caña de azúcar, maní, tabaco, té y yerba mate. Ediciones INTA, Argentina, 2008. 17-20.
- POLAK, M. (2015). Efecto del picudo algodonero en la disminución de la productividad del cultivo de algodón en Argentina. En revista de la Cámara Algodonera Argentina. 2015. 90.
- PPDB: PESTICIDE PROPERTIES DATABASE. (2019). The Pesticide Properties Database. Chemistry International. <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm> Site last updated: 29/4/2019.

- QUIROLO, M.E. (2013). Sustitución del cultivo de algodón por el de soja: implicancias para el desarrollo sustentable de la región NEA de la Argentina. En Foro Biental Iberoamericano de Estudios del Desarrollo, 2013. Simposio de Estudios del Desarrollo. Nuevas rutas hacia el bienestar social, económico y ambiental. Universidad de Santiago de Chile, Chile. 2013.
- RABINOVICH, J., & TORRES, F. (2004). Caracterización de los Síndromes de sostenibilidad del desarrollo. El caso de Argentina. Taller “Síndromes de sostenibilidad del desarrollo en América Latina”, Santiago de Chile. Septiembre de 2002. CEPAL – SERIE Seminarios y conferencias. 97.
- RADOVANCICH, S. (2018). Comunicación personal, información sobre terápicos de semillas. Representante de servicio técnico GENSUS SA. Genética Sustentable.
- RANI, P. L., YAKADRI, M., MAHESH, N., & BHATT, P. S. (2016). Energy usage and economic analysis of cotton under various weed management practices. *Indian Journal of Weed Science*, 48(1), 99-101.
- REYES, G.; CHAPARRO-GIRALDO, A., & ÁVILA, K. (2010). Environmental effects of agrochemicals and agricultural machinery in transgenic and conventional crops cotton. *Revista Colombiana de Biotecnología*. (2), 151-162.
- REZA, B., SADIQ, R., & HEWAGE, K. (2013). A fuzzy-based approach for characterization of uncertainties in emergy synthesis: an example of paved road system. *Journal of cleaner production*, 59, 99-110.
- REZA, B., SADIQ, R., & HEWAGE, K. (2014). Emergy-based life cycle assessment (Em-LCA) of multi-unit and single-family residential buildings in Canada. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(2), 207-224.
- RIAR, D. S., NORSWORTHY, J. K., STECKEL, L. E., STEPHENSON, D. O., EUBANK, T. W., BOND, J., & SCOTT, R. C. (2013). Adoption of best management practices for herbicide-resistant weeds in midsouthern United States cotton, rice, and soybean. *Weed Technology*, 27(4), 788-797.
- RIGHINI, R., & GROSSI GALLEGOS, H. (2011). Mapa de energía solar colectada anualmente por un plano inclinada. Un ángulo óptimo en la República Argentina. Cuarto Congreso Nacional-Tercero Congreso Iberoamericano. Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energías. HYFUSEN. 1-6.
- ROMERO, G. D. (2012). Medir la sostenibilidad: indicadores económicos, ecológicos y sociales. Departamento de estructura económica y economía del desarrollo, Universidad Autónoma de Madrid.
- RODRÍGUEZ-ORTEGA, T., BERNUÉS, A., OLAIZOLA, A., & BROWN, M. (2017). Does intensification result in higher efficiency and sustainability? An emergy analysis of Mediterranean sheep-crop farming systems. *Journal of cleaner production*, 144, 171-179.
- ROSATI, G. (2015). Dos dimensiones de las lógicas de funcionamiento de un mercado de fuerza de trabajo agropecuario: niveles y formas de remuneración en la cosecha de algodón, (Chaco 1990-2013). *Población & Sociedad*, 22(2), 61-99.

- RÓTOLO, G., RYDBERG, T., LIEBLEIN, G., & FRANCIS, C. (2007). Emergy evaluation of grazing cattle in Argentina's Pampas. *Agriculture, ecosystems & environment*, 119(3-4), 383-395.
- RÓTOLO, G., & FRANCIS, C. (2008). Los servicios ecosistémicos en el “corazón” agrícola de Argentina. Ediciones INTA, 44.
- RÓTOLO, G., FRANCIS, C. A., & ULGIATI, S. (2009). Rainfed agroecosystems in South América. Evaluation of performance and Environmental Sustainability.
- RÓTOLO, G., CHARLÓN, V., & FRANZESE, P. (2010). Emergy accounting of an integrated grazing-milking system in Argentina's Pampas. Proceedings of the 6th Biennial Emergy Evaluation and Research. Conference. Brown M.T. et al. (Eds.). EMERGY SYNTHESIS 6. Theory and Applications of the Emergy Methodology. H.T. Odum Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, Florida, USA.
- RÓTOLO, G.C., FRANCIS, C., & ULGIATI, S. (2011a). Emergy: a new approach to environmental accounting. Supplement to Chapter 1. In: Tow, P., Cooper, I., Prtridge, I., Birch, C. (Eds.), *Rainfed Farming Systems*. Springer 1337.
- RÓTOLO, G.C., C. FRANCIS., & S. ULGIATI. (2011b). Rainfed Agroecosystem in South America: Evaluation of Performance and Environmental Sustainability. En: Tow, P. et al. (eds.) *Rainfed Farming Systems*. Springer Netherlands. 561-601.
- RÓTOLO, G. C., MONTICO, S., FRANCIS, C., & ULGIATI, S. (2014). Performance and environmental sustainability of cash crops in Pampas Region, Argentina. *J. Environ. Acc. Manag*, 2(3), 38-66.
- RÓTOLO, G., FRANCIS, C., CRAVIOTTO, R., VIGLIA, S., PEREYRA, A., & ULGIATI, S. (2015a). Time to re-think the GMO revolution in agriculture. *Ecological informatics*, 26, 35-49.
- RÓTOLO, G., FRANCIS, C., CRAVIOTTO, R., & ULGIATI, S. (2015, b). Environmental assessment of maize production alternatives: Traditional, intensive and GMO-based cropping patterns. *Ecological indicators*, 57, 48-60.
- RÓTOLO, G. C., MONTICO, S., FRANCIS, C. A., & ULGIATI, S. (2015, c). How land allocation and technology innovation affect the sustainability of agriculture in Argentina Pampas: An expanded life cycle analysis. *Agricultural Systems*, 141, 79-93.
- ROTOLO, G. C., FRANCIS, C. A., & ULGIATI, S. (2018). Environmentally sound resource valuation for a more sustainable international trade: case of argentine maize. *Resources, Conservation and Recycling*, 131, 271-282.
- RUIZ, 2019. APPA. (2019). Asociación para la Promoción de la Producción del Algodón. Revista N°19. Año 19. ISSN 2591-3379.
- RYDBERG, T., & HADEN, A. (2006). Emergy evaluations of Denmark and Danish agriculture: Assessing the influence of changing resource availability on the organization of agriculture and society. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 117(2-3), 145-158.

- SAUER, M., ARANDA, J., CANTEROS, G. & ALOMA, M. (2015). Respuesta a la fertilización nitrogenada de variedad de algodón NuOpal bajo siembra directa. En revista Ciencia y Tecnología de los cultivos industriales. Algodón. Año 5. N° 8 – 2015. ISSN 1853 – 7677. 193p.
- SAPUCAY IMEL. 2016. Ficha técnica. Industria Metalúrgica Lorenzón. Disponible en: <http://pesadosargentinos.blogspot.com/2016/06/imel-sapucay-plus.html>
- SARANDÓN, S. (2002). El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. Cap. 20. En: Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable. J.S. Sarandón (Editor). Ediciones Científicas Americanas, 393-414.
- SCARPIN, G., MIERES, L., BIANCHI, J. (2018). Fertilización a la siembra directa en el cultivo de algodón bajo riego y seco. Manejo de Cultivo. En revista APPA 2018. Año 2018 N° 2018. 33p.
- SCARPIN, G., DILEO, P., WINKLER, M., RODELA, D., LORENZINI, F., & PAYTAS M. (2019). Progreso genético, desmote y calidad de fibra. APPA, AÑO 19. N° 19.
- SCIENCEMAN D. (1987). Energy and emergy. En: G. Pillet and T. Murota. Roland Leimgruber, Geneva, pp. 257-276.
- SCHNEIDER, R., VERNER, D., CABALLERO, J. M., & MIODOSKY, M. (2006). Agricultura y desarrollo rural en Argentina: Temas clave. Banco Mundial, Unidad de Gestión Argentina, Chile, Paraguay & Uruguay, Washington DC.
- SENASA. (2016) Reporte técnico. <http://www.senasa.gov.ar/senasa-comunica/noticias/fechas-obligatorias-de-siembra-de-algodon-en-santa-fe>
- SIMON, C. (2015). Impacto del algodón en surco estrecho sobre la problemática del empleo en el sector algodonnero del sudoeste chaqueño (Doctoral dissertation, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires).
- SOSA, M., VITTI, D., & ALMADA, M. (2006). Comportamiento de *Alabama argillacea* Hübner en el cultivo de algodón en siembra directa y dos distanciamientos, en riego y seco. XXVII Reunión de Comunicaciones Científicas y Técnicas. UNNE. Corrientes
- SOSA M., VITTI, D., & ALMADA M. (2009). Avance del picudo del algodonnero (*Anthonomus grandis* Boheman) (Coleoptera: Curculionidae) en el departamento General Obligado (Santa Fe). XIII Jornadas Fitosanitarias Argentinas. Fitosanidad responsable, base de la calidad de vida. Termas de Rio Hondo.
- SOSA, M., ALMADA, M., & VITTI, D. (2012). Estimación de la riqueza de especies de artrópodos en cultivos de algodón genéticamente modificados en el norte de Santa Fe. Congreso. VIII Congreso Argentino de Entomología. San Carlos de Bariloche, Río Negro. INTA-Bariloche, CONICET-INIBIOMA, Sociedad Entomológica Argentina.
- SOSA, M., & ALMADA, M., (2014). Diversity of arthropods communities in transgenic cotton varieties in Santa Fe province, Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata, Vol 113 (2): 147-156.

- SPONTÓN, J., & DELSSÍN E. (2005). Plan Estratégico de la EEA INTA Reconquista 2005-2015. Ediciones INTA. 44.
- STAVINS, R., WAGNER, A., & WAGNER, G. (2003). Interpreting sustainability in economic terms: dynamic efficiency plus intergenerational equity. *Economics Letters*, 79(3), 339-343.
- SUN, W., OU, Y., & HUANG, G. (2013). Research Centre for Ecological Sciences, Jiangxi Agricultural University. Analysis and evaluation of the eco-economic systems of the main crops (rice, cotton and rapeseed) in Jiangxi Province. China, 18.
- SUN, L., LI, H., DONG, L., FANG, K., REN, J., GENG, Y., & LIU, Z. (2017). Eco-benefits assessment on urban industrial symbiosis based on material flows analysis and emergy evaluation approach: a case of Liuzhou city, China. *Resources, Conservation and Recycling*, 119, 78-88.
- TAKAHASHI, F., & ORTEGA, E. (2010). Assessing sustainability of Brazilian oleaginous crops possible raw material to produce biodiesel. *Energy Policy*. 38, 2446-2454.
- TAO, J., FU, M., ZHENG, X., ZHANG, J., & ZHANG, D. (2013). Provincial level-based emergy evaluation of crop production system and development modes in China. *Ecological indicators*, 29, 325-338.
- TCACH, M., FOGAR, M., RIOS, R., SARCO, P., & ACUÑA, C. (2011). Densidad de glandulas de Gossypol durante el desarrollo de botones florales de *Gossypium hirsutum* L. y su relación con la resistencia a lepidopteros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 8.; COTTON EXPO, 1., 2011, São Paulo. Evolução da cadeia para construção de um setor forte: Anais. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2011.
- TEALDO, J. C., MEJÍAS, D., & LÓPEZ, F. (2010). Las Políticas Neoliberales y los Procesos de Cambios en el Agro de la Provincia de Santa Fe 1980-2005. *Análisis de la Región Centro-Norte de la Provincia*. Nueva Epoca, 1(8), 119-136.
- TERUEL, M. (2003). Apuntes de economía ecológica. *Boletín económico de ICE, Información Comercial Española*, (2767), 69-75.
- THOMAZONI, D., DEGRANDE, P. E., SILVIE, P. J., & FACCENDA, O. (2010). Impact of Bollgard® genetically modified cotton on the biodiversity of arthropods under practical field conditions in Brazil. *African Journal of Biotechnology*, 9 (37), 6167-6176.
- TIAN, X., GENG, Y., VIGLIA, S., BLEISCHWITZ, R., BUONOCORE, E., & ULGIATI, S. (2017). Regional disparities in the Chinese economy. An emergy evaluation of provincial international trade. *Resources, Conservation and Recycling*, 126, 1-11.
- TILLEY, D., & SWANK, W. (2003). EMERGY-based environmental systems assessment of a multi-purpose temperate mixed-forest watershed of the southern Appalachian Mountains, USA. *Journal of Environmental Management*, 69(3), 213-227.

- TILMAN, D., CASSMAN, K., MATSON, P., NAYLOR, R., & POLASKY, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. 418(6898), 671-677.
- TOBY, G. (2015). Panorama algodonero internacional al horizonte 2024. En revista de la Cámara Algodonera Argentina. 2015. 90.
- TONON, S., BROWN, M., LUCHI, F., MIRANDOLA, A., STOPPATO, A., & ULGIATI, S. (2006). An integrated assessment of energy conversion processes by means of thermodynamic, economic and environmental parameters. *Energy*, 31(1), 149-163.
- TOW, P., COOPER, I., PARTRIDGE, I., BIRCH, C., & HARRINGTON, L. (2011). Principles of a systems approach to agriculture. In *Rainfed Farming Systems* (pp. 3-43). Springer, Dordrecht.
- TUBÍO, M. (2001). El impacto de las transformaciones agrarias sobre el empleo rural en el Uruguay. Informe final del concurso “Globalización, transformaciones en la economía rural y movimientos sociales agrarios”. Programa Regional de Becas clacso. [Mimeo].
- UAA, (2000). Unión Agrícola Avellaneda Cooperativa. Cotizaciones. <http://www.uaa.com.ar/agroveterinaria/>
- UAA, (2018). Unión Agrícola Avellaneda Cooperativa. Cotizaciones. <http://www.uaa.com.ar/agroveterinaria/>
- ULGIATI, S., RAUGEI, M., & BARGIGLI, S. (2006). Overcoming the inadequacy of single-criterion approaches to Life Cycle Assessment. *Ecological Modelling*, 190(3-4), 432-442.
- ULGIATI, S., & BROWN, M. T. (1998). Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological modelling*, 108(1-3), 23-36.
- ULGIATI, S., ZUCARO, A., FRANZESE, P. (2011). Shared wealth or nobody's land. The worth of natural capital and ecosystem services. *Ecological Economics* 70: 778 - 787.
- ULGIATI, S., & BROWN, M. (2012). Labor and services. In Proceedings of the 7th biennial emergy conference. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville 557-562.
- ULGIATI, S., & BROWN, M. (2014). Labor and Services. In: Brown, et al. (Eds.), *Emergy Synthesis 7. Theory and Applications of Emergy Methodology*. Proceedings of the Seventh. Biennial Emergy Conference. Center for Environmental Policy. University of Florida, Gainesville. FL. USA.
- VALEIRO, A. (2015) Quince años de algodón transgénico en Argentina: un balance parcial. En *Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales. Algodón*. Año 5 N° 8 – 2015. Ediciones INTA. 205.
- VALENZUELA, C., & SCAVO, Á. (2008). La trama territorial del algodón en el Chaco. Transformaciones recientes desde la perspectiva de los pequeños y medianos

- productores. Ponencia presentada a las II Jornadas de Investigadores de las Economías Regionales, Tandil.
- VALENZUELA, C., MARI, O., & SCAVO, Á. (2011). Persistencias y transformaciones del sector algodonero tradicional en la provincia del Chaco en la Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 20, 117-150.
- VENTURA, F. T. (2016). El INTA en la recuperación del sector algodonero argentino (2000-2015). Ediciones INTA. 86.
- VIGLIZZO, E. F., LÉRTORA, F., PORDOMINGO, A. J., BERNARDOS, J. N., ROBERTO, Z. E., & DEL VALLE, H. (2001). Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the pampas of Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 83(1), 65-81.
- VIGLIZZO, E., PORDOMINGO, A., CASTRO, M., & LÉRTORA, F. (2002). La sustentabilidad ambiental de la agricultura pampana. *Ciencia Hoy*, 12(68), 38-51.
- VIGLIZZO, E. (2004). La sustentabilidad productiva: Evolución del concepto y sus indicadores. *Actas de la III Jornada Tecnológica CREA–Productividad, Eficiencia y Responsabilidad*.
- VIGLIZZO, E., & FRANK, F. (2006a). Ecological interactions, feedbacks, thresholds and collapses in the Argentine Pampas in response to climate and farming during the last century. *Quaternary International*, 158(1), 122-126.
- VIGLIZZO, E., FRANK, F., BERNARDOS, J., BUSCHIAZZO, D., & CABO, S. (2006b). A rapid method for assessing the environmental performance of commercial farms in the Pampas of Argentina. *Environmental monitoring and assessment*, 117(1-3), 109-134.
- VIGLIZZO, E., CARREÑO, L., VOLANTE, J., & MOSCIARO, M. (2011). Valuación de bienes y servicios ecosistémicos: ¿Verdad objetiva o cuento de la buena pipa?. *VALORACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS*, 16.
- VIGLIZZO, E., FRANK, F., CARREÑO, L., JOBBÁGY, E., PEREYRA, H., CLATT, J., PINCE, D., & RICARD, M. (2011). Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology*, 17(2), 959-973.
- VIGNE, M., PEYRAUD, J. L., LECOMTE, P., CORSON, M. S., & WILFART, A. (2013). Emergy evaluation of contrasting dairy systems at multiple levels. *Journal of environmental management*, 129, 44-53.
- VISSER, F., DARGUSCH, P., SMITH, C., & GRACE, P. (2015). Application of the Crop Carbon Progress Calculator (CCAP) in a ‘farm to ship’ cotton production case study in Australia. *Journal of Cleaner Production*. 103(2015) 675-684.
- VIVAS H., & SOSA, M. (1998). Labranzas conservacionistas para el norte de Santa Fe. En *Siembra Directa*. Editores: Panigatti J.L., H. Marelli, A. Buschiazzo y R. Gil. SAGPyA – INTA. Ed Hemisferio Sur. 1º edición. 1998.
- VRDOLJAK, J., POISSON, J., & NOVICK, R. (1986) Mejoramiento Genético del Algodón en la Argentina. *Boletín N° 78*. R. S. PEÑA, Chaco. INTA 44.

- WAKELYN, P., & CHAUDHRY, M. (Eds.). (2010). Cotton: technology for the 21st century. Washington DC: International Cotton Advisory Committee.
- WANG, C., WANG, Y., GENG, Y., WANG, R., & ZHANG, J. (2016). Measuring regional sustainability with an integrated social-economic-natural approach: a case study of the Yellow River Delta region of China. *Journal of cleaner production*, 114, 189-198.
- WANG, X., LI, Z., LONG, P., YAN, L., GAO, W., CHEN, Y., & SUI, P. (2017). Sustainability evaluation of recycling in agricultural systems by emergy accounting. *Resources, Conservation and Recycling*, 117, 114-124.
- WANG, Y., ZHANG, X., LIAO, W., WU, J., YANG, X., SHUI, W., ... & YU, X. (2018). Investigating impact of waste reuse on the sustainability of municipal solid waste (MSW) incineration industry using emergy approach: A case study from Sichuan province, China. *Waste Management*, 77, 252-267.
- WDOWIAK, K., PAMIES, M., & LOIZAGA, U. (2012). Evaluación y Valoración Económica de Pérdidas por Cosecha Mecánica en el Cultivo de Algodón. Informe Técnico INTA-PRECOP Estación Experimental Agropecuaria INTA Las Breñas, CHACO. Trabajo presentado en la XLIII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria. Corrientes Argentina, 2012.
- WENDEL, J.F., BRUBAKER, C., & SEELANAN, T., 2010. The Origin and evolution of *Gossypium*. En: *Physiology of Cotton* (Eds J. McD Stewart, D Oosterhuis, J.Heilholt, J.Mauney).1-18pp. Springer.
- WILLIAMS, A. (2005). Managing the environmental impacts of cotton growing. An Australian perspective. In 64 th ICAC Plenary Meeting.
- WINKLER, M., SCARPIN, G., DILEO, P., ROESCHLIN R., & PAYTAS, M. (2018). Efecto de la interacción de diferentes fechas de siembra y genotipos sobre el rendimiento y calidad de fibra del algodón. APPA. Año 18 N°18.
- WU, X., WU, F., TONG, X., & JIANG, B. (2013). Emergy-based sustainability assessment of an integrated production system of cattle, biogas, and greenhouse vegetables: insight into the comprehensive utilization of wastes on a large-scale farm in Northwest China. *Ecological engineering*, 61, 335-344.
- WU, X., WU, F., TONG, X., WU, J., SUN, L., & PENG, X. (2015). Emergy and greenhouse gas assessment of a sustainable, integrated agricultural model (SIAM) for plant, animal and biogas production: Analysis of the ecological recycle of wastes. *Resources, Conservation and Recycling*, 96, 40-50.
- YBRAN, R. (2017). Suplemento informativo económico. Economía Agraria INTA Reconquista. En *Revista Voces y Ecos* N° 38. Ediciones INTA.
- YILMAZ, I., AKCAOZ, H., & OZKAN, B. (2005). An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renewable Energy*. 30(2), 145-155 pp.
- ZAMPAR, A. (2018). Algodón 100% Santafesino. Avances en Trazabilidad y calidad de fibra: tecnología Rfid y sus alcances. Acciones vinculadas a la extensión. En revista APPA 2017/2018. N° 18. Año 18. ISSN 2591-3379

- ZHAI, X., ZHAO, H., GUO, L., FINCH, D. M., HUANG, D., LIU, K., & XIE, S. (2018). The emergy of metabolism in the same ecosystem (maize) under different environmental conditions. *Journal of Cleaner Production*, 191, 233-239.
- ZHANG, L., YANG, Z. F., & CHEN, G. (2007). Emergy analysis of cropping-grazing system in Inner Mongolia Autonomous Region, China. *Energy Policy*. 35(7), 3843-3855.
- ZHANG, L. X., SONG, B., & CHEN, B. (2012). Emergy-based analysis of four farming systems: insight into agricultural diversification in rural China. *Journal of Cleaner Production*, 28, 33-44.
- ZHANG, X. H., ZHANG, R., WU, J., ZHANG, Y. Z., LIN, L. L., DENG, S. H., & PENG, H. (2016). An emergy evaluation of the sustainability of Chinese crop production system during 2000–2010. *Ecological indicators*, 60, 622-633.
- ZAMBRANO, M., PAWLAK, J., DAYSTAR, J., ANKENY, M., CHENG, J., & VENDITTI, R. (2019). Microfibers generated from the laundering of cotton, rayon and polyester based fabrics and their aquatic biodegradation. *Marine pollution bulletin*, 142, 394-407.
- ZARRILLI, A. (2016). Ambiente, producción y mercado. El impacto transformador en una economía periférica, el Gran Chaco Argentino en el siglo XX. *Areas. Revista Internacional de Ciencias Sociales*, (35), 121-139.
- ZHONG, S., GENG, Y., KONG, H., LIU, B., TIAN, X., CHEN, W., & ULGIATI, S. (2018). Emergy-based sustainability evaluation of Erhai Lake Basin in China. *Journal of Cleaner Production*, 178, 142-153.
- ZORZON, C. (2019). El algodón en la provincia de Santa Fe. Actividades Técnicas realizadas por APPA. En revista APPA 2018/2019. 7p. ISSN 2591-3379

## ANEXO

### A. Tablas de Evaluación Emergética de la Producción de Algodón, con detalles de cálculos de flujos emergéticos y procedimientos (adaptados de Odum, 1996) con referencias bibliográficas utilizadas

#### A.1. PA 1980

##### A.1.1. Detalle de cálculos correspondientes a Tabla 4.1

**Sistema analizado** = Producción de Algodón (PA)

**Periodo de tiempo** = 1 año. Mayo 1979 a abril 1980 (1979/1980)

**Escala Espacial** = 1 hectárea=10.000 m<sup>2</sup>=1,00E+04 m<sup>2</sup>

Los datos fueron provistos por productores agropecuarios y validados por especialistas y expertos de la Asociación para la Promoción de la Producción del Algodón (APPA) (<http://appasantafe.org.ar/>); Unión Agrícola de Avellaneda (UAA, <http://www.uaa.com.ar/>); Asociación Cooperadora de INTA Reconquista e INTA. Los precios en Peso Ley (y sin iva) fueron convertidos a USD (Dólares Estadounidenses), tomando como factor de conversión **1 USD = \$ Ley 1.332,5** para el periodo, según cotización promedio, tomados de Banco Central de la República Argentina.

**1.Radiación solar:** Sumatoria de energía solar diaria recibida en el periodo de estudio = radiación anual acumulada (J/m<sup>2</sup>/año, Estación Meteorológica INTA Reconquista) \* albedo (20 %, expresado en decimal, Righini y Grossi Gallegos, 2011.) \* superficie (m<sup>2</sup>) = 6,10E+09 J/m<sup>2</sup>/año \* 0,2 \* 10.000 m<sup>2</sup> = **1,22E+13 J/ha/año.**

**2.Evapotranspiración potencial** = Evapotranspiración potencial (mm/año, Estación Meteorológica INTA Reconquista) \* densidad del agua (g/l) \* energía libre de Gibbs del agua (J/g, Odum,1996) \* superficie del área (m<sup>2</sup>) = 1,16 l/año \* 1000 g/l \* 4,94 J/g \* 10.000 m<sup>2</sup> = **5,71E+10 J/ha/año.**

**3.Viento** = Energía cinética del viento = velocidad de viento (m/s, Estación Meteorológica INTA Reconquista, a 2 m de altura) \* densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>, Odum, 1996) \* coeficiente de Drag (Garratt, 1992) \* superficie (m<sup>2</sup>) = 2,39 ^3 m/s \* 3,15E+07 s/año \* 1,3 kg/m<sup>3</sup> \* 0,003 \* 10.000 m<sup>2</sup> = **1,67E+10 J/ha/año.**

**4.Calor interno de la tierra** = Flujo de calor por área (J/m<sup>2</sup>/año, Odum, 1996) \* superficie (m<sup>2</sup>) = 1,00E+06 J/m<sup>2</sup>/año \* 10000 m<sup>2</sup> = **1,00E+10 J/ha/año.**

**5.Pérdida neta de suelo** = Tasa de erosión (kg/m<sup>2</sup>/año, software INTA USLE/RULE, Gvozdenovich et al., 2015) \* % materia orgánica del suelo (promedio últimos 5 años, INTA) \* contenido energético de la materia orgánica del suelo (kcal/g, Odum, 1996) \* conversión kcal a J \* superficie (m<sup>2</sup>) = 1.250 g/m<sup>2</sup>/año \* 0,015 \* 5,4 kcal/g \* 4.186 J/kcal) \* 10.000 m<sup>2</sup> = **4,24E+09 J/ha/año.**

**6. Agua Usada** = Agua usada por hectárea en aplicaciones terrestres de agroquímicos (l/ha/año, registro de productor agropecuario) \* densidad del agua (g/l) \* energía libre de Gibbs del agua (J/g, Odum, 1996) = 600 l/ha/año \* 1000 g/l \* 4,94 J/g = **2,96E+06 J/ha/año**.

**7. Semilla no OGM** = Semilla utilizada para la producción de una hectárea de algodón = 3,50E+01 kg/ha/año = **3,50+04 g/ha/año** (Registro de productor agropecuario; Arias, 1977). Variedad utilizada: Toba II INTA, variedad convencional. Costo **6,83 USD/ha/año** (Registro contable del productor, 1980).

**8. Combustible** = Gasoil consumido (l/ha, registro de productor agropecuario) \* densidad del gasoil (kg/l, Ministerio de Energía y Minería, 2018) \* Poder Calorífico Inferior del gasoil -LHV- (kcal/kg, Ministerio de Energía y Minería, 2018) = 77,08 l/ha \* 0,8 kg/l \* 1,02E+04 kcal/kg \* 4,19E+03 J/Kg (conversión kcal a J; 1 kcal/kg = 4,19E+03 J/Kg) = **2,62E+09 J/ha/año**. Costo del combustible = **14,11 USD/ha/año** (Registros contables del productor). Ver labores realizadas\*\*.

**9. Lubricante** = Lubricante utilizado (l/ha, registro del productor agropecuario) \* densidad del lubricante (kg/l, Ministerio de Energía y Minería, 2018) \* Poder Calorífico Inferior del lubricante -LHV- (kcal/kg, Ministerio de Energía y Minería, 2018) = 3,00 l/ha/año \* 0,9 kg/l \* 9,60E+03 kcal/kg \* 4,19E+03 J/kg (conversión kcal a J; 1 kcal/kg = 4,19E+03 J/Kg) = **1,09E+08 J/ha/año**. Costo del lubricante = **1,69 USD/ha/año** (12% valor del combustible usado; Garbers y Chen, 2013; Registros contables del productor).

**10. Fungicida** = Dosis aplicada a la semilla (g/ha; Arias, 1977) \* concentración de principio activo (PPDB: Pesticide Properties DataBase; CASAFE, 2013). *Captan* = (*N-tricloroetilto ciclotrex 4 en 1,2 dicaboximida*); 1,5 kg/tn de semilla \* 35 kg/ha \* 0,8 = **4,20E+01 (g/ha/año)**. Costo de fungicidas incluidos en valor de semilla.

**11. Herbicidas** = Dosis aplicada (ml/ha/año, registro del productor agropecuario) \* concentración principio activo \* densidad (g/ml), (PPDB: Pesticide Properties DataBase; CASAFE, 2013). *Trifluralina* = 2000 (ml/ha) \* 0,48 (ppio activo) \* 1,05 (g/ml) = **1,01E+03 g/ha/año**. Costo herbicida = **17,26 USD/ha/año** (Registros contables del productor).

**12. Insecticidas** = Dosis aplicada a la semilla (g/ha, Arias, 1977) \* concentración de principio activo. *HHDN (Aldrin)* 3,5 kg/tn \* 35 kg/ha \* 0,5 = **6,13E+01 g/ha/año**. Costo del insecticida incluidos en valor de semilla. Dosis foliares aplicadas (ml/ha, registro del productor agropecuario) \* concentración principio activo \* densidad (g/ml), (PPDB: Pesticide Properties DataBase; CASAFE, 2013). *Aldicarb* = 3000 (ml/ha) \* 0,10 % (ppio activo) \* 1,2 (g/ml) = **3,60E+02 g/ha/año**. *Oxidemeton metil* = 300 (ml/ha) \* 0,25 % (ppio activo) \* 1,29 (g/ml) = **9,68E+01 g/ha/año**. *Dimetoato* = 300 (ml/ha) \* 0,50 % \* 1,30 (g/ml) = **1,56E+02 g/ha/año**. *Parathion* = 1400 (ml/ha) \* 0,5 % \* 1,27 (g/l) = **8,89E+02 g/ha/año**. Costos insecticidas = **10,51; 1,18; 1,00; 2,26 USD/ha/año** (Registros contables del productor).

**13. Maquinaria agrícola** = Peso asignado a la maquinaria usada = sumatoria de peso de la maquinaria usada (kg, Manual y fichas operativas de tractor e implemento) \* tiempo operativo de cada una (h/ha, Frank, 1977; Garbers y Chen, 2013) / vida útil de cada maquinaria = **5,56 kg/ha = 5,56E+03 g/ha/año**. Ver labores realizadas\*\*.

**14. Labor** = Horas hombre de mano de obra involucradas en conducción, manejo, seguimiento y monitoreo, desmalezadas -carpidas y desyuyadas-, cosecha manual, acondicionamiento y carga del algodón en bruto = **2,01E+02 hh/ha/año**. La cantidad de horas se estimó a partir del tiempo de labor, cantidad de personas, superficie trabajada y/o rendimiento obtenido. Luego llevado a número de horas diarias laborables por año calendario (Registro agropecuario y contable del productor).

**15. Servicios** = Sumatoria de los costos de los insumos y servicios utilizados = semillas (14,84 USD/ha/año) + agroquímicos + combustible y lubricante + labores de maquinaria + valor maquinaria + servicio de terceros por cosecha manual, carga y acondicionamiento de la cosecha + aporte jubilatorio a personal consignado a la cosecha = **189 USD/ha/año**. (Registros contables del productor; Lacelli, 2018 comunicación personal).

**16. Producto agrícola** = Algodón en bruto = **1,00E+06 g/ha/año**. Precio de mercado del algodón = **3,45E-04 USD/g** (Registros agropecuario y contable del productor).

*\*\*Labores realizadas* = Siembra (1); en sistema de siembra convencional + Rastra de Discos (3) + Arada de reja y vertedera (2) + Rastra de disco doble acción (1) Rastra de Dientes (1) + Escardillos (3) + Pulverización terrestre (4) (Registros de productor agropecuario). Cada labor fue multiplicada por su Tiempo operativo (h/ha) y Consumo horario (acorde al HP del tractor utilizado para cada una) (lt/h), para la obtención del consumo de gasoil (l/ha/año). Desmalezadas, cosecha, acondicionamiento y carga al camión del algodón cosechado fue manual. La carga y acondicionamiento del algodón fue realizado por ocho personas.

**A.1.2. Detalle de referencias de Unidades de Valor Emergéticas (UVEs) utilizadas en Tabla 4.1**

#	1979/1980	Valor UVE	Unidad	Año UVE	Referencia	Línea de Base Emergética original	Valor Final UVE ajustada (Brown & Ulgiati, 2016)
	<b>Recursos Renovables</b>						
1	Radiación	1,00E+00	sej/J	1996	(a)	9,44E+24	1,00E+00
2	Evapotranspiración	2,94E+04	sej/J	1996	(c)	9,44E+24	3,73E+04
3	Viento	2,45E+03	sej/J	2000	(b)	1,58E+25	1,86E+03
4	Calor tierra	1,20E+04	sej/J	2000	(b)	1,58E+25	9,12E+03
	<b>Recursos no Renovables</b>						
5	Pérdida de suelo	7,40E+04	sej/J	2000	(b)	1,58E+25	5,62E+04
6	Agua usada	1,46E+05	sej/J	1996	(c)	9,44E+24	1,85E+05
	<b>Materiales (insumos comprados)</b>						
7	Semilla no OGM	6,42E+08	sej/g	2000	(d)	1,58E+25	4,88E+08
8	Gas oil	1,81E+05	sej/J	2010	(e)	1,50E+25	1,45E+05
9	Lubricante	1,70E+04	sej/J	2010	(e)	1,50E+25	1,36E+04
10	Fungicida: Captan	2,56E+10	sej/g	2010	(f)	1,50E+25	2,05E+10
11	Herbicida: Trifluralina	2,22E+10	sej/g	2010	(f)	1,50E+25	1,77E+10
12	Insecticida: Aldrin	2,01E+10	sej/g	2010	(f)	1,50E+25	1,61E+10
	Insecticida: Aldicarb	2,59E+10	sej/g	2010	(f)	1,50E+25	2,07E+10
	Insecticida: Oxidemeton metil	2,01E10	sej/g	2010	(f)	1,50E+25	1,61E+10
	Insecticida: Dimetoato	2,01E10	sej/g	2010	(f)	1,50E+25	1,61E+10
	Insecticida: Paration	1,93E+10	sej/g	2010	(f)	1,50E+25	1,55E+10
13	Maquinaria agrícola	6,70E+09	sej/g	1996	(g)	9,44E+24	8,51E+09
14	Labor (hh trabajadas)	1,87E+12	sej/h	1996	(h)	9,44E+24	2,38E+12
15	Servicios	2,17E+12	sej/USD	1996	(h)	9,44E+24	2,76E+12

**a.** Odum,1996; **b.** Odum et al., 2000; **c.** Buenfil, 2001; (tomado como agua de lluvia y subterránea); **d.** Rotolo et al., (2015b); **e.** Brown et al., 2011; **f.** Agroquímicos. Cálculo propio, tomado de SimaPro 8.4. Base de Datos: EcoInvent 3.0. Método: CML. PreConsultants (MR). Ajustado por valor de transformidad del gasoil, Brown et al., 2011; **g.** Brown y Bardi, 2001; **h.** La UVE labor se calculó dividiendo la emergencia anual de la economía del país (U) por su población activa (U/Población), ajustada a las horas por año calendario (Ferreya, 2001; periodo 1976/1989) Odum, 1996). La UVE Servicios fue estimada a partir de U/PBI (producto bruto interno) (Ferreya, 2001; Odum, 1996) para el año correspondiente. La UVE Labor se calculó dividiendo la emergencia anual de la economía del país (U) por su población (NEAD, 2017) y por las horas año calendario (Odum, 1996). La UVE Servicios, se obtuvo de NEAD, 2017.

Se utilizó la base de referencia de emergencia global (1,20 E+25 sej/año) calculada por Brown y Ulgiati, 2016, para todas aquellas UVEs, obtenidas anterior a esa fecha.

## A.2. PA 2000

### A. 2.1. Detalle de cálculos correspondientes a Tabla 4.2

**Sistema analizado** = Producción de Algodón (PA)

**Periodo de tiempo** = 1 año. Mayo 1999 a abril 2000 (1999/2000)

**Superficie del área de estudio** = 1 hectárea=10.000 m<sup>2</sup>=1,00E+04 m<sup>2</sup>

Los datos fueron provistos por productores agropecuarios y validados por especialistas y expertos de la Asociación para la Promoción de la Producción del Algodón (APPA) (<http://appasantafe.org.ar/>); Unión Agrícola de Avellaneda (UAA, <http://www.uaa.com.ar/>), Asociación Cooperadora de INTA Reconquista e INTA. Los precios en Pesos (y sin iva) fueron convertidos a USD (Dólares Estadounidenses), tomando como factor de conversión **1USD=\$1** para el periodo, según Banco Central de la República Argentina.

**1.Radiación solar** = Sumatoria de energía solar diaria recibida en el periodo de estudio = radiación anual acumulada (J/m<sup>2</sup>/año, Estación Meteorológica INTA Reconquista) \* albedo (20 %, expresado en decimal, Righini y Grossi Gallegos, 2011.) \* superficie (m<sup>2</sup>) = 5,87E+09 J/m<sup>2</sup>/año \* 0,2 \* 10.000 m<sup>2</sup> = **1,17E+13 J/ha/año.**

**2.Evapotranspiración potencial** = Evapotranspiración potencial (mm/año, Estación Meteorológica INTA Reconquista) \* densidad del agua (g/l) \* energía libre de Gibbs del agua (J/g, Odum,1996) \* superficie del área (m<sup>2</sup>) = 1,21 l/año \* 1000 g/l \* 4,94 J/g \* 10.000 m<sup>2</sup> = **5,97E+10 J/ha/año.**

**3.Viento** = Energía cinética del viento = velocidad de viento (m/s, Estación Meteorológica INTA Reconquista, a 2 m de altura) \* densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>, Odum, 1996) \* coeficiente de Drag (Garratt, 1992) \* superficie (m<sup>2</sup>) = 1,9<sup>3</sup>m/s \* 3,15E+07 s/año \* 1,3 kg/m<sup>3</sup> \* 0,003 \* 10.000 m<sup>2</sup> = **9,15E+09 J/ha/año.**

**4.Calor interno de la tierra** = Flujo de calor por área (J/m<sup>2</sup>/año, Odum, 1996) \* superficie (m<sup>2</sup>) = 1,00E+06 J/m<sup>2</sup>/año \* 10.000 m<sup>2</sup> = **1,00E+10 J/ha/año.**

**5.Pérdida neta de suelo** = Tasa de erosión (kg/m<sup>2</sup>/año, software INTA USLE/RULE, Gvozdenovich et al., 2015) \* % materia orgánica del suelo (promedio últimos 5 años, INTA) \* contenido energético de la materia orgánica del suelo (kcal/g, Odum, 1996) \* conversión kcal a J \* superficie (m<sup>2</sup>) = 940 g/m<sup>2</sup>/año \* 0,015 \* 5,4 kcal/g \* 4.186 J/kcal) \* 10.000 m<sup>2</sup> = **3,19E+09 J/ha/año.**

**6.Agua Usada** = Agua usada por hectárea en aplicaciones terrestres de agroquímicos (l/ha/año, registro de productor agropecuario) \* densidad del agua (g/l) \* energía libre de Gibbs del agua (J/g, Odum, 1996) = 750 l/ha/año \* 1000 g/l \* 4,94 J/g = **3,71E+06 J/ha/año.**

**7.Semilla no OGM** = semilla utilizada para la producción de una hectárea de algodón = 35 kg/ha/año = **3,50E+04 g/ha/año** (Registro de productor agropecuario). Variedad utilizada: Guazuncho INTA, variedad convencional. Costo **14,35 USD/ha/año** (Registro contable del productor; UAA, 2000).

**8.Combustible** = Gasoil consumido (l/ha, registro de productor agropecuario) \* densidad del gasoil (kg/l, Ministerio de Energía y Minería, 2018) \* Poder Calorífico Inferior del gasoil -LHV- (kcal/kg, Ministerio de Energía y Minería, 2018) = 68,12 l/ha \* 0,8 kg/l \* 1,02E+04 kcal/kg \*

4,19E+03 J/Kg (conversión kcal a J; 1 kcal/kg = 4,19E+03 J/Kg) = **2,32E+09 J/ha/año**. Costo = **25,02 USD/ha/año** (Registros contables del productor; UAA, 2000). Ver labores realizadas\*\*.

**9.Lubricante** = Lubricante utilizado (l/ha, registro del productor agropecuario) \* densidad del lubricante (kg/l, Ministerio de Energía y Minería, 2018) \* Poder Calorífico Inferior del lubricante -LHV- (kcal/kg, Ministerio de Energía y Minería, 2018) = 1,8 l/ha/año \* 0,9 kg/l \* 9,60E+03 kcal/kg \* 4,19E+03 J/kg (conversión kcal a J; 1 kcal/kg = 4,19E+03 J/Kg) = **6,39E+07 J/ha/año**. Costo = **3,00 USD/ha/año** (12% valor del combustible usado; Garbers y Chen, 2013; Registro contable del productor; UAA, 2000).

**10.Fertilizantes N y P** = (nitrógeno y fósforo) utilizado (kg/ha/año, registro de productor agropecuario) = N: 50 kg FDA ha/año \* 0,18 (%N) = 9kg/ha/año] = **9,00E+03 gN/ha/año**. P: 50 kg FDA ha/año \* 0,46 (%P) = 23kgP/ha/año = **2,30E+04 gP/ha/año**. CASAFE, 2013. Costo del fertilizante FDA = **20,00 USD/ha/año** (Registro contable del productor; UAA, 2000).

**11.Fungicidas** = Dosis aplicada (2000ml/100kg de semilla; Gensus SA, 2018) \* concentración principio activo \* densidad (g/ml), (PPDB: Pesticide Properties DataBase; CASAFE, 2013). *Triadimenol* = 700ml/ha \* 0,15 (ppio activo) \* 1,27 g/ml = **1,33E+02 g/ha/año**. *Diclofluánida* = 35g/ha \* 0,50 (ppio activo) = **1,75E+01 g/ha/año**; Costo de fungicidas incluidos en valor de semilla.

**12.Herbicidas** = Dosis aplicada (ml/ha; Registro del productor agropecuario) \* concentración principio activo \* densidad (g/ml), (PPDB: Pesticide Properties DataBase; CASAFE, 2013). *Trifluralina* = 2000 (ml/ha) \* 0,48 (ppio activo) \* 1,05 (g/ml) = **1,01E+03 g/ha/año**. *Cloromecuato* = 90 (ml/ha) \* 0,75 (ppio activo) \* 1,14 (g/ml) = **7,43E+01 g/ha/año**. *Thidiazuron* = 500 (ml/ha) \* 0,12 (ppio activo) \* 1,51 (g/ml) = **9,06E+01 g/ha/año**. *Diuron* = 500 (ml/ha) \* 0,06 (ppio activo) \* 1,48 (g/ml) = **4,44E+01 g/ha/año**. Costos herbicidas: **2,89; 1,55; 7,12\*** USD/ha respectivamente. \*El costo de thidiazuron y diuron forman parte de un mismo producto comercial (Registros contables del productor; UAA, 2000).

**13.Insecticidas** = Dosis aplicada (ml/ha) \* concentración principio activo \* densidad (g/ml) (Registro del productor agropecuario; PPDB: Pesticide Properties DataBase; CASAFE, 2013). *Imidacloprid a la semilla* = (470ml/100kg semilla = 164 ml/ha \* 0,60 (ppio activo) \* 1,54 (g/ml) = **1,52E+02 g/ha/año**; *Teblubenzuron* = 300 (ml/ha) \* 0,15 (ppio activo) \* 1,66 (g/ml) = **7,47E+01g/ha/año**. *Clorpirifos* = 600 (ml/ha) \* 0,50 (ppio activo) \* 1,4 (g/ml) = **4,20E+02 g/ha/año**; *Cipermetrina* = 600 (ml/ha) \* 0,25 (ppio activo) \* 1,25 (g/ml) + 600 ml \* 0,05 (ppio activo) \* 1,25 /g/ml) = **2,25E+02 g/ha/año**. Costos insecticidas: Imidacloprid incluido en costo de semilla; Clorpirifos+cipermetrina en formulado comercial: **7,50 USD/ha**; Teblubenzuron: **31,88 USD/ha**; Cipermetrina: **5,61USD/ha** (Registros contables del productor; UAA, 2000; Márgenes Agropecuarios, reseña estadística, 2016).

**14.Maquinaria agrícola** = peso asignado a la maquinaria usada = sumatoria de peso de la maquinaria usada (kg, Manual y fichas operativas de tractor e implemento) \* tiempo operativo de cada una (h/ha, Frank, 1977) / vida útil de cada maquinaria = 4,50 kg/ha = **4,08E+03 g/ha/año**. Ver labores realizadas\*\*.

**15.Labor** = Horas de mano de obra involucradas en conducción, manejo, seguimiento y tareas de post-cosecha (acondicionamiento de la cosecha y carga de algodón en bruto) = **1,14E+01 hh/ha/año**. La cantidad de horas se estimó a partir del tiempo de labor, cantidad de personas, superficie trabajada y/o rendimiento obtenido, luego llevado a número de horas diarias laborables pro año calendario. (Registros contables y agropecuarios del productor; UAA, 2000).

**16. Servicios** = sumatoria de los costos de los insumos utilizados = semillas + agroquímicos + combustible y lubricante + labores de maquinaria + valor maquinaria = **216** USD/ha/año (Registros contables del productor; UAA, 2000).

**17. Producto agrícola** = Algodón en bruto = **1,50E+06** g/ha/año (Registro productor agropecuario). Precio de mercado del algodón = **2,20E-04** USD/g (Registros contables del productor; UAA, 2000).

**\*\*Labores realizadas** = Aradas con cincel (1) + Rastra de discos doble acción (3) + Siembra (1) (en sistema de siembra convencional) + Fertilización a la siembra (1) + cultivador de campo (2) + Pulverización terrestre (5) + escardillos (2) Cosechadora autopropulsada (1). Cada labor fue multiplicada por su Tiempo operativo (h/ha) y Consumo horario (acorde al HP del tractor utilizado para cada una) (lt/h), para la obtención del consumo de gasoil (l/ha/año). Posterior a la cosecha, la carga y acondicionamiento del algodón fue realizado por ocho personas mediante tarea manual.

**A.2.2. Detalle de referencias de Unidades de Valor Emergéticas (UVEs) utilizadas en Tabla 4.2**

#	PA 1999/2000	Valor UVE	Unidad	Año UVE	Referencia	Línea de Base Emergética original	Valor Final UVE ajustada (Brown & Ulgiati, 2016)
<b>Recursos Renovables</b>							
1	Radiación	1,00E+00	sej/J	1996	(a)	9,44E+24	1,00E+00
2	Evapotranspiración	2,94E+04	sej/J	1996	(c)	9,44E+24	3,73E+04
3	Viento	2,45E+03	sej/J	2000	(b)	1,58E+25	1,86E+03
4	Calor tierra	1,20E+04	sej/J	2000	(b)	1,58E+25	9,12E+03
<b>Recursos no Renovables</b>							
5	Pérdida de suelo	7,40E+04	sej/J	2000	(b)	1,58E+25	5,62E+04
6	Agua usada	1,46E+05	sej/J	1996	(c)	9,44E+24	1,85E+05
<b>Materiales (insumos comprados)</b>							
7	Semilla no OGM	6,79E+08	sej/g	2000	(d)	1,58E+25	5,16E+08
8	Gas oil	1,81E+05	sej/J	2010	(e)	1,50E+25	1,45E+05
9	Lubricante	1,70E+04	sej/J	2010	(e)	1,50E+25	1,36E+04
10	Fertilizante N	4,60E+09	sej/g	1996	(a)	9,44E+24	5,84E+09
	Fertilizante P	3,90E+09	sej/g	1996	(a)	9,44E+24	4,95E+09
11	Fungicida: Triadimenol	2,56E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	2,05E+10
	Fungicida: Diclofluanida	2,56E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	2,05E+10
12	Herbicida: Trifluralina	2,22E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	1,77E+10
	Herbicida: Cloromecuato	2,09E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	1,67E+10
	Herbicida: Thidiazuron	2,56E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	2,05E+10
	Herbicida: Diuron	2,56E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	2,05E+10
13	Insecticida: Teblubenzuron	4,02E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	3,22E+10
	Insecticida: Imidacloprid	4,02E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	3,22E+10
	Insecticida: Clorpirifos	2,01E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	1,61E+10
	Insecticida: Cipemetrina	4,18E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	3,34E+10
14	Maquinaria agrícola	6,70E+09	sej/g	1996	(f)	9,44E+24	8,51E+09
15	Labor (hh trabajadas)	5,10E+12	sej/h	1996	(h)	9,44E+24	6,48E+12
16	Servicios	1,75E+13	sej/USD	1996	(h)	9,44E+24	2,22E+13

**a.** Odum,1996; **b.** Odum et al., 2000; **c.** Buenfil, 2001; (tomado como agua de lluvia y subterránea); **d.** Rotolo et al., (2015b); **e.** Brown et al., 2011; **f.** Brown y Bardi, 2001; **g.** Agroquímicos. Cálculo propio, tomado de SimaPro 8,4. Base de Datos: EcoInvent 3,0. Método: CML. PreConsultants (MR). Ajustado por valor de transformidad del gasoil, Brown et al., 2011; **h.** La UVE Labor se calculó dividiendo la emergía anual de la economía del país (U) por su

población (NEAD, 2017) y por las horas año calendario (Odum, 1996). La UVE Servicios, se obtuvo de NEAD, 2017

Se utilizó la base de referencia de emergía global ( $1,20 \text{ E}+25 \text{ sej/año}$ ) calculada por Brown y Ulgiati, 2016) para todas aquellas UVEs obtenidas anterior a esa fecha.

## A.3. PA 2018

### A.3.1. Detalle de cálculos correspondientes a Tabla 4.3

**Sistema analizado** = Producción de Algodón (PA)

**Periodo de tiempo** = 1 año. Mayo 2017 a abril 2018 (2017/2018)

**Escala Espacial** = 1 hectárea=10.000 m<sup>2</sup>=1,00E+04 m<sup>2</sup>

Los datos fueron provistos por productores agropecuarios y validados por especialistas y expertos de la Asociación para la Promoción de la Producción del Algodón (APPA, <http://appasantafe.org.ar/>); Unión Agrícola de Avellaneda (UAA, <http://www.uaa.com.ar/>); Asociación Cooperadora de INTA Reconquista e INTA. Los precios en Pesos (y sin iva) fueron convertidos a USD (Dólares Estadounidenses), tomando como factor de conversión **1USD=\$18,22** para el periodo, según Banco Central de la República Argentina.

**1.Radiación solar** = Sumatoria de energía solar diaria recibida en el periodo de estudio = radiación anual acumulada (J/m<sup>2</sup>/año, Estación Meteorológica INTA Reconquista) \* albedo (20 %, expresado en decimal, Righini y Grossi Gallegos, 2011.) \* superficie (m<sup>2</sup>) = 6,26E+09 J/m<sup>2</sup>/año \* 0,2 \* 10.000 m<sup>2</sup> = **1,25E+13 J/ha/año.**

**2.Evapotranspiración potencial** = Evapotranspiración potencial (mm/año, Estación Meteorológica INTA Reconquista) \* densidad del agua (g/l) \* energía libre de Gibbs del agua (J/g, Odum,1996) \* superficie del área (m<sup>2</sup>) = 1,27 l/año \* 1000 g/l \* 4,94 J/g \* 10.000 m<sup>2</sup> = **6,27E+10 J/ha/año.**

**3.Viento** = Energía cinética del viento = velocidad de viento (m/s, Estación Meteorológica INTA Reconquista, a 2 m de altura) \* densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>, Odum, 1996) \* coeficiente de Drag (Garratt, 1992) \* superficie (m<sup>2</sup>) = (2<sup>^</sup>3 m/s) \* 3,15E+07 s/año \* 1,3 kg/m<sup>3</sup> \* 0,003 \* 10.000 m<sup>2</sup> = **9,83E+09 J/ha/año.**

**4.Calor interno de la tierra** = Flujo de calor por área (J/m<sup>2</sup>/año, Odum, 1996) \* superficie (m<sup>2</sup>) = 1,00E+06 J/m<sup>2</sup>/año \* 10.000 m<sup>2</sup> = **1,00E+10 J/ha/año.**

**5.Pérdida neta de suelo** = Tasa de erosión (kg/m<sup>2</sup>/año, software INTA USLE/RULE, Gvozdenovich et al., 2015) \* % materia orgánica del suelo (promedio últimos 5 años, INTA) \* contenido energético de la materia orgánica del suelo (kcal/g, Odum, 1996) \* conversión kcal a J \* superficie (m<sup>2</sup>) = 390 g/m<sup>2</sup>/año \* 0,015 \* 5,4 kcal/g \* 4.186 J/kcal) \* 10.000 m<sup>2</sup> = **1,32E+09 J/ha/año.**

**6.Agua Usada** = Agua usada por hectárea en aplicaciones terrestres de agroquímicos (l/ha/año, registro de productor agropecuario) \* densidad del agua (g/l) \* energía libre de Gibbs del agua (J/g, Odum, 1996) = 720 l/ha/año \* 1000 g/l \* 4,94 J/g = **3,56E+06 J/ha/año.**

**7.Semilla OGM** = semilla utilizada para la producción de una hectárea de algodón = 28 kg/ha/año = **2,80E+04 g/ha/año** (Registro de productor agropecuario). Variedad utilizada: Nuopal, transgénica resistente a lepidópteros y herbicida. Costo **14,59 USD/ha/año** (Ybran, 2017; UAA, 2018).

**8.Combustible** = Gasoil consumido (l/ha, registro de productor agropecuario) \* densidad del gasoil (kg/l, Ministerio de Energía y Minería, 2018) \* Poder Calorífico Inferior del gasoil -LHV- (kcal/kg, Ministerio de Energía y Minería, 2018) = 29,91 l/ha \* 0,8 kg/l \* 1,02E+04 kcal/kg \* 4,19E+03 J/Kg (conversión kcal a J; 1 kcal/kg = 4,19E+03 J/Kg) = **1,02E+09 J/ha/año.** Ver labores realizadas\*\*. Costo **36,26 USD/ha/año** (Ybran, 2017; UAA, 2018).

**9.Lubricante** = Lubricante utilizado (l/ha, registro del productor agropecuario) \* densidad del lubricante (kg/l, Ministerio de Energía y Minería, 2018) \* Poder Calorífico Inferior del lubricante -LHV- (kcal/kg, Ministerio de Energía y Minería, 2018) = 1,30 l/ha/año \* 0,9 kg/l \* 9,60E+03 kcal/kg \* 4,19E+03 J/kg (conversión kcal a J; 1kcal/kg = 4,19E+03 J/Kg) = **5,78E+07 J/ha/año**. Costo **4,35 USD/ha/año** (Ybran, 2017; UAA, 2018).

**10.Fertilizantes. N (nitrógeno)** = Nitrógeno usado (N kg/ha/año, registro de productor agropecuario) = [(80kg Urea ha/año \* 0,46 (% N) = 37 kg N/ha/año) + (50 kg FDA ha/año \* 0,18 (%N) = 9kg/ha/año)] = **4,58E+04 gN/ha/año**. CASAFE, 2013. Costo del fertilizante urea = **38,9 USD/ha/año** (Ybran, 2017). **P (fósforo)** = Fósforo usado (P Kg/ha/año, registro de productor agropecuario) = 50 kg FDA ha/año \* 0,46 (%P) = **2,30E+04 gP/ha/año**. CASAFE, 2013. Costo del fertilizante FDA = **26,3 USD/ha/año** (Ybran, 2017; UAA, 2018).

**11.Fungicidas** = Dosis aplicada a la semilla (200ml/100kg semilla; Gensus SA, 2018) \* concentración principio activo \* densidad (g/ml), (PPDB: Pesticide Properties DataBase; CASAFE, 2013). **Azoxystrobina** 56 (ml/ha) \* 0,075 (ppio activo) \* 1,34 (g/ml) = **5,63E+00 g/ha/año**; **Fludioxonil** 56 (ml/ha) \* 0,012 (ppio activo) \* 1,54 (g/ml) = **1,03E+00 g/ha/año**; **Metaloxil** 56 (ml/ha) \* 0,037 (ppio activo) \* 1,20 (g/ml) = **2,52E+00 g/ha/año**. Costo de fungicidas incluidos en valor de semilla (Ybran, 2017; UAA, 2018).

**12.Herbicidas** = Dosis aplicada (ml/ha, registro del productor agropecuario) \* concentración principio activo \* densidad (g/ml), (PPDB: Pesticide Properties DataBase; CASAFE, 2013). **2,4D** = 2000 (ml/ha) \* 0,57 (ppio activo) \* 1,57 (g/ml) = **1,81E+03 g/ha/año**; **Glifosato** = 4000 (ml/ha) \* 0,66 (ppio activo) \* 1,71 (g/ml) = **4,53+03 g/ha/año**; **Flurocloridona** = 1000 (ml/ha) \* 0,25 (ppio activo) \* 1,19 (g/ml) = **2,98E+02 g/ha/año**. **Acetoclor** = 1000 (ml/ha) \* 0,90 (ppio activo) \* 1,10 (g/ml) = **9,90E+02 g/ha/año**. **Cloromecuato** = 800 (ml/ha) \* 0,75 (ppio activo) \* 1,14 (g/ml) = **6,84E+02 g/ha/año**; **Thidiazuron** = 500 (ml/ha) \* 0,12 (ppio activo) \* 1,51 (g/ml) = **9,06E+01 g/ha/año**; **Diuron** = 500 (ml/ha) \* 0,06 (ppio activo) \* 1,48 (g/ml) = **4,44E+01 g/ha/año**; **Haloxifop** = 1000 (ml/ha) \* 0,24 \* 1,64 (g/ml) = **3,94E+02 g/ha/año**. Costos herbicidas = **9,13; 15,97; 10,28; 7,22; 11,06; 20,88\*; 42,54 USD/ha/año**, respectivamente (Ybran, 2017; UAA, 2018). \*El costo de thidiazuron y diuron forman parte de un mismo producto comercial.

**13.Insecticidas** = Dosis aplicada (ml/ha, registro del productor agropecuario; Gensus SA para curasemilla) \* concentración principio activo \* densidad (g/ml), (PPDB: Pesticide Properties DataBase; CASAFE, 2013). **Imidacloprid** = 392 (ml/ha) \* 0,15 (ppio activo) \* 1,54 (g/ml) = **9,06E+01 g/ha/año**; **Thiodicard** = 392 (ml/ha) \* 0,45 (ppio activo) \* 1,44 (g/ml) = **2,54E+02 g/ha/año**. **Cipermetrina** = 200 (ml/ha) \* 0,25 \* 1,25 (g/ml) = **6,25E+01 g/ha/año**. **Clorpirifos** = 800 (ml/ha) \* 0,48 \* 1,51 (g/ml) = **5,80E+02 g/ha/año**. **Mercaptotion** = 200 (ml/ha) \* 0,97 (ppio activo) \* 1,23 (g/ml) = **2,40E+03 g/ha/año**. Costos insecticidas = **1,24; 4,64 y 20,25 USD/ha/año**, respectivamente (Ybran, 2017; UAA, 2018). Imidacloprid y thiodicard fueron aplicados a la semilla y extrapolada su dosis por hectárea. El costo de los mismos está incluido en el costo de la semilla.

**14.Maquinaria agrícola** = peso asignado a la maquinaria usada = sumatoria de peso de la maquinaria usada (kg, Manual y fichas operativas de tractor e implemento) \* tiempo operativo de cada una (h/ha, Frank, 1977) / vida útil de cada maquinaria = 1,61 kg/ha = **1,61E+03 g/ha/año**. Ver labores realizadas\*\*.

**15.Labor** = Horas de mano de obra involucradas en manejo, conducción, seguimiento y tareas de post-cosecha (acondicionamiento y carga de algodón en bruto) = **7,37E+00 hh/ha/año** (Registro de productor agropecuario; Ybran, 2017). La cantidad de horas se estimó a partir de la cantidad y tiempo de labores, cantidad de personas, superficie trabajada y rendimiento obtenido, luego llevado a número de horas diarias laborables por año calendario.

**16. Servicios** = Sumatoria de los costos de los insumos y servicios utilizados = semillas + agroquímicos + combustible y lubricante + amortizaciones y gastos de mantenimiento de la maquinaria + valor maquinaria + servicio de terceros por carga y acondicionamiento de la cosecha = **299 USD/ha/año**. (Ybran, 2017; UAA, 2018; Lacelli, 2018, comunicación personal).

**18. Producto agrícola** = Algodón en bruto = **1,90E+06 g/ha/año** (Registro productor agropecuario). Precio de mercado del algodón = **5,21E-04 USD/g** (Ybran, 2017; UAA, 2018).

**\*\*Labores realizadas** = Siembra (1) (en sistema de siembra directa) + Fertilización (2; 1 a la siembra + 1 en pre-floración) + Pulverización terrestre (8) + Desmalezada (1) + Cosecha, Javiyú de arrastre (1). (Registros de productor agropecuario). Para carga y acondicionamiento de lo cosechado se utilizó cinta transportadora para la carga, tarea en parte mecanizada y en parte manual, realizada por seis personas. Cada labor fue multiplicada por su Tiempo operativo (h/ha) y Consumo horario (acorde al HP del tractor utilizado para cada una) (lt/h), para la obtención del consumo de gasoil (l/ha/año).

**A.3.2. Detalle de referencias de Unidades de Valor Emergéticas (UVEs) utilizadas en Tabla 4.3**

#	PA 2017/2018	Valor UVE	Unidad	Año UVE	Referencia	Línea de Base Emergética original.	Valor Final UVE ajustada (Brown & Ulgiati, 2016)
	<b>Recursos Renovables</b>						
1	Radiación	1,00E+00	sej/J	1996	(a)	9,44E+24	1,00E+00
2	Evapotranspiración	2,94E+04	sej/J	1996	(c)	9,44E+24	3,73E+04
3	Viento	2,45E+03	sej/J	2000	(b)	1,58E+25	1,86E+03
4	Calor tierra	1,20E+04	sej/J	2000	(b)	1,58E+25	9,12E+03
	<b>Recursos no Renovables</b>						
5	Pérdida de suelo	7,40E+04	sej/J	2000	(b)	1,58E+25	5,62E+04
6	Agua usada	1,46E+05	sej/J	1996	(c)	9,44E+24	1,85E+05
	<b>Materiales (insumos comprados)</b>						
7	Semilla OGM (UVE masa Mz)	1,98E+09	sej/g	2000	(d)	1,58E+25	1,50E+09
8	Gas oil	1,81E+05	sej/J	2010	(e)	1,50E+25	1,45E+05
9	Lubricante	1,70E+04	sej/J	2010	(e)	1,50E+25	1,36E+04
10	Fertilizante N	4,60E+09	sej/g	1996	(a)	9,44E+24	5,84E+09
	Fertilizante P	3,90E+09	sej/g	1996	(a)	9,44E+24	4,95E+09
11	Fungicida: Azoxystrobina	2,56E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	2,05E+10
	Fungicida: Fludioxonil	2,56E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	2,05E+10
	Fungicida: Metaloxil	2,56E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	2,05E+10
12	Herbicida: 2,4 D	1,98E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	1,58E+10
	Herbicida: Glifosato	2,54E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	2,03E+10
	Herbicida: Flurocloridona	2,56E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	2,05E+10
	Herbicida: Acetoclor	2,56E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	2,05E+10
	Herbicida: Cloromecuato	2,09E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	1,67E+10
	Herbicida: Thidiazuron	2,56E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	2,05E+10
	Herbicida: Diuron	2,59E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	2,07E+10
	Herbicida: Haloxifop	4,02E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	3,22E+10
13	Insecticida: Imidaclorpid	4,02E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	3,22E+10
	Insecticida: Thiodicard	4,02E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	3,22E+10
	Insecticida: Cipimetrina	4,18E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	3,34E+10
	Insecticida: Clorpirifos	2,01E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	1,61E+10
	Insecticida: Mercaptotion	1,93E+10	sej/g	2010	(g)	1,50E+25	1,55E+10
14	Maquinaria agrícola	6,70E+09	sej/g	1996	(f)	9,44E+24	8,51E+09
15	Labor (hh trabajadas)	4,14E+12	sej/h	2010	(h)	1,50E+25	3,31E+12
16	Servicios	2,51E+13	sej/U\$S	2010	(h)	1,50E+25	2,01E+13

**a.** Odum,1996; **b.** Odum et al., 2000; **c.** Buenfil, 2001; (tomado como agua de lluvia y subterránea); **d.** Rotolo et al., (2015b); **e.** Brown et al., 2011; **f.** Brown y Bardi, 2001; **g.** Agroquímicos. Cálculo propio, tomado de SimaPro 8,4. Base de Datos: EcoInvent 3,0. Método: CML. PreConsultants (MR). Ajustado por valor de transformidad del gasoil, Brown et al., 2011; **h.** Cálculo propio; la UVE Labor se calculó dividiendo la emergía anual de la economía del país (U, estimada estadísticamente para el año 2017) por su población en 2017 (Infostat, 2018) por las horas año calendario (Odum, 1996). El valor estimado de U para el año 2017, se calculó mediante recta de regresión estadística en base a U (2001-2014, NEAD 2017) con valor de  $r^2=0,82$  y  $p<0,0001$ . La UVE Servicios para el año 2017, se calculó dividiendo la emergía anual de la economía del país (U) estimada, por su producto bruto interno (PBI, Trading Economics, 2018) (U/PBI).

Se utilizó la base de referencia de emergía global ( $1,20E+25$  sej/año) calculada por Brown y Ulgiati, 2016) para todas aquellas UVEs obtenidas anterior a esa fecha.

**B. Sistemas productivos de referencia utilizados para el análisis del desempeño energético de la producción de algodón en bruto (PA) en 1980, 2000 y 2018. Tabla ordenada según valores de ESI (índice de sustentabilidad energética).**

Sistemas Productivos	EYR	ELR	ESI	%REN	Fuente
Pastizal natural en SGCC, 2007. Región Pampeana Arg.	80,70	0,17	468,00	sd	Rótolo, et al., 2007
Sistema tradicional de policultivos. 2006. Región selvática, México	12,20	0,10	116,00	91	Martín, et al., 2006
Vacunos en SGCC, 2007. Región Pampeana Arg.	3,73	0,55	6,80	sd	Rótolo, et al., 2007
<b>Algodón, 1980. (S.Fe, Argentina)</b>	<b>2,59</b>	<b>0,81</b>	<b>3,20</b>	<b>55</b>	<b>Datos de esta tesis</b>
Maíz-Trigo/Soja, 2015. Región Pampeana Arg.	2,19	1,19	2,45	48	Ferraro y Benzi, 2015
Soja, 1995. Región Pampeana Arg.	2,34	1,41	1,66	42	Rótolo, et al., 2014
Pastura implantada en SGCC, 2007. Región Pampeana Arg.	2,19	1,63	1,34	sd	Rótolo, et al., 2007
Trigo, 1986. Región Pampeana Arg.	2,09	1,62	1,30	38	Rótolo, et al., 2014
Soja, 1986. Región Pampeana Arg.	2,04	1,58	1,29	39	Rótolo, et al., 2014
Maíz, 1986. Región Pampeana Arg.	1,98	1,65	1,20	38	Rótolo, et al., 2014
Agricultura, 2010. China	1,68	2,10	0,80	32,00	Zhang, et al.,2016.
Soja, 2009. Región Pampeana Arg.	1,56	1,97	0,79	34	Rótolo, et al., 2014
Agricultura, 2010. Región Sur de Italia	1,55	2,33	0,67	30,00	Ghisellini et al., 2014
Maíz, 1995. Región Pampeana, Arg.	1,64	2,55	0,64	28	Rótolo, et al., 2014
<b>Algodón, 2000 (S.Fe, Argentina)</b>	<b>1,44</b>	<b>2,53</b>	<b>0,57</b>	<b>28</b>	<b>Datos de esta tesis</b>
Trigo, 1995. Región Pampeana Arg.	1,52	2,88	0,53	26	Rótolo, et al., 2014
Maíz, 2010. China	1,20	2,67	0,45	27	Zhang, et al., (2012).
<b>Algodón, 2018 (S.Fe, Argentina)</b>	<b>1,30</b>	<b>3,50</b>	<b>0,37</b>	<b>22</b>	<b>Datos de esta tesis</b>
Maíz, 2012. Región Pampeana, Arg.	1,24	4,38	0,28	19	Rótolo, et al., 2014
Trigo, 2009. Región Pampeana Arg.	1,25	4,50	0,28	18	Rótolo, et al., 2014
Agricultura, 2010. Región Norte de Italia	1,23	4,53	0,27	18	Ghisellini et al., 2014
Maíz, 2006. Kansas, EEUU	1,07	18,80	0,06	5	Martín, et al., 2006

## **C. Listado de instituciones agropecuarias y expertos entrevistados vinculadas a la producción y cluster del cultivo de algodón**

### **Instituciones Consultadas**

**APPA:** Asociación para la Promoción de la Producción del Algodón. Asociación civil creada en el año 2000 para promover la producción del algodón y su cadena de valor en la provincia de Santa Fe. Cuenta actualmente con más de 120 productores asociados y vinculados y por representantes referentes de los sectores de la cadena algodonera de la región (pertenecientes a los departamentos General Obligado, Vera y 9 de Julio). Promueve actividades afines a la gestión, desarrollo productivo y tecnológico del algodón, capacitaciones, financiamiento, información y estadística, entre otras.

<http://appasantafe.org.ar/>

**UAA:** Unión Agrícola de Avellaneda. Cooperativa Agropecuaria con 100 años de antigüedad, conformada por 1750 productores asociados, (no todos ellos productores específicos de algodón). Dentro de sus múltiples rubros y actividades cuenta con una Oficina de Desarrollo Agropecuario que brinda a los asociados, a través de profesionales calificados y en constante capacitación, el asesoramiento, información y estadística del algodón, como así también otras actividades agropecuarias. <http://www.uaa.com.ar/>

**INTA:** Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, que cuenta con un sistema de Extensión e Investigación Agropecuaria a nivel nacional y regional. En el norte de Santa Fe, se encuentra la Estación Experimental Agropecuaria Reconquista, con equipo de profesionales especialistas en la producción del algodón (trabajando en las disciplinas de Ecofisiología y Manejo del cultivo (adversidades bióticas y abióticas), como así también Mecanización) y Economía. <https://inta.gob.ar/reconquista>

**DOLBI S.A:** Empresa metalmecánica desarrolladora de implementos agrícolas. Produce sembradoras de granos gruesos y finos, rolos trituradores, subsoladores paratill, cultivadores de campo, fertilizadoras, trituradoras desmalezadoras y “cosechadoras de Algodón”; desarrollos conjuntos, entre equipos de investigación, técnicos y productores de vanguardia. En 2006, DOLBI fue seleccionada entre una serie de fabricantes de

maquinarias, para producir una Cosechadora de Algodón de innovadora tecnología, desarrollada por calificados ingenieros del INTA. La producción en serie de este nuevo implemento, ha devuelto a la empresa su tradicional posición de vanguardia en la industria algodonera. <http://www.dolbi.com.ar/>

### **Asociación Cooperadora INTA EEA Reconquista**

Entidad de carácter civil, bajo el nombre de "Asociación Cooperadora de la Estación Experimental Agropecuaria Reconquista", con el propósito de facilitar el desarrollo de las actividades que son función y responsabilidad del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. A tales efectos, entre sus múltiples funciones, cuenta con los registros de las actividades agropecuarias, sean estos, contables y técnicos operativos de las 1.200 hectáreas de campo de producción agrícola-ganaderas que cuenta la Institución; proveyendo de una amplia base de datos, de los manejos productivos disponibles desde el año 1973 hasta la actualidad. <https://inta.gob.ar/reconquista>

**Expertos, productores y referentes zonales entrevistados.** Entrevistas realizadas desde agosto de 2016 hasta diciembre de 2018.

**Ing. Agr. Orlando Pilatti\*:** Profesional Consulto de INTA, entre sus múltiples antecedentes, ocupó el cargo de Director de INTA Reconquista y como profesional en la misma entidad, desarrolló grandes aportes e innovaciones en maquinarias agrícolas, con énfasis en algodón. Entre sus logros desarrollados se destacan dos prototipos de cosechadoras de algodón, una cosechadora para el cultivo caña de azúcar y otra para granos, conocidas como Sapucay, Javiyú, La Reconquista y La Lola.

**Ing. Agr. Eduardo Delssin:** Actualmente asesor privado en la temática de algodón, liderazgo, gestión y estrategias institucionales. Ex Profesional de INTA, ocupó cargo de Director de la Estación Experimental Agropecuaria Reconquista y Director del Centro Regional Chaco-Formosa de INTA. Formó parte de APPA y cuenta con amplios antecedentes que lo vinculan al cultivo de algodón en proyectos de investigación y extensión rural.

**Ing. Agr. Gabriel Lacelli:** Profesional de la EEA Reconquista del INTA, actualmente integrante del grupo de economía agraria, ex Director de dicha Experimental. Miembro de la Comisión Directiva de la Asociación Argentina de Economía Agraria, vinculado al cultivo del algodón en actividades relativas a desempeño económico, márgenes brutos, estudios de riesgo y análisis de la cadena algodonera.

**Ing. Agr. Arturo Regonat:** Profesional del Área de Extensión y Desarrollo Rural; Jefe de la Agencia de Extensión Rural de Reconquista y Agente de Cambio Rural, ex Asesor Técnico de la Asociación Cooperadora del INTA Reconquista, vinculado al cultivo del algodón en actividades de manejo del cultivo y evaluación de pérdidas de cosecha.

**Ing. Agr. Omar Gregoret\*:** Profesional y ex Coordinador de la Oficina de Desarrollo Agropecuario de la UAA, actualmente en Relaciones Institucionales de dicha entidad. Participante ante la Cámara Argentina Algodonera, como referente de la Situación Productiva del Algodón de la Provincia de Santa Fe. Vinculado al algodón en temáticas de manejo del cultivo, MIP, estadísticas y mercados.

**Ing. Agr. Daniel Paiz\*:** Asesor privado de vasta trayectoria y ex dirigente de APPA (vicepresidente) por el Colegio de Ingenieros Agrónomos de Santa Fe. Ex-Profesional de INTA, en el área de Desarrollo y Extensión rural, en la temática Manejo Integrado de Plagas con énfasis en algodón. Ex director provincial de la Delegación Zona Norte del Ministerio de Recursos Naturales.

**C.P.N. Carlos Sartor:** Actual Presidente de APPA, representante de Algodonera Avellaneda S.A. Ex Secretario de Agricultura de la provincia de Santa Fe. Miembro de una empresa familiar desmotadora de algodón en la década del 80.

**Ing. Agr. Cristian Zorzón:** Asesor privado y productor agropecuario. Referente del cultivo de algodón. Actualmente integra la comisión directiva de APPA, en representación del Colegio de Ingenieros Agrónomos.

**Norberto Tomadín (†) \*:** Personal de la EEA Reconquista del INTA. Desempeñó sus funciones como capatáz del campo de producción agrícola de dicha Institución. Administrador de la gestión agropecuaria, de los registros y manejos productivos.

**Albino Brach\*:** Productor referente del algodón de la zona de Avellaneda, contando con más de 60 años de experiencia en este cultivo.

**Celso y Aníbal Muchut\*:** Productores referentes del cultivo de algodón, con amplia experiencia de su cultivo en el norte de Santa Fe, este de Santiago de estero y Chaco. C. Muchut, Ex Miembro de la Comisión Directiva de APPA y CONINAGRO. Prestadores de servicios agropecuarios vinculados al cultivo.

Otras personas quienes proporcionaron información fueron: Ing. Agr. Romina Ybran; Ing. Agr. Ana Brach; Ing. Agr. Gonzalo Scarpin\* (todos INTA); Ing. Agr. Dardo Bando\* (asesor privado); Marcelo Pucheta (Asociación Cooperadora de INTA Reconquista).

(\*) Todas estas personas, han aportado valiosa documentación y registros estadísticos de todas las campañas analizadas, pero en especial de la campaña agrícola algodонера 1979/80 proveniente de sus empresas familiares y/o de productores agropecuarios asesorados, como de su propia expertiz siendo profesionales de INTA durante ese periodo, datos que de otra manera hubiese dificultado su obtención.