



Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional del Comahue

La Huella de Carbono como indicador ambiental durante la poscosecha de peras agroecológicas en el Alto Valle del río Negro (Argentina).

Autora: Ing. Agr. Yesica Noelia Machuca

Director de Tesis: Master of Science María Claudia Dussi

Tesis presentada para optar al título de Magister en Intervención Ambiental
Orientación: Ingeniería Ambiental

Marzo de 2023

Agradecimientos

Agradezco a mi directora de tesis, Profesora Master of Science María Claudia Dussi, por sus cualidades académicas y humanas, por su guía, por enseñarme y ayudarme en cada paso; por la confianza y el apoyo que me ha brindado durante el desarrollo de mi trabajo en estos años.

Debo agradecer a la cátedra de Agroecología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Comahue y a los integrantes del grupo GESAF por el apoyo brindado y ser el marco institucional para la realización de esta tesis. A Liliana Flores y Cristina Fernández que de una u otra forma me han ayudado en este camino.

Quisiera agradecer de forma especial a la empresa y al Ing. Agr., Laino Ángel por su predisposición e información brindada, por permitir la realización de este estudio en sus instalaciones. Hago extensivo mis agradecimientos a su excelente grupo profesional, el Ing. Agr., Esteban Criado y la Ing. Agr., Marcia Domínguez quienes siempre estuvieron dispuestos a colaborar y dieron respuestas a mis extensísimos correos solicitando información.

Gracias a Pamela Fagotti, por el espacio brindado para que pueda dedicar tiempo a la escritura de la tesis, por su ayuda en búsquedas bibliográficas en poscosecha y por escuchar mis consultas.

En la misma línea, agradezco al Ing. Agr., Ismael Coria quien colaboró en la realización del inventario de materiales de empaque y embalaje.

Gracias a mis amigas del alma, que siempre están ahí. Por su comprensión, su apoyo y su aliento.

En el plano personal, quisiera dar las gracias a mi familia, por su amor incondicional y acompañarme en todo momento. A mi compañero de vida, Maximiliano, por su apoyo constante y ayudarme a que todo sea más fácil.

Finalmente, gracias a mis hijos Ramona y Gaspar, los amo infinito.

La autora.

Índice general

Resumen	1
Abstract	3
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 Hipótesis	10
1.2 Objetivos del trabajo de investigación.....	10
1.2.1 Objetivo General.....	10
1.2.2 Objetivos específicos.....	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 El problema del cambio climático	11
2.1.1 Efecto invernadero y sus gases.....	14
2.1.2 Inventario de gases efecto invernadero	15
2.1.3 PCG	17
2.1.4 Principales impactos ambientales de la agricultura y la industria alimentaria	18
2.2 Cadena de valor: el complejo frutícola en el Alto Valle de Río Negro	22
2.2.1 Estructura productiva: descripción y caracterización del complejo productivo en el Alto Valle de Río Negro.....	24
2.2.2 Sistemas productivos	32
2.3 El ambiente	36
2.3.1 Economía ecológica y las leyes de la termodinámica	38
2.3.2 Sustentabilidad	40
2.4 Definición de indicador	42
2.4.1 Relevancia de los indicadores ambientales. Indicadores ambientales de contabilidad basada en el consumo.....	43
2.5 HC: concepto y definición	46
2.5.1 Alcances y tipos de HC	48
2.5.2 Metodologías del cálculo de la HC.....	50
2.5.3 Marco normativo, nacional e internacional	52
2.6 Análisis de ciclo de vida: concepto y definición	57
2.6.1 Evolución histórica del Análisis de ciclo de vida y la creación de las normas ISO.....	60
2.6.2 Etapas de desarrollo de un Análisis de ciclo de vida.....	62
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE TRABAJO	67
3.1 Área de estudio	67
3.2 Alcance: Unidad funcional y límites del sistema.....	68

3.2.1	Sistemas estudiados y sus límites	68
3.2.2	Unidad funcional	70
3.3	Descripción y modelado del sistema	70
3.4	Recopilación de datos e Inventario del ciclo de vida.....	84
3.4.1	Cálculo de los consumos de energía eléctrica	86
3.5	Asignación de cargas	95
3.6	Modelado de escenarios.....	97
3.6.1	Escenarios de pre-frío y conservación frigorífica.....	98
3.6.2	Escenarios de embalaje.....	98
3.6.3	Escenarios de transporte	99
3.7	Evaluación del impacto del ciclo de vida	100
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		102
4.1	Consumos directos de la etapa poscosecha, empaque y frigorífico.....	102
4.1.1	Energía eléctrica de las instalaciones de acondicionamiento y empaque.....	102
4.1.2	Energía eléctrica del frigorífico y sus instalaciones	104
4.1.3	Otros consumos directos.....	107
4.1.4	Insumos relacionados con el embalado en la etapa poscosecha.....	110
4.1.5	Datos finales de consumos directos para la etapa poscosecha para los escenarios de almacenamiento	112
4.2	Contribución de los procesos unitarios a la HC: Impacto por Unidad Funcional.....	114
4.2.1	Participación de los procesos unitarios de poscosecha en la HC	114
4.2.2	Participación de embalaje en la HC.....	116
4.2.3	Participación del transporte en la HC	119
4.3	HC del sistema analizado.....	122
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN		125
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		137
6.1	Recomendaciones	137
6.1.1	Pautas de trabajo para reducir las pérdidas: descarte	137
6.1.2	Eficiencia energética y uso responsable de la energía eléctrica	138
6.1.3	Disminución en la cantidad de materiales para el envase y embalaje	141
6.1.4	Reducciones asociadas a incrementar la eficiencia en la fase de transporte	142
6.1.5	Agroecosistemas frutales con sumideros de carbono	143
6.2	Conclusiones	143
CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFÍA		146
CAPÍTULO VIII: ANEXOS		157

Índice de figuras

Figura 1. Modelo idealizado del efecto invernadero (MAyDS, 2019).....	15
Figura 2. Emisión de GEI de los sectores de la economía argentina durante 2016 como porcentaje de la emisión total de 364,44 Mt CO ₂ eq. (MAyDS, 2019).....	16
Figura 3. PCG reportado por el Segundo Informe de Evaluación del IPCC (MAyDS, 2019).....	18
Figura 4. Emisiones globales de GEI de origen antropogénico (GRAIM, 2011).	21
Figura 5. Distribución porcentual de las exportaciones del sector frutícola argentino correspondientes al año 2019. INDEC, 2019.	23
Figura 6. Diagrama de la estructura del complejo frutícola de manzanas y peras. Subsecretaría de Programación Microeconómica (SSPMicro) con base Senasa; Informes productivos Provinciales, Ministerio de Hacienda, 2017.....	25
Figura 7. Tipos de alcances 1,2 y3 de la HC y emisiones a través de la cadena de valor. SEMARNAT, 2005 y WRI y WBCSD, 2004.	49
Figura 8. ACV y HC como una de las categorías de impacto ambiental. Ihobe S.A., 2009.	58
Figura 9. Planteamiento de los límites utilizados en el ACV. Ihobe S.A., 2009.....	59
Figura 10. Estructura metodológica del ACV. ISO 14040; 2006.....	62
Figura 11. Imágenes satelitales mostrando la localización de la región del Alto Valle del río Negro donde se realizó el estudio. Google Earth, 2023.	67
Figura 12. Diagrama de todo el proceso para el suministro de peras orgánicas desde la producción hasta el consumidor. El marco de las líneas de puntos muestra los límites del sistema de este estudio abarcando el transporte de la materia prima, la poscosecha (empaque y frigorífico) y el transporte de comercialización hasta mayoristas.	69
Figura 13. Límites del sistema del ciclo de producción de peras orgánicas analizado en este estudio abarcando el transporte de la materia prima, la poscosecha y el transporte de comercialización hasta mayoristas. La parte inferior muestra un esquema detallado del proceso poscosecha modelado para el empaque y frigorífico como también los distintos escenarios planteados.	70
Figura 14. Ciclo ideal de refrigeración por compresión mecánica. Cajo Yumisaca F. y Yucta Montero J., 2012.....	74
Figura 15. Diagrama de flujo del proceso de empaque de peras orgánicas frescas estudiado.	79
Figura 16. Porcentaje del consumo de energía eléctrica para las operaciones unitarias de las diferentes secciones que componen la línea de empaque de peras orgánicas frescas. ARG, 2019.	103
Figura 17. Consumo de energía eléctrica en kW h por kilogramo de peras (kW h/UF) para el pre-frío y cámara de conservación de palés y bins. ARG, 2019.	107
Figura 18. Consumo de energía eléctrica en kW h por kilogramo de peras orgánica fresca (kW h/UF) para la planta de empaque, los pre-fríos (palés y bins) y la conservación en cámara frigorífica (palés y bins) en cada escenario de almacenamiento. El Escenario 1 corresponde a la fruta que se procesó “en caliente” directamente a la llegada de la chacra. En el Escenario 2 la fruta se procesó “en frío” con una duración	

del pre-frío de 2 días y de la conservación frigorífica de los bins de 15 días, mientras que el Escenario 3 donde la fruta también se procesó “en frío” el periodo de conservación de los bins perduró 30 días. ARG, 2019.	114
Figura 19. Correlación entre el peso de los embalajes utilizados en 1 Kg de peras orgánicas frescas y la HC (g de CO ₂ eq.) para todos los envases y sus respectivos materiales acompañantes. ARG, 2019.	118
Figura 20. Porcentaje de uso según el envase durante el acondicionamiento de las peras orgánicas. ARG, 2019.	119
Figura 21. HC (g CO ₂ eq/UF) del transporte. El transporte local hace referencia al traslado de la fruta orgánica desde la chacra a la planta de empaque y frigorífico, el transporte nacional al traslado de la fruta embalada desde de la planta de empaque y frigorífico al mercado mayorista de Buenos Aires y el transporte internacional al traslado de la fruta embalada desde de la planta de empaque y frigorífico a los mayoristas de Estados Unidos y Rusia saliendo del puerto de San Antonio Este (SAE) en la provincia de Río Negro-Argentina. ARG, 2019.	121
Figura 22. HC (%) de 1 Kg de peras orgánicas frescas (UF) abarcando el transporte de la materia prima, la poscosecha (empaque y frigorífico) y el transporte de comercialización hasta mayoristas. El transporte local hace referencia al traslado de la fruta orgánica desde la chacra a la planta de empaque y frigorífico, el transporte nacional al traslado de la fruta embalada desde de la planta de empaque y frigorífico al mercado mayorista de Buenos Aires y el transporte internacional al traslado de la fruta embalada desde de la planta de empaque y frigorífico a los mayoristas de Estados Unidos y Rusia. ARG, 2019.	123

Índice de tablas

Tabla 1. Ingresos de peras orgánicas por cultivar a la empresa empacadora durante el año 2019.	72
Tabla 2. Ingreso de peras orgánicas fresca (materia prima) a la planta de empaque/frigorífico para el año 2019.	73
Tabla 3. Distancia media de las chacras y número de viajes realizados en el año 2019 para el transporte de peras orgánicas frescas.	73
Tabla 4. Modalidad de trabajo en la línea de empaque de las peras orgánicas frescas realizado en el año 2019 por el establecimiento empacador.	78
Tabla 5. Distribución y destino de las peras orgánicas acondicionadas y embaladas en el año 2019.	84
Tabla 6. Cantidad de peras orgánicas según la modalidad de trabajo en la línea de empaque durante 2019.	96
Tabla 7. Kilogramos y porcentajes de peras orgánicas embaladas y descartadas en todo el proceso efectuado por la empresa en el año 2019.	96
Tabla 8. Asignación de cargas según valor económico.	97
Tabla 9. Escenarios de almacenamiento modelados para la pre-refrigeración y conservación en cámara frigorífica de bins o palés de peras orgánicas.	98
Tabla 10. Escenarios de transporte para la pera orgánica como materia prima y como productos embalados para la comercialización.	100
Tabla 11. Consumo de electricidad (kW h) en las sucesivas etapas de la línea de empaque de peras orgánicas. ARG, 2019.	102
Tabla 12. Consumo promedio de electricidad por kilogramos de pera orgánica (kW h/UF) para la modalidad de trabajo "en caliente" y "en frío", antes y después de la clasificación de los frutos. ARG, 2019.	104
Tabla 13. Horas de trabajo promedio en la línea de empaque para la modalidad de proceso "en caliente" y "en frío", kilos de peras volcados en la sección de la alimentación y kilos de peras embalados. ARG, 2019.	104
Tabla 14. Determinación de la carga térmica para cada una de las cámaras de refrigeración y pre-fríos utilizados por la empresa para la conservación de peras orgánicas. ARG, 2019.	105
Tabla 15. Estimación del coeficiente de performance y el consumo de energía eléctrica de los componentes del circuito frigorífico para las cámaras de refrigeración y pre-fríos utilizados en la conservación de peras orgánicas. ARG, 2019.	105
Tabla 16. Consumo de energía eléctrica en kW h para cada ciclo frigorífico en el pre-frío y cámara de conservación de bins con peras orgánicas.	106
Tabla 17. Consumo de energía eléctrica en kW h para cada ciclo frigorífico en el pre-frío y cámara de conservación de palé con peras orgánicas.	106
Tabla 18. Consumo de energía eléctrica por kilogramo de peras (kW h/UF) para el pre-frío y cámara de conservación de palés y bins por día. ARG, 2019.	107
Tabla 19. Consumo de agua potable en las instalaciones de la línea de empaque para el acondicionamiento y embalado de las peras orgánicas. ARG, 2019.	108
Tabla 20. Consumo de agua potable por UF según la modalidad de trabajo. ARG, 2019.	109

Tabla 21. Consumo de combustible GLP (g/UF) utilizado por los autoelevadores en el movimiento y traslado de bins y palés. ARG, 2019.....	109
Tabla 22. Consumo de Aceite lubricante y R-717 (g/UF) utilizado en los equipos e instalaciones frigoríficas. ARG, 2019.....	110
Tabla 23. Materiales necesarios para montar los diferentes tipos de embalajes en las peras orgánicas frescas, incluyendo los materiales para preparar la unidad de carga (palés) para el transporte. ARG, 2019.	111
Tabla 24. Aporte relativo por tipo de envase para los materiales utilizados en el embalaje de peras orgánicas frescas, incluyendo los materiales para preparar la unidad de carga (palés) para el transporte. Los valores se dan por UF (1 kg de peras). ARG, 2019.	111
Tabla 25. Insumos del proceso de poscosecha de peras orgánicas frescas. Los valores se dan por UF (1 kg de peras) para los 3 Escenarios de pre-frío y conservación frigorífica en cada uno de los procesos unitarios establecidos en los límites del sistema evaluado. ARG, 2019.	113
Tabla 26. HC (g de CO ₂ eq.) en la cadena de poscosecha de 1 kg de peras orgánicas frescas (Unidad Funcional) para los 3 escenarios de pre-frío y conservación frigorífica. ARG, 2019.	115
Tabla 27. HC para el embalaje de fruta en la poscosecha. El impacto esta expresado en gramos de CO ₂ eq, y los resultados se refieren a la UF (1 kg de peras), para los cinco escenarios preestablecidos en este estudio. ARG, 2019.	117
Tabla 28. Aporte relativo de la HC (g de CO ₂ eq) de 1 Kg de peras orgánicas frescas (UF) de acuerdo al tipo de envase y su porcentaje de uso en el embalado. ARG, 2019. .	119
Tabla 29. HC (g CO ₂ eq) de 1 Kg de peras orgánicas frescas (UF) generada por el transporte local, nacional e internacional. ARG, 2019.....	120
Tabla 30. HC (g CO ₂ eq) de 1 Kg de peras orgánicas frescas (UF) a través del aporte relativo del tipo de transporte y su correspondiente porcentaje para el traslado local de la materia prima y el transporte nacional e internacional de la fruta orgánica embalada a los mayoristas. ARG, 2019.	121
Tabla 31. HC (g de CO ₂ eq) de 1 Kg de peras orgánicas frescas (UF) en la etapa posterior a la cosecha de peras orgánicas, abarcando el transporte de la materia prima, la poscosecha (empaques y frigorífico) y el transporte de comercialización hasta mayoristas internacionales por exportación de ultramar. ARG, 2019.....	122
Tabla 32. HC (g de CO ₂ eq) de 1 Kg de peras orgánicas frescas (UF) en la planta de empaque y frigorífico. ARG, 2019.	124

Resumen

Las cadenas de suministro de alimento están cada vez más asociadas con los impactos ambientales y socioeconómicos. El tamaño de una población mundial cada vez mayor y los cambios en los modelos de consumo plantean serios desafíos para la sustentabilidad de la producción de alimento. En el caso de los países en vías de desarrollo, como lo es la Argentina, un patrón exportador más acorde con las aspiraciones del desarrollo sostenible y menos vulnerable al clima, exige a los sectores productivos avanzar rápidamente en la cuantificación y disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El análisis del ciclo de vida (ACV) es una metodología de estudio de las cadenas agroindustriales que estima la Huella de Carbono (HC), un indicador ambiental que mide la emisión de GEI. En este estudio el ACV se utilizó para obtener la HC de la producción orgánica de peras cultivadas en el Alto Valle del río Negro, durante la etapa posterior a la cosecha, e identificar las etapas del proceso ambientalmente más sensibles. Para el cálculo de la HC, se utilizaron las normas PAS 2050, ISO 14040 (Principios y marco de referencia) e ISO 14044 (Requisitos y guía para el ACV). El estudio incluyó la determinación y cuantificación de las emisiones de GEI asociadas al transporte local, el empaque, y la conservación y comercialización nacional e internacional por unidad funcional (UF). La UF correspondió a 1 kg de peras frescas dispuesta para ser consumida. El límite espacial y temporal del estudio abarcó desde el momento en que las peras se cosecharon, hasta su transporte a los mayoristas. Se recopilaron datos durante 2019 de una empresa dedicada a la producción, el empaque, la conservación y la exportación de frutas frescas, y se analizaron diferentes escenarios para la conservación, el envasado y el transporte. Los procesos clave en la cadena de suministro se identificaron en base a la elaboración de encuestas, las mediciones efectuadas en el sitio, las entrevistas con los propietarios, gerentes, jefes de planta y responsables de calidad, y la información secundaria. La HC total se estimó en 534,98 g CO₂ eq/UF. El transporte de la fruta embalada hasta el mayorista representó 313,13 g CO₂ eq/UF (58% de la HC total), el acondicionamiento y empaque 135,05 g CO₂ eq/UF (25%), el uso de las instalaciones frigoríficas para el pre-enfriado y la conservación 77,95 g CO₂ eq/UF (15%) y el transporte local desde las unidades productivas al establecimiento empacador 9 g CO₂ eq/UF (2%). La HC de la etapa previa al transporte a mayoristas fue 212,85 g CO₂ eq/UF, involucrando el uso de materiales para el empaque y embalaje (59,61%) y el uso de la energía eléctrica para los procesos de pre-enfriado, conservación y empaque (40,11%). El uso de combustibles para el transporte al mayorista internacional, el material para el acondicionamiento y embalaje, y el uso de energía eléctrica fueron los impulsores de la mayor emisión de GEI. En el acondicionamiento y la conservación frigorífica de las peras hubo un elevado consumo de energía eléctrica y materiales. El alto porcentaje de fruta destinada a la industria también afectó negativamente la HC. Se recomienda mejorar los procesos industriales y logísticos vinculadas a la producción de pera orgánica de exportación, para reducir las pérdidas de materia prima, hacer un uso más responsable de la energía eléctrica y disminuir la cantidad de material para el envase y embalaje.

Palabras clave

Acondicionamiento y embalaje
Análisis del ciclo de vida
Cambio climático
Conservación

Gases de efecto invernadero
Potencial de calentamiento global
Transporte

Abstract

Food supply chains are increasingly associated with environmental and socioeconomic impacts. An ever growing world population and changes in consumption patterns pose serious challenges to the sustainability of food production. In the case of developing countries, such as Argentina, productive sectors are required to make rapid progress in the process of quantifying and reducing Greenhouse Gas (GHG) emissions in order to achieve an exporting pattern more in line with the aspirations of sustainable development and less vulnerable to climate. The Life Cycle Analysis (LCA) is a methodology used for the study of agro-industrial chains that estimates the Carbon Footprint (CF), an environmental indicator that measures GHG emissions. In this study, the LCA was used in order to obtain the HC of the organic production of pears grown in the Alto Valle del río Negro region during the post-harvest stage and identify the most environmentally sensitive stages of the process. For the calculation of the CF, the standards PAS 2050, ISO 14040 (Principles and reference framework) and ISO 14044 (Requirements and guidelines for the LCA) were used. The study included the determination and quantification of the GHG emissions per functional unit (FU) associated with local transportation, packing, and both conservation and marketing at national and international level. The FU corresponded to 1 kg of fresh pears ready to be consumed. The spatial and temporal limit of the study extends from the moment the pears were harvested to their transportation to wholesalers. During 2019, data from a company engaged in the production, packing, conservation and export of fresh fruit were collected and different scenarios for conservation, packing and transportation were analyzed. Key processes in the supply chain were identified by means surveys, measurements carried out on site, interviews with owners, managers, plant managers and quality managers. Secondary information was also used. The total HC was estimated at 534.98 g CO₂ eq/FU. The transport of the packed fruit to the wholesaler accounted for 313.13 g CO₂ eq/FU (58% of the total CF). Conditioning and packing was 135.05 g CO₂ eq/FU (25%). The use of refrigeration facilities for pre-cooling and conservation was 77.95 g CO₂ eq/FU (15%). And local transportation from the productive units to the packing establishment represent for 9 g CO₂ eq/FU (2%). The CF of the stage prior to transportation to wholesalers was 212.85 g CO₂ eq/FU, involving the use of materials for packaging and packing (59.61%) and the use of electrical energy for pre-cooling, conservation and packaging processes (40.11%). The use of fuels for transportation to the international wholesaler, the material used for conditioning and packing, and the use of electrical energy were the drivers of the highest GHG emissions. During the conditioning and the cold storage of pears, consumption of electrical energy and materials was high. The large percentage of fruit destined for industry also negatively affected the CF. It is recommended that the industrial and logistical processes linked to the production of organic pear for export should be improved so as to reduce losses of raw material, make a more responsible use of electrical energy and reduce the amount of material used for packaging and packing.

Key words

Conditioning and packaging
Life Cycle Assessment
Climate change
Preservation
Greenhouse gases

Global warming potential
Transportation

Las cadenas de suministro de alimentos (que abarcan la producción, el comercio, la distribución, el consumo y la producción de residuos), están cada vez más asociadas con los impactos ambientales y socioeconómicos. El tamaño de una población mundial cada vez mayor y los cambios en los modelos de consumo plantean serios desafíos para la sustentabilidad general de la producción y el consumo de alimentos (Sala *et al.*, 2017). En este sentido, varios autores mencionan que, con más de siete mil millones de personas en el mundo, la producción de alimentos conlleva un enorme costo ambiental (Tilman *et al.*, 2001; Garnett, 2011). Es por ello que los sistemas alimentarios están contemplados en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (UN, 2015), que implica un compromiso global para erradicar la pobreza y el hambre al tiempo que se garantiza la reducción de los impactos ambientales y socioeconómicos. Entre ellos se destaca el objetivo 2: “Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible” y el objetivo 12 “Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles”.

Para las Naciones Unidas, garantizar el desarrollo humano sostenible significa poder alimentar a un planeta con una población creciente, desacoplar el desarrollo socioeconómico del impacto ambiental y abordar los cambios de la demanda de alimentos y energía.

Los sistemas productivos agrícolas han estado agotando los recursos de la Tierra y contribuyendo significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la pérdida de fertilidad del suelo y biodiversidad, la escasez de agua y la liberación de grandes cantidades de nutrientes y contaminantes que afectan la calidad del ecosistema (McMichael *et al.*, 2007). Dussi *et al.* (2018b) señalan que el sector agropecuario posee una alta demanda energética y como consecuencia de esto emite 17 a 32% de las emisiones de GEI mundiales. Notarnicola *et al.* (2017) mencionan que, si no cambia la forma en que se produce y consume alimentos, y en vista de la necesidad de aumentar la producción de alimentos en más del 60% para 2050 (FAO *et al.*, 2015), los impactos ambientales asociados con los sistemas de producción de alimentos se volverán aún más severos y superarán cada vez más los límites planetarios.

Este panorama se complejiza por una tendencia actual del mercado mundial que considera a los alimentos solo como mercancías (van der Ploeg, 2019), y que se caracteriza por la

inestabilidad de precios y el carácter fuertemente oligopólico de las grandes empresas, que controlan partes importantes y en expansión de los procesos de producción, procesamiento, distribución y consumo de alimentos. van der Ploeg (2019) denomina a estas empresas “Imperios Alimentarios”, al ser redes operadas a nivel global responsables de controlar los flujos de materias primas (*commodities*) para apropiarse del valor producido en otros lugares u obtenidas mediante la explotación de la naturaleza y que, por sí mismas, no añaden valor. Estas redes controlan los flujos de alimentos, inclusive el transporte y el procesamiento de los productos agrícolas, utilizando múltiples estrategias para definir qué y cómo se produce y qué se va a consumir. En ellas se generan constricciones que obligan al agricultor a adoptar estrategias productivas para no quedar marginado del mercado, provocando desperdicios en la producción y los recursos productivos (Llistosella y Sánchez Cuxart, 2019). Esto contribuye a agravar la crisis ecológica, que se manifiesta tanto en la degradación ambiental en términos del cambio climático como también en los problemas de aprovisionamiento de bienes naturales (Sabbatella, 2010).

Esta problemática y las crisis económicas, sociales y políticas de nuestro tiempo no se pueden entender aisladamente ya que tienen características sistémicas. Por lo tanto, una mentalidad holística es fundamental no sólo para abordarla sino para buscarle soluciones efectivas.

Según Valderrama *et al.* (2011) el debate sobre el cambio climático ha trascendido al comercio internacional y, es liderado por los países con compromisos de reducción de emisiones. Este especial interés es motivado fundamentalmente por la preocupación de los países comprometidos por las posibles pérdidas de competitividad de sus productores, quienes estarían compitiendo con otros exportadores con menores costos de emisión que no han asumido obligaciones climáticas (De la Torre *et al.*, 2009).

En el caso de los países en vías de desarrollo, como lo es la Argentina, un patrón exportador más acorde con las aspiraciones del desarrollo sostenible y menos vulnerable a las exigencias climáticas, exige a los sectores productivos avanzar rápidamente en los procesos de cuantificación y disminución de los GEI (Schneider y Samaniego, 2009; Clément y Lenne, 2010).

La fruticultura es la principal actividad económica en los valles irrigados de Río Negro y Neuquén, concentrando para el año 2019 el 90% de la producción de peras y manzanas de todo el país y el 95% de las exportaciones en fresco e industriales de estas frutas (Sánchez, 2020). En este marco, tanto las empresas frutícolas como los pequeños y

medianos productores no deben estar exentos de la búsqueda de la sustentabilidad, más aún si se tiene en cuenta que todas las actividades humanas tienen un impacto sobre el ambiente y producen GEI durante su producción, transporte, almacenamiento, uso y disposición final. Por esta razón es importante tomar conciencia de la responsabilidad ambiental de cada actividad y desarrollar herramientas para cuantificar, analizar y mejorar las producciones agropecuarias.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) regula seis GEI principales: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hexafluoruro de azufre (SF₆), hidrofluorocarbonos (HFC), y los perfluorocarbonos (PFC) (IPCC, 2006a).

La Huella de Carbono (HC) ha surgido como una medida de la cuantificación del efecto de estos GEI y se expresa en cantidades de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq) emitidos a la atmósfera (ISO, 2006a y 2006b). En la actualidad se utiliza como un indicador de los impactos provocados por las actividades del hombre en el entorno (Wittneben y Kiyar, 2009).

Los indicadores son los instrumentos que permiten evaluar la sustentabilidad (Venegas, 1998) y la HC se utiliza como un indicador agroecológico. Dussi y Flores (2017) describen la agroecología como una disciplina científica que reúne, sintetiza y aplica conocimientos de la agronomía, la ecología, la sociología, la etnobotánica, y otras ciencias afines, con una óptica holística, sistémica y un fuerte componente ético, para generar conocimientos, validar y aplicar estrategias adecuadas para diseñar, manejar y evaluar agroecosistemas sustentables. Las autoras hacen hincapié en que en los últimos años se analizan los sistemas agroalimentarios con enfoques y métodos multiescalares y transdisciplinarios donde se estudian además de la producción alimentaria, el procesamiento y mercadeo (*marketing*), y las decisiones políticas y económicas y los hábitos del consumidor en la sociedad.

También, varios investigadores recalcan el uso de la HC como herramienta multipropósito ya que puede ser utilizada en la gestión de carbono para lograr la reducción de los GEI a partir de una disminución en el consumo energético, y como estrategia de diferenciación de mercado donde los consumidores pueden inclinarse por la elección de alimentos producidos de manera respetuosa con el ambiente (Ewing *et al.*, 2012; Zervas y Tsiplakou, 2012; Dussi *et al.*, 2018b).

Al aplicar la HC a la producción de alimentos, se consideran todas las emisiones que generan las actividades involucradas en el ciclo de vida del producto (Papendieck, 2010).

En este sentido, el marco para determinar la HC es proporcionado por el análisis de ciclo de vida (ACV). Según Viglizzo (2010), en el sector agroalimentario el ACV supone un estudio detallado de las cadenas agroindustriales que estima, a través de varios indicadores (entre ellos HC y/o potencial de calentamiento global (PCG)), los impactos de cada eslabón sobre el ambiente.

El ACV es una de las herramientas más completas de valoración ambiental y en la actualidad, muchos autores la han utilizado para evaluar la sustentabilidad ambiental asociada con los sistemas agroalimentarios (Longo *et al.*, 2017; Sala *et al.*, 2017; Boschiero *et al.*, 2019).

En el ACV se analizan, documentan y cuantifican las cargas ambientales de la vida completa del producto y su servicio asociado. El análisis no se concentra en los productos, procesos productivos o patrones de consumo de manera aislada, sino que estudia el sistema del producto, el cual se amplía a todos los procesos y actividades que conforman su ciclo de vida, y su efecto sobre los elementos de la crisis ambiental (Liu *et al.*, 2010).

Esta metodología se ha utilizado para estudiar los sistemas de producción de fruta, entre los que puede mencionarse los trabajos de Blanke y Burdick, 2005; Mila i Canals *et al.*, 2006; Mouron *et al.*, 2006; Sim *et al.*, 2007; Akdemir *et al.*, 2012; Cerutti *et al.*, 2015; Alaphilippe *et al.*, 2013; Keyes *et al.*, 2015; Longo *et al.*, 2017; Dussi *et al.*, 2018b.

McLaren *et al.* (2010) estudiaron la gestión del carbono en el sector agrícola primario de Nueva Zelanda en especies frutales como la manzana y el kiwi, y observaron que la variabilidad entre chacras y de rendimiento, almacenamiento de carbono en los suelos y asignación entre grados de calidad en la fruta son los aspectos que más incertidumbre acarrearán cuando se realizan estudios de ACV.

Recientemente, Boschiero *et al.* (2019) estudiaron las emisiones de GEI y el consumo de energía durante la poscosecha de manzanas afectadas por el tipo de almacenamiento, embalaje y transporte. Sus resultados indicaron que el empaque de la fruta y la refrigeración son los dos principales procesos que más contribuyeron a las emisiones de GEI y al potencial de calentamiento global.

Varios autores han trabajado este tema en distintos países de América del Sur (Stemshorn *et al.*, 2012) sobre diversos sistemas y productos. En Chile se obtuvo la HC de la industria vitivinícola (Cerdeira *et al.*, 2010) y se trabaja en el cálculo de la huella de diferentes productos agrícolas. En Uruguay se obtuvo la HC de la producción de leche (Diaz Rossello y Durán, 2011). En la Argentina se calculó la HC de la producción de vino en la provincia de Mendoza (Curadelli *et al.*, 2011; Civit *et al.*, 2012) y se está avanzando sobre

el análisis de la HC de los sectores lechero, cerealero, oleaginoso y de la carne bovina (Galbusera y Hilbert, 2011).

En la zona frutícola de la Patagonia argentina, Fernández (2017) estableció la HC en la producción primaria de manzanas hasta el momento de la cosecha, lo que se conoce como “de la cuna a la puerta” y Dussi *et al.* (2018b) determinó la HC e identificó las labores culturales con mayor emisión en la producción orgánica de manzanas.

Hasta la fecha no se ha realizado ninguna investigación que involucre la etapa posterior a la cosecha de la fruta a nivel de producción local a pesar de la importancia del sector. Esta etapa se conoce como fase de “poscosecha” donde se incluye operaciones de enfriamiento, limpieza, clasificación y empaque (Rees *et al.*, 2012). Después de un período de conservación (de unos pocos días a 12 meses), los frutos se transportan desde la empacadora a los mercados regionales, nacionales o internacionales.

Por lo tanto, el ímpetu para esta investigación está en identificar oportunidades para mejorar el desempeño ambiental del sector productivo de las peras una vez que han sido cosechadas. Se espera que este tema cobre gran interés debido a las implicancias asociadas a las barreras comerciales no arancelarias y a un concepto que se ha popularizado en los últimos años como “food miles”, haciendo referencia a la forma y distancia que viajan los alimentos entre su producción y el consumo final (Jones 2001 y Pirog *et al.*, 2001). Algunos atributos asociados a este concepto involucran criterios relacionados con la logística, las prácticas de distribución y las pérdidas físicas de alimentos (Aliotte y Olivera 2022). Recientemente, las “food miles” se han vinculado a la contabilidad de las emisiones de GEI y en concreto al cálculo de la HC como indicador biofísico de presión ambiental y de sostenibilidad (Weber *et al.*, 2008; Wiedmann y Minx 2008, Caputo *et al.*, 2013). Según Li *et al.* (2022), las cadenas de suministro globales producen 3,0 GtCO₂ en emisiones para el transporte y más de un tercio de esto está asociado con la distribución de alimentos de origen vegetal. Sumado a esto se han desarrollado a nivel internacional las normas PAS 2050, guía metodológica para el cálculo de la HC, enmarcada en los ACV e ISO 14067 de HC y el etiquetado. La región del Comahue de la Patagonia argentina no puede quedar aislada ya que la fruta se exporta a países de distintas partes del mundo; pero también hay una creciente conciencia de la sociedad local por el cuidado del ambiente que está interesada en conocer cuáles son los impactos de la actividad.

1.1 Hipótesis

- Es posible determinar la HC producida durante la poscosecha de peras agroecológicas en el Alto Valle del río Negro (Argentina), a lo largo de su ciclo de vida.
- Se puede reducir la HC de esta actividad mediante la implementación de estrategias para mitigar su impacto ambiental.

1.2 Objetivos del trabajo de investigación

1.2.1 Objetivo General

Determinar la HC durante la poscosecha de peras agroecológicas e identificar y proponer estrategias para mitigar su impacto ambiental en el Alto Valle del río Negro, Argentina.

1.2.2 Objetivos específicos

- Elaborar un inventario del ciclo de vida para la etapa de poscosecha de peras agroecológicas.
- Realizar el ACV del acondicionamiento, conservación y transporte para distintos escenarios en el manejo poscosecha de peras.
- Caracterizar y evaluar los puntos críticos de mayores emisiones de GEI en el ciclo de vida.
- Determinar la HC y establecer correlaciones con los factores de emisión.

2.1 El problema del cambio climático

El cambio climático antropogénico es una variación persistente del clima atribuida, directa o indirectamente, a la actividad humana durante períodos de tiempo comparables, y adicional a la variabilidad climática natural. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)¹ (1992), define el Cambio Climático como un “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”.

Este cambio climático se debe principalmente al aumento de la concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero (GEI) asociada a la generación de energía con quema de combustibles fósiles, la generación de residuos urbanos, la agricultura, la ganadería y la deforestación, entre otras actividades (IPCC, 2007).

Para el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés)² (2007), el término “cambio climático” denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. Este proceso de deterioro del ambiente empezó a generar cambios en la calidad y cantidad de los recursos naturales. La situación despertó el interés de diferentes grupos ambientalistas y de científicos y fueron ellos los que pusieron en conocimiento de los ciudadanos las primeras alertas de las consecuencias que esta excesiva destrucción y nivel de consumo podrían generar.

El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropogénicos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso de la tierra. Así mismo, afirma que la incorporación de CO₂ antropógeno desde el año 1750 ha intensificado la acidez de las capas superficiales del océano. En esta línea, en su

¹ Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC): Firmada en 1992 en la Cumbre de Río de Janeiro, la CMUNCC es el tratado fundamental en materia de cambio climático que ofrece un contexto global para los esfuerzos internacionales para mitigar el cambio climático.

² Brinda un apoyo científico a la CMUNCC a través de metodologías de trabajo para construir el inventario nacional de GEI de los distintos países del mundo.

informe del año 2014, el IPCC menciona que es “extremadamente probable” que el aumento en la concentración atmosférica de GEI haya sido la causa dominante del calentamiento observado en la Tierra desde la mitad del siglo XX que trae asociado fenómenos como el ascenso del nivel del mar y un cambio en el clima. La concentración atmosférica de los GEI como dióxido de carbono, metano y óxidos de nitrógeno, es actualmente, la mayor detectada desde hace 800.000 años, según dicho informe. Recientemente, el IPCC informó que el calentamiento global incrementa alrededor de 0,2 °C por década desde la etapa preindustrial, lo cual indicaría que si esta tasa se mantiene entre los años 2030-2050 es muy probable que el incremento llegue o supere 1,5 °C (IPCC, 2020). Este aumento está vinculado al proceso de industrialización iniciado hace más de un siglo y, en particular, a la combustión de cantidades cada vez mayores de petróleo y carbón, la deforestación, el incremento de la ganadería y la agricultura industrial.

Con el pasar del tiempo y ante el incremento desmedido de los procesos y sistemas productivos, enmarcados dentro de una lógica netamente consumista, el daño al ambiente se hizo más evidente e innegable. El cambio climático es una problemática que requiere de la participación y concientización de la sociedad; principalmente sobre la responsabilidad de cada uno en la disminución de los impactos que generan en el ambiente y la necesidad de iniciar acciones frente a la mitigación, adaptación y compensación del cambio climático (Alfonso Corredor, 2015).

Estos fenómenos globales de diversa forma y grado afectan y afectarán los ecosistemas y los sistemas socioeconómicos de diferentes regiones del planeta. Todos los países son y serán impactados y la Argentina no es la excepción. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable (MAyDS, 2020) publicó las vulnerabilidades e impactos adversos asociados al cambio climático en las diferentes regiones de la Argentina. Para las Regiones Patagonia y Patagonia Norte, donde se encuentra las provincias de Neuquén y Río Negro ya se puede observar:

- Reducción de caudales de ríos y disminución de la disponibilidad de agua, que impacta negativamente en la generación de energía hidroeléctrica, el riego y el abastecimiento de agua.
- Riesgo de inundación y pérdida de infraestructura por el ascenso del nivel del mar en zonas costeras.
- Mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos, asociados a precipitaciones, vientos, heladas, nevadas e incluso olas de calor.

- Impactos sobre el sistema eléctrico y las vías de comunicación terrestres ante un incremento de la frecuencia e intensidad de eventos extremos, con potencial aislamiento de poblaciones humanas y desabastecimiento.
- Incremento de sequías, mayor evapotranspiración e intensificación del proceso de desertificación.
- Agravamiento del riesgo de pérdida del suelo por erosión, que agudiza el proceso de desertificación y, por tanto, afecta las actividades productivas agrícolas-ganaderas, lo que provoca el éxodo rural y una mayor concentración de población en ciudades.
- Pérdida de recursos escénicos por el retroceso de glaciares y bosques naturales debido a incendios).
- Aumento de periodos de extrema sequía que promueven condiciones favorables para el desarrollo de incendios forestales provocando una mayor exposición y daños en la población humana y la fauna y flora silvestre y exótica.
- Mayor presencia de vectores y la ampliación de la distribución de enfermedades vectoriales por el aumento de las temperaturas medias y otras condiciones climáticas.

Es por ello que, en diciembre de 2015, en la COP 21 de París, Argentina junto a las demás partes de la CMNUCC lograron el Acuerdo de París³, con el objeto de reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza. Cada nación se comprometió a intensificar las acciones destinadas a limitar el aumento de las emisiones de GEI y a promover la resiliencia de la sociedad al cambio climático. En un marco de responsabilidades comunes pero diferenciadas, cada país que integra la CMNUCC define, en base a sus circunstancias nacionales, sus propias metas y esfuerzos para cumplir con el objetivo, y los comunica a través de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) (MAyDS, 2020).

A nivel internacional, el tema de cambio climático se ha convertido en una preocupación global motivo por el cual la división de Comercio Internacional e Integración de la Comisión económica para América Latina y El Caribe (CEPAL) durante los años 2012 y

³ El Acuerdo de París es un tratado internacional sobre el cambio climático jurídicamente vinculante. Fue adoptado por 196 Partes en la COP21 en París, en el año 2015 y entró en vigor el 4 de noviembre de 2016. Su objetivo es limitar el calentamiento mundial a muy por debajo de 2, preferiblemente a 1,5 grados centígrados, en comparación con los niveles preindustriales.

Para alcanzar este objetivo de temperatura a largo plazo, los países se proponen alcanzar el máximo de las emisiones de GEI lo antes posible para lograr un planeta con clima neutro para mediados de siglo.

El Acuerdo de París es un hito en el proceso multilateral del cambio climático porque, por primera vez, un acuerdo vinculante hace que todos los países se unan en una causa común para emprender esfuerzos ambiciosos para combatir el cambio climático y adaptarse a sus efectos.

2014 realizó el proyecto “Fortalecimiento de las capacidades nacionales de los sectores exportadores en América Latina y el Caribe para afrontar los retos del cambio climático” (CEPAL, 2013). Uno de los objetivos del proyecto fue “fortalecer las capacidades de gobiernos y exportadores de alimentos para que tengan el conocimiento de cómo enfrentar los desafíos que se plantean para el comercio internacional y las diversas iniciativas relacionadas con el cambio climático” dentro del cual se menciona la HC (Frohmann *et al.*, 2015).

Los impactos que hoy sufre el planeta obligan a tomar medidas inmediatas que implican grandes esfuerzos económicos. En general, son los países que aún no han alcanzado su pleno desarrollo quienes sufren con mayor gravedad este fenómeno, a pesar de no ser los principales causantes. En este sentido, el cambio climático incrementa las desigualdades ya existentes entre los diferentes países, pudiendo generar un nuevo obstáculo al desarrollo de los países sustentable. Dussi y Flores (2018a), exponen que la agroecología presenta estrategias concretas de resistencia y resiliencia al cambio climático promoviendo una forma de agricultura biodiversa y equitativa; permitiendo compatibilizar niveles adecuados de producción con la conservación de la naturaleza, teniendo en cuenta las asimetrías o desigualdades sociales, espaciales y temporales en el uso humano de los recursos, planteando una evolución sustentable.

2.1.1 Efecto invernadero y sus gases

El efecto invernadero es un proceso natural por el cual los gases que están presentes en la atmósfera “atrapan” la radiación que la Tierra emite al espacio (Figura 1). La Tierra absorbe radiación solar (radiación de onda corta), principalmente en la superficie, y la redistribuye por circulaciones atmosféricas y oceánicas para intentar compensar los contrastes térmicos, principalmente del ecuador a los polos. La energía recibida es reemitida al espacio (radiación de onda larga) para mantener en el largo plazo, un balance entre energía recibida y reemitida (Garduño, 2004). Cualquier proceso que altere tal balance, ya sea por cambios en la radiación recibida o reemitida, o en su distribución en la Tierra, se reflejara como cambio en el clima.

Los aumentos en la concentración de los GEI reducen la eficiencia con la cual la Tierra reemite la energía recibida al espacio. Parte de la radiación saliente de onda larga emitida por la Tierra al espacio es reemitida a la superficie por la presencia de esos gases. Así, la temperatura de superficie se elevará para emitir más energía, y aunque parte de ella quede

atrapada, suficiente energía saldrá al espacio para alcanzar el balance radiativo que mantiene relativamente estable el clima (Garduño, 2004).

Estos gases han estado presentes en la atmósfera desde tiempos remotos, sin embargo, han mostrado un aumento creciente en los últimos años debido a la actividad antropogénica tras siglo y medio de deforestación, métodos agrícolas intensivos y alto crecimiento poblacional (Elrington, 2003). La acumulación de estos gases en la atmósfera potencia el efecto invernadero natural y esto se traduce en aumento de la temperatura del planeta. El Protocolo de Kyoto⁴ establece como gases principales al dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF₆).



Figura 1. Modelo idealizado del efecto invernadero (MAyDS, 2019).

2.1.2 Inventario de gases efecto invernadero

Los inventarios de gases efecto invernadero son la contabilidad de las emisiones de carbono equivalente originadas por una actividad, proceso o servicio y las fuentes que las

⁴ Protocolo de Kyoto: Protocolo de la CMNUCC. Exige que los países listados en su Anexo 1 (países desarrollados) cumplan con objetivos de reducción de emisiones de GEI en relación a sus emisiones registradas en 1990 durante el período de compromiso 2008-2012.

originan. El carbono es una unidad de medida, entre mayor da la cuenta, mayor es el aporte a la problemática del Cambio Climático.

Los inventarios de GEI sirven, entre otras cosas, para establecer la HC y realizar el ACV. En el año 2017 se creó el Sistema Nacional de Inventario de Gases de Efecto Invernadero de la Argentina (SNI-GEI-AR) que estructura y ordena las relaciones institucionales, definiendo roles y responsabilidades para el cálculo y reporte del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI). A finales de 2019, la República Argentina presentó su último Informe Bienal de Actualización (IBA 3) ante la CMUNCC, en el que se estimaron las emisiones netas totales del año 2016 en 364,44 Mt CO₂ eq., lo que significa el 0,7% de la cantidad emitida global. En la figura 2 puede observarse que el sector de energía (que incluye todas las emisiones de GEI que emanan de la combustión y las fugas de combustibles entre las que se encuentran el transporte, la industria manufacturera y de la construcción, la industria de la energía y otros sectores como los residenciales), es el más contaminante con 53% de las emisiones. La Agricultura, ganadería, silvicultura y usos de la tierra representan el 37% de las emisiones, seguido con una menor participación por los sectores de Procesos industriales con 6% y Residuos con 4% de las emisiones de Argentina (MAyDS, 2019).

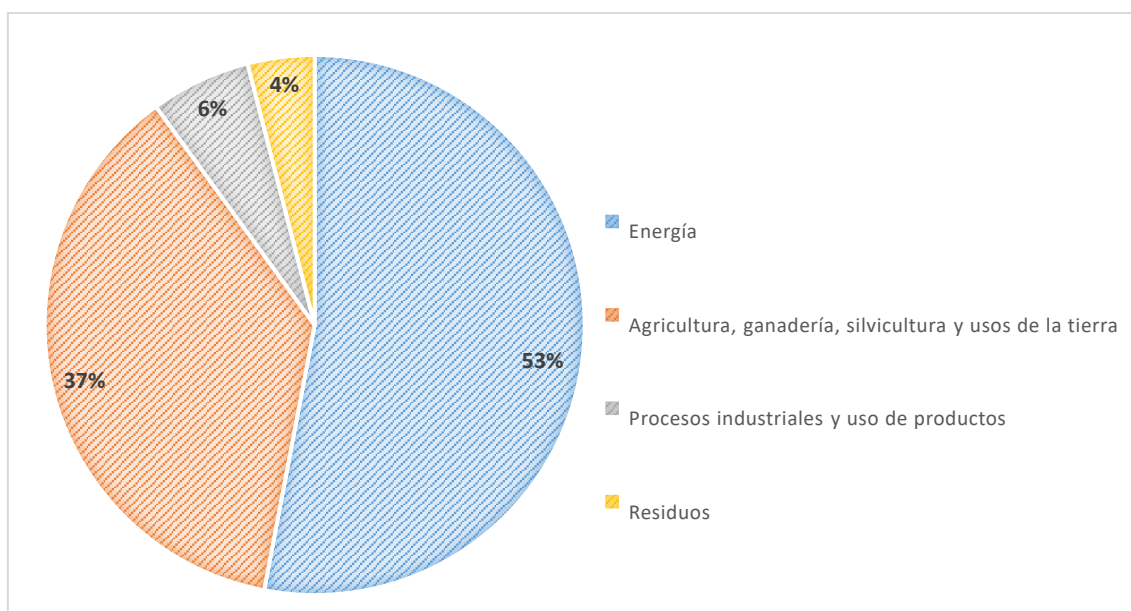


Figura 2. Emisión de GEI de los sectores de la economía argentina durante 2016 como porcentaje de la emisión total de 364,44 Mt CO₂ eq. (MAyDS, 2019).

A finales del año 2020, Argentina presentó su segunda NDC. En ella, nuestro país actualizó su compromiso con la limitación de emisiones de GEI (MAyDS, 2020). Para la planificación y la implementación de acciones frente al cambio climático que se desprendan del cumplimiento de esta segunda NDC, la República Argentina se focalizará en La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y sus 17 ODS. El diseño y la implementación de las acciones se realizará considerando y analizando de manera sistémica sus consecuencias sobre cada una de las dimensiones del desarrollo sostenible: social, económica y ambiental. Asimismo, se tendrán en cuenta las implicancias institucionales (MAyDS, 2020). “Estimando que para el 2030, se habrá logrado disminuir la vulnerabilidad, aumentar la capacidad de adaptación y fortalecer la resiliencia de los diferentes sectores sociales, económicos y ambientales a través de medidas de concientización y construcción de capacidades que le permitan al país y su población responder solidariamente al desafío urgente de proteger el planeta”.

Las series de medidas allí planteadas buscan promover la transición energética, el transporte sostenible, la preservación de ecosistemas (bosques, humedales, océanos, entre otros), la transformación productiva sostenible (en agricultura, ganadería, industria y servicios) y la mejora en la gestión integral de residuos.

2.1.3 PCG

El Potencial de calentamiento global (PCG) define el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce hoy una liberación instantánea de 1 Kg de GEI en comparación con el causado por el CO₂. Es una medida de la capacidad que tienen diferentes GEI en la retención de calor en la atmósfera, ya que no todos los gases absorben la radiación infrarroja de la misma manera ni todos tienen igual vida media en la atmósfera. El gas utilizado como referencia para medir otros GEI es el CO₂, por lo que su potencial de calentamiento global es igual a 1. Cuanto más alto sea el PCG que tiene un gas, mayor será su capacidad de retención de calor en la atmósfera.

Los valores de PCG son publicados por el IPCC. Para el calentamiento global, la sustancia de referencia es el CO₂, y los factores expresan los impactos potenciales de las sustancias como gramos de CO₂ equivalentes por gramos de sustancia. Se tienen en cuenta los efectos radioactivos de cada gas, así como sus diferentes tiempos de permanencia (largo de 100 a 500 años y corto de 25 a 50 años) en la atmósfera. En la figura 3 está el PCG para los diferentes GEI y sus principales fuentes de emisión.

Gas	Fuente Emisora	Persistencia de las moléculas en la atmósfera (años)	Potencial de Calentamiento Global (PCG) Horizonte de tiempo: 100 años
CO₂ DIÓXIDO DE CARBONO	Quema de combustibles fósiles, cambios en el uso del suelo, producción de cemento	Variable	1
CH₄ METANO	Quema de combustibles fósiles, agricultura, ganadería, manejo de residuos	12±3	21
N₂O ÓXIDO NITROSO	Quema de combustibles fósiles, agricultura, ganadería, cambios en el uso de la tierra	120	310
PFC PERFLUOROCARBONOS	Producción de aluminio, solventes y productos contra incendios	2.600-50.000	6.500-9.200
HFC HIDROFLUOROCARBONOS	Refrigeración y aire acondicionado, productos contra incendios y aerosoles	1,5-264	140-11.700
SF₆ HEXAFLUORURO DE AZUFRE	Aislantes térmicos	3.200	23.900

Figura 3. PCG reportado por el Segundo Informe de Evaluación del IPCC (MAyDS, 2019).

Un término asociado al calentamiento global es el cambio climático; y si bien están vinculados cada uno hace referencia a cosas distintas, mientras que el calentamiento global tiene que ver con el aumento de la temperatura a nivel global, el cambio climático hace referencia al cambio en las condiciones climáticas generales y no se limita únicamente al aumento de temperatura, incluye: humedad, lluvia, viento y demás sucesos meteorológicos. El calentamiento global tiene como causa principal la emisión de GEI, mientras que el cambio climático encuentra como principal causante al calentamiento global, por tanto el cambio climático no es sinónimo del calentamiento global sino su consecuencia (IPCC, 2007).

2.1.4 Principales impactos ambientales de la agricultura y la industria alimentaria

La crisis que se vive en la actualidad, con un fuerte impacto a escala planetaria, tiene raíces más profundas que una debacle del sistema financiero. “La crisis ecológica es, en definitiva, una crisis social: lo que está fallando no es la naturaleza, sino la estructura interna de nuestra sociedad y sus formas de intercambio con la naturaleza. La presión antropogénica sobre la biosfera ha puesto de manifiesto la existencia de límites de seguridad para operar dentro del sistema planetario; en el caso de que estos límites sean

rebasados, los impactos sociales tendrán una función de resiliencia⁵ en las sociedades afectadas” (Rivela *et al.*, 2014).

Según Viglizzo (2018), los efectos más críticos y preocupantes del calentamiento global sobre el clima parecen focalizarse en tres procesos clave que inciden en la vida de los humanos, la fauna y la flora: el ciclo hidrológico, la producción de alimentos y la provisión de energía. Agua, energía y alimentos son tres factores fuertemente interrelacionados que sostienen el funcionamiento de las sociedades y cualquiera de ellos que se torne limitativo puede generar un colapso.

La agricultura es una de las actividades más importantes para el desarrollo del ser humano. Constituye la base y el soporte de las sociedades por su función primaria de producción de alimentos y de suministro de materias primas (Chocano, 2015). La agricultura tiene un peso trascendental en el estado de conservación de la naturaleza, juega un papel fundamental como agente dinamizador de la economía a distintas escalas generando mercados y es considerada como un sector estratégico en la calidad y seguridad alimentaria de una población en continuo crecimiento (FAO, 2019).

Según los datos del FAOSTAT (2019), en todo el mundo la agricultura representa el 40% del Producto Interior Bruto (PIB), implica 5.000 millones de hectáreas de tierra cultivada y da trabajo a 1,3 mil millones de personas, que suman casi 1/5 de la población total. La agricultura utiliza actualmente el 11% de la superficie terrestre del mundo para la producción de cultivos y hace uso del 70% del agua total extraída de los acuíferos, ríos y lagos. La producción mundial de frutas y hortalizas ascendió a 1.959 millones de toneladas lo que involucra 123 millones de hectáreas, siendo China el primer productor mundial seguido de la Unión Europea (FAOSTAT, 2019).

El aumento de la demanda de alimentos generada por la presión demográfica, además de haber desencadenado un auge de las prácticas agrícolas intensivas, ha dado lugar a un desarrollo de un mercado internacional cuyo continuo crecimiento ha convertido a la agricultura intensiva en la principal actividad económica a nivel mundial y al sector agroalimentario como a uno de los sectores que más contribuye en la generación de impactos ambientales (Ramos Fernández, 2015). En términos generales, entre los principales problemas ambientales generados por la agricultura se encuentran la pérdida de biodiversidad, el cambio climático, la contaminación del agua, el aire y el suelo, y la

⁵ La resiliencia se define como la cantidad de perturbación que puede absorber un sistema sin sufrir un cambio cualitativo de estado, o dicho de otro modo, límites de tolerancia a presiones socioecológicas de las sociedades afectada.

desertificación, especialmente en regiones donde el agua es un recurso limitado (FAO, 2019).

Las referencias bibliográficas que centran su atención en el análisis y estudio de los impactos con afecciones nocivas al ambiente de prácticas agrícolas intensivas son numerosas. Los principales impactos y problemas ambientales asociados a los aspectos, que según Brentup *et al.* (2004) tienen mayor repercusión ambiental son la aplicación de fertilizantes, herbicidas y pesticidas sintéticos, el consumo de agua para riego, el consumo de combustible y la ocupación del suelo. A este listado, por su importancia ambiental, se deben incluir los impactos y problemas ambientales derivados del transporte y la generación de residuos agrícolas.

En este sentido, Pimentel (2009) indica que la producción y consumo de alimentos es un fenómeno complejo que incluye actividades rurales, transporte, procesamiento industrial, almacenaje y logística, refrigeración, deforestación, impacto en el suelo, agua y aire, y finalmente procesamiento para el consumo final y descarga de residuos. En cada etapa se requiere del uso de energía y se emiten diferentes contaminantes al ambiente como son los GEI.

Para Viglizzo (2018) el problema es asumir que la producción agropecuaria comienza y culmina en el potrero o en la tranquera del establecimiento rural “chacra”. En realidad, este eslabón es el primero dentro de una cadena que puede ser corta o larga de acuerdo a la trayectoria que sigue el proceso como un todo y que lleva al consumo final del producto. En la práctica, existen varios eslabones intermedios a través de los cuales se transporta, transforma y distribuye el producto hasta que, una vez consumido, llega en forma de residuo o desecho al basural de un municipio; es ahí donde termina el ciclo de vida de un producto. En ese largo camino, el producto primario es manipulado a través de eslabones que incluyen el transporte desde el campo hasta el lugar de concentración, el acondicionamiento y almacenaje, su fraccionamiento y procesamiento industrial, el embalaje o packaging del producto ya procesado, el transporte a centros de distribución mayorista, la clasificación y distribución minorista, la colocación en góndolas de supermercados y almacenes, la compra y transporte doméstico, el consumo comercial o familiar, el acondicionamiento de los residuos y su posterior transporte a los sitios de deposición final (Viglizzo, 2018). Por ello, el impacto ambiental de la agricultura se relaciona con su progresiva integración a una organización industrial para cada uno de los procesos: producción, distribución, consumo y sus desechos. Considerando además el desperdicio de alimento que conlleva el derroche de recursos e insumos para obtener

productos que nunca serán ingeridos (Montagut y Gascón, 2014) y en gran parte se pudre en los basureros y en los rellenos sanitarios produciendo cantidades importantes de GEI (IPCC, 2020).

El IPCC señala que el 23% de las emisiones mundiales de GEI de origen antrópico se dan como resultado del uso de la tierra para la agricultura y silvicultura. Y si se consideran todos los procesos de pre y post producción de alimentos, las emisiones podrían ascender al 37% (IPCC, 2015; IPCC, 2020).

Según GRAIN (2011), el sistema agroalimentario industrial es responsable del 44 al 57% de todas las emisiones globales de GEI, señalando que los alimentos son un promotor clave del cambio climático (Figura 4). Este porcentaje incluye la etapa de producción agrícola (11-15%); el cambio en el uso del suelo y deforestación (15-18%); procesamiento, transporte, empaçado y venta de los alimentos (15-20%); y los desperdicios (2-4%).

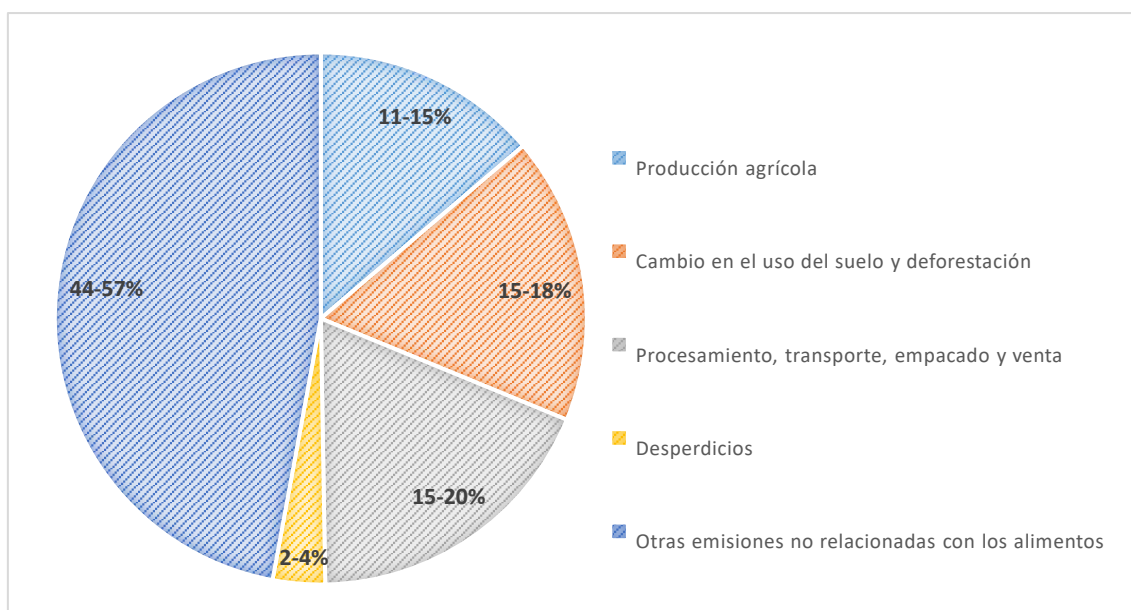


Figura 4. Emisiones globales de GEI de origen antropogénico (GRAIM, 2011).

Para González y Guzmán (2017), existe una creciente convicción en la comunidad científica y los gobiernos que la agricultura industrial no es viable. Sus impactos negativos sobre el ambiente y la salud, su ineficacia para proporcionar ingresos dignos a los agricultores, su alta dependencia de los combustibles fósiles y su alta vulnerabilidad

al cambio climático son el fundamento para plantear la necesidad de un cambio de modelo.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2009), reconoce que la agricultura industrial no podrá satisfacer la creciente demanda de alimentos causada por el crecimiento de la población (más de 9 mil millones de personas para 2050); y menciona que, en los próximos treinta años, para cumplir con el reto de seguridad alimentaria, el mundo deberá incrementar la producción global de alimentos en un 60%, en un momento en el que el cambio climático, el aumento de las necesidades de regadíos y la escasez de tierras disponibles suponen elementos de presión adicional (FAO, 2019). Por otro lado, otros autores mencionan que en la actualidad el mundo ya produce suficiente alimento para nutrir el doble de la población mundial actual, indicando que el flagelo del hambre en el planeta es causado por la pobreza y la inequidad, y no por la escasez debida a la falta de producción (Altieri y Nicholls, 2012; Grupo ETC, 2017; Dussi y Flores, 2018a).

Bajo estas consideraciones, se forjan los desafíos a los que se enfrenta la agricultura de hoy en día porque además de seguir incrementando la producción, tal y como ha hecho hasta ahora, debe ser capaz de realizar un uso eficaz de los recursos que permita minimizar su impacto ambiental y asegurar la sustentabilidad.

Para alcanzar estos logros, además de otras medidas, como el aumento de la inversión en investigación o el fomento de transferencia del conocimiento, será fundamental el empleo de herramientas de gestión ambiental, como la HC y el ACV, que ayuden a implementar las prácticas agrícolas más adecuadas en cada caso. Estos indicadores permiten que contribuyan a la mitigación del cambio climático dos grupos de partes interesadas: las empresas, responsables del diseño de los productos, y sus consumidores, que pueden elegir conscientemente productos con bajas emisiones de carbono (WRI y WBCSD, 2004).

Las empresas son agentes imprescindibles para lograr la transformación hacia una sociedad baja en producción de carbono. Por responsabilidad, por impacto y por capacidad de acción, tienen un papel esencial en la lucha contra el cambio climático y pueden hacer mucho: desde la gestión sostenible de su cadena de valor, las relaciones con la comunidad y sus procesos productivos.

2.2 Cadena de valor: el complejo frutícola en el Alto Valle de Río Negro

Según el informe técnico del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) del año 2019, el Complejo Frutícola Argentino, ocupa el 7° lugar entre los diferentes complejos exportadores de Argentina, luego de las oleaginosas, cereales, automotriz, minero, petróleo-petroquímicas, y ganado bovino. El informe especifica que las exportaciones del sector frutícola totalizaron en 2.304 millones de dólares, representando el 3,5% de las exportaciones totales del país para ese año. Del total exportado (Figura 5), el 44,5% correspondió al complejo uva; 24,5% al complejo limón y el 15,6% al complejo peras y manzanas. Este último alcanzó los 359 millones de dólares de los cuales el 67,4% correspondió a peras frescas y el 22,8% a manzanas frescas, mientras que el resto se distribuyó entre manzanas y peras secas, jugos y preparaciones. Los principales mercados del complejo fueron: Mercosur⁶ (106 millones de dólares, con una participación de Brasil de 91,5%), NAFTA⁷ (94 millones de dólares, con una participación de Estados Unidos de 83,0%), CEI⁸ (64 millones de dólares), Unión Europea⁹ (53 millones de dólares), y “Resto de ALADI¹⁰” (22 millones de dólares).

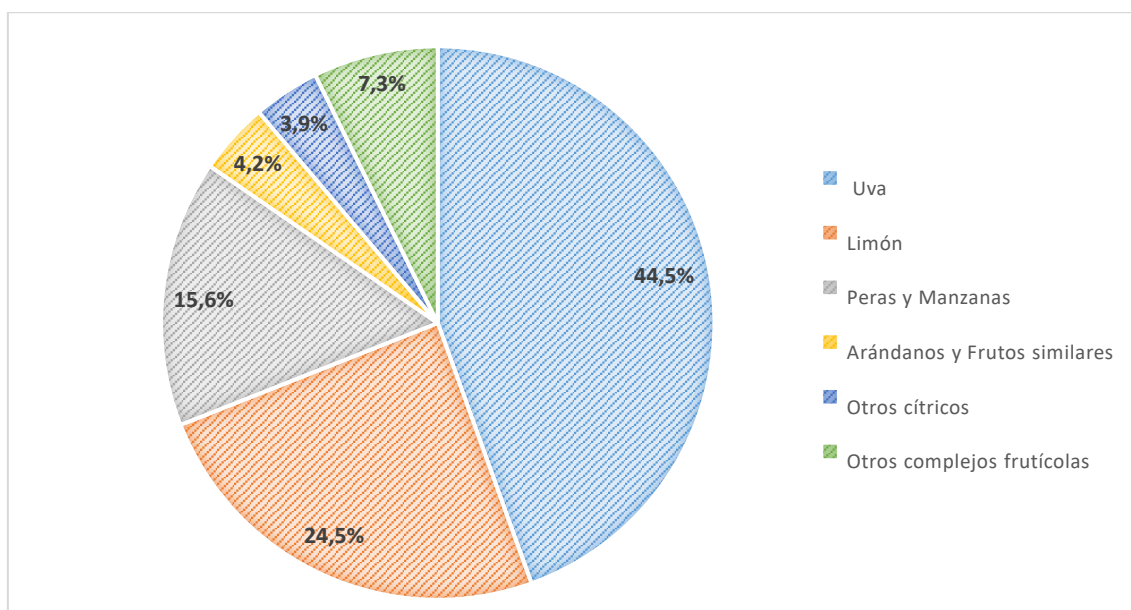


Figura 5. Distribución porcentual de las exportaciones del sector frutícola argentino correspondientes al año 2019. INDEC, 2019.

⁶ Mercado Común del Sur: constituido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay.

⁷ North American Free Trade Agreement: constituido por Canadá, México y Estados Unidos.

⁸ Comunidad de Estados Independientes: constituido por Rusia, Armenia, Kazajistán, entre otros.

⁹ Constituido por Alemania, Bélgica, Croacia, Dinamarca, España, Francia, Países Bajos, entre otros.

¹⁰ Asociación Latinoamericana de Integración: constituido por Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Cuba, Ecuador, México, entre otros.

En la Argentina, la superficie cultivada con frutales se estima en 490.771 ha, siendo Mendoza con el 38,9% la provincia con mayor superficie plantada. Le sigue Tucumán (10,8%) y San Juan (10,3%). La provincia de Río Negro ocupa el 5° lugar con más de 36 mil ha mientras que la provincia del Neuquén el 10° lugar con más de 7 mil ha (INDEC, 2019).

Por su parte, la principal región productora de frutales de pepita se localiza en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén, ubicado mayoritariamente en la provincia de Río Negro y en la franja centro este de la provincia de Neuquén. Otras zonas de producción son el Valle Medio en la Provincia de Río Negro; 25 de Mayo, en la Pampa; Valle de Uco y zona sur de la provincia de Mendoza; y Valle del Tulum en San Juan (Sánchez, 2020).

El Alto Valle de Río Negro y Neuquén concentran el 90% de la producción de peras y manzanas y el 95% de las exportaciones en fresco e industriales de estas frutas (Sánchez, 2020). Alrededor de esta actividad se desarrolla la cadena de valor más importante a nivel regional en lo que se refiere a generación de empleo. El sector demanda un alto nivel de mano de obra directa y puestos de trabajo especializados en todas las etapas de su proceso productivo y comercial; desde la plantación y la cosecha de los frutos, hasta su procesamiento, conservación, transporte y comercialización. También requiere de servicios tecnológicos sofisticados, transporte, energía y bienes de capital e insumos de origen industrial (Arrese, 2016).

2.2.1 Estructura productiva: descripción y caracterización del complejo productivo en el Alto Valle de Río Negro

El complejo productivo del sector está conformado por la producción primaria, la clasificación, el acondicionamiento y empaque de la fruta fresca, la conservación frigorífica, y el transporte y la comercialización. La fruta que no cumple las exigencias del mercado en fresco se deriva a la producción industrial de jugos concentrados, deshidratados y sidras (Figura 6).

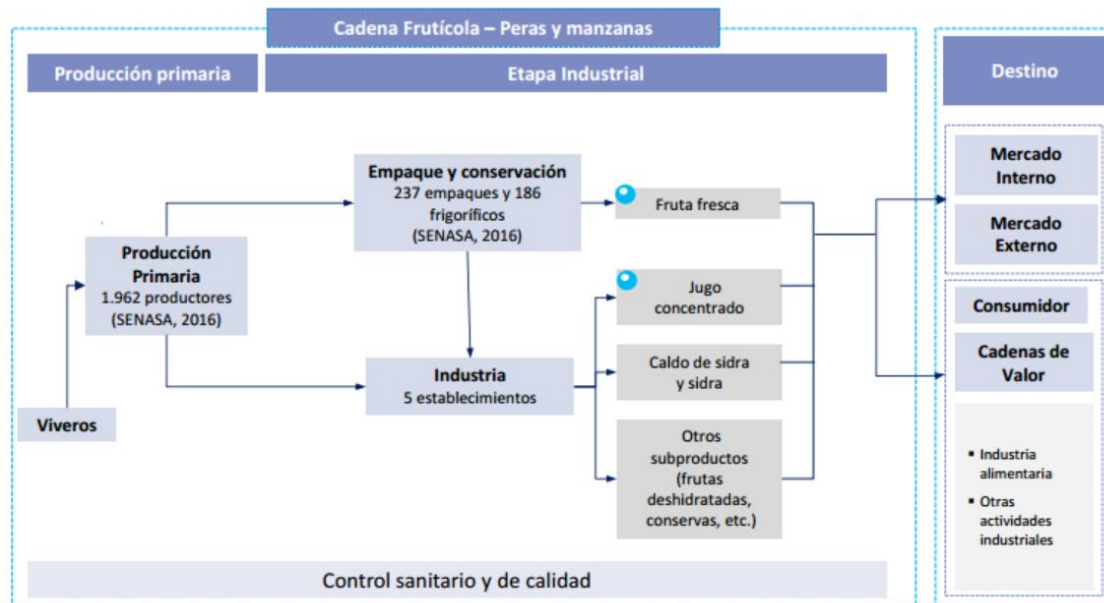


Figura 6. Diagrama de la estructura del complejo frutícola de manzanas y peras. Subsecretaría de Programación Microeconómica (SSPMicro) con base Senasa; Informes productivos Provinciales, Ministerio de Hacienda, 2017.

Este complejo productivo involucra grandes extensiones de montes frutales, numerosas plantas de empaque y frigoríficos, importantes industrias procesadoras de jugos y caldos, 50 firmas exportadoras, viveros, un puerto de ultramar para exportar fruta a distintos destinos, sistema logístico de transporte vial y una amplia red de proveedores para el sector; conformando un verdadero complejo que da trabajo a unas 70 mil personas afincadas en la región. Casi el 14% de la fuerza laboral total del Alto Valle de Río Negro es empleada en toda la etapa de transformación, un 12,26% en las tareas relativas al empaque y frío, y un 1,6% en el sector industrial (Senasa, 2014).

2.2.1.1 Producción primaria

El primer eslabón de la cadena de valor de la manzana y la pera está constituido por las chacras en las que se encuentran las plantaciones frutales y a la que se le denomina producción primaria. Esta etapa incluye todas las actividades de manejo y conducción del cultivo (sistematización del terreno, labores, selección, vivero, control plagas y enfermedades, heladas-, fertilización, poda y raleo, cosecha, trazabilidad).

Una de las principales características de este sector es la gran cantidad de mano de obra necesaria para poder llevar a cabo las actividades culturales en tiempo y forma, representando el 55% del costo total de la producción (CAFI, 2008).

Las producciones de pera y manzana, si bien comparten la zona productiva, los agentes productivos y comerciales y las prácticas agrícolas, muestran un comportamiento desigual de sus índices de eficiencia productiva y de penetración comercial, con relación a los parámetros internacionales. Al respecto, se observa que:

- La producción de manzana queda relegada frente a otros países del hemisferio sur con mayor capacidad de reconvertir sus estructuras productivas y comerciales hacia mejores prácticas internacionales (nuevas variedades, tecnologías y formas de comercialización).
- En la producción de peras, nuestro país detenta grandes ventajas agroecológicas en la región del valle del Río Negro.

En función a ello, el proceso de reconversión productiva de la actividad se asienta en la pera, cuya producción fue creciendo gracias a la adaptación del complejo a las tendencias del mercado mundial, bajo un modelo de inserción internacional basado, fundamentalmente, en las ventajas naturales de la región. Así, en los últimos años, la región transita por un proceso de reconversión con mayor plantación de perales, basado en sus ventajas agroecológicas, que se ve reflejado en la distribución etaria de la superficie de ambos frutales (Bevilacqua y Storti, 2011).

El periodo de cosecha comienza en enero, con la pera cv¹¹. Williams y culmina en abril con la manzana cv. Cripp's Pink. En ese periodo se pueden mencionar la cosecha de otras variedades de pera y manzana como Beurré D'Anjou, Packham's Triumph, Red Delicious, Granny Smith, entre otros. El calendario tentativo de cosecha¹², es definido por el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (Senasa) en función del estado de madurez de la fruta y la variedad.

Otra de las características propias de la producción de peras y manzanas, es el alto nivel de inversión requerido, a lo que se suma que la producción de fruta se inicia recién después del cuarto año desde la implantación de los árboles. Esto ha producido, que muchos pequeños y medianos productores se vean imposibilitados de reconvertir sus plantaciones a variedades de mayor aceptación en el mercado, y paulatinamente vayan siendo desplazados del negocio por los productores con mayor capital (Idígoras, 2014).

¹¹ cv. Cultivar. Grupo de plantas seleccionadas artificialmente por diversos métodos a partir de un cultivo más variable, con el propósito de fijar en ellas caracteres de importancia que se mantengan tras la reproducción.

¹² Autorizaciones de cosecha: La Coordinación de Frutas, Hortalizas y Aromáticas, dependiente de la Dirección de Calidad Agroalimentaria del Senasa, autoriza las fechas tentativas de autorización de cosecha de las distintas variedades de manzana, pera y pera asiática en las zonas productoras con calendario anticipado. Este calendario tentativo se realiza en colaboración con organismos técnicos nacionales (INTA Alto Valle) provinciales (ISCAMEN) y sector privado. Legislación Resoluciones SAG N° 554/83 y Resolución ex-IASCAV N° 203/93.

La superficie total con frutales de pepita en el Norte de la Patagonia argentina es de 35.609 ha, de las cuales el 86% se encuentra en Río Negro, con 14.303 ha de manzanas y 16.253 ha de peras (Senasa, 2020).

La producción frutícola de Río Negro y Neuquén es llevada a cabo por unos 1.612 productores en 3.224 establecimientos aproximadamente. Sin embargo, el complejo presenta altos grados de concentración; casi un 3% de los productores primarios con más de 100 hectáreas concentran el 35% de la superficie cultivada neta, mientras que, en el otro extremo, un 47% posee menos de 10 hectáreas, ocupando 11% de la superficie total (Senasa, 2020).

En cuanto a porcentaje de variedades, el 65% de la cosecha de manzana corresponde al cv. Red Delicious y sus clones; el 12% corresponde a cv. Gala y sus clones, coincidiendo este porcentaje para cv. Granny Smith. Luego sigue el cv. Cripp's Pink con un 5%. El 18% restante se reparte entre los cvs. Rosy Glow, Rome Beauty, Golden Delicious, Fuji y Braeburn, entre otros.

Para las variedades cultivadas de pera, el 40% corresponde a cv. Williams y el 29% a cv. Packham's Triumph. Le siguen los cvs. Beurre D'Anjou con el 15%, Abate Fetel con el 5% coincidiendo en el porcentaje con Red Bartlett. El porcentaje restante del volumen producido incluye a los cvs. Beurre Bosc, Red Anjou, Forrelle, Rocha, Clapp's Favourite, entre otras.

2.2.1.2 Clasificación y empaque

La fruta recolectada en las chacras es transportada en cajones (o bins, por su designación en inglés) con una capacidad de 350 o 450 kg, por medio de camiones hasta la planta de empaque.

Una vez allí, se identifica la partida recepcionada registrando el nombre del productor, la variedad, fecha de cosecha y peso. A continuación, los bins se van apilando para ser trabajados posteriormente.

En el empaque, si bien existen empresas que han alcanzado los máximos estándares de tecnología vigentes a nivel mundial, persiste cierta heterogeneidad en los desarrollos logrados. Para Río Negro y Neuquén se puede considerar la existencia de empaques con rendimiento bajo, medio y alto en función de la eficiencia operativa definida por la mayor o menor cantidad de personal requerido.

Según el último informe publicado sobre la Cadena de valor Manzanas y Peras, en el año 2017 se estima que para procesar un volumen promedio diario de fruta fresca (12.430

kilos/hora) se requiere una dotación de 98 a 122 operarios, dependiendo del rendimiento operativo bajo el cual opere el establecimiento considerado (Ministerio de Hacienda, 2017).

La fruta que ingresa a las líneas de clasificación puede provenir de las chacras, o bien de cámaras frigoríficas en caso de que se haya decidido almacenarla previamente.

A continuación, a modo de ejemplo, se describe la operación tradicional de una línea de empaque de la región donde se realizó esta tesis:

El proceso comienza con la descarga de la fruta. Para esto, los bins son transportados hasta la zona de ingreso de la máquina y se los ubica en un hidromersor donde los bins son colocados en una pileta con agua y la fruta se traslada por flotación, disminuyendo los riesgos de dañar la fruta con golpes.

La siguiente etapa corresponde a una pre-clasificación manual en la que se descarta la fruta lesionada o deformada, la cual se destina a industria.

Posteriormente se procede a la limpieza de la fruta. El mismo consiste en un lavado, enjuague, tratamiento antifúngico y antiescaldante, escurrido y secado. En el caso de las manzanas, aquí se efectúa también un encerado opcional. La sección de limpieza es modificada en aquellos establecimientos donde se procesa fruta orgánica, en cuyo caso se realiza solo un enjuague con agua potable al no estar permitido el uso de productos de síntesis.

Una vez finalizada la limpieza, se procede a la selección de la fruta de acuerdo a su calidad. Este proceso, en el sistema tradicional, se realiza en forma manual, donde se elimina la fruta golpeada y se clasifica la restante. Los parámetros observados en esta etapa por los operarios son: porcentaje de cobertura de color, ausencia de defectos, daños por insectos, etc.; según lo establecido por el Decreto Ley N° 9244/63 y su Resolución de Actualización N° 554/83 de la Argentina, para consumo en fresco. De esta forma surgen cinco calidades: Superior, Elegido, Comercial (calidades para exportación) y Común y Económico (calidades para mercado interno), (Decreto 9244 de 1963).

La última etapa de la clasificación de la fruta consiste en separarla de acuerdo a su calibre a través de máquinas clasificadoras por tamaño electrónicas, óptico volumétricas o cadena inteligente dependiendo del nivel tecnológico del establecimiento.

Finalizado el proceso de clasificación, la fruta se dirige a tambores o mesas giratorias, donde los operarios la reciben y la alojan dentro de distintos envases, utilizando accesorios como bolsas, papeles y bandejas. El tipo de envase utilizado depende básicamente del mercado de destino: ultramar (Unión Europea, Rusia, Estados Unidos,

entre otros), mercado interno y/o Brasil. El objetivo del envasado es permitir una mejor manipulación de la fruta en el proceso de comercialización, fundamentalmente buscando evitar golpes, los cuales se evidencian en la superficie restándole valor comercial y/o incrementando las mermas. Con el mismo objetivo, los envases se apilan y disponen sobre palés¹³

De acuerdo a la información presentada por el Senasa (2020) en la región hay unas 246 plantas de empaque (228 en Río Negro y 18 en Neuquén), de los cuales 180 están habilitados para exportar. Los restantes 66 sólo pueden comercializar fruta en el mercado interno.

2.2.1.3 *Conservación frigorífica*

La fruta puede ser almacenada en cámaras frigoríficas antes y después de ser clasificada. El desarrollo de las tecnologías de frío, han tenido un gran impacto sobre todo en la organización del trabajo industrial. Permite, entre otras cosas, atenuar la característica estacional de la actividad; regular la oferta de fruta para poder obtener mejores precios de venta; regular la producción de la planta de empaque; mitigar eventuales problemas de sobreproducción, falta de insumos y conflictos laborales en las plantas.

Los sistemas de conservación más comúnmente utilizados son: el pre-enfriado, cámaras de frío convencional, y cámaras de atmósfera controlada (Leskovar, 2006).

- Pre-enfriado: Los túneles de pre-enfriado son utilizados para disminuir la temperatura de la fruta antes de su ingreso a las cámaras frigoríficas. Consiste en quitar rápidamente el calor sensible o de campo que puede traer el fruto. De esta forma se mejora la eficiencia posterior del uso del frío. Se conocen dos métodos de pre-enfriado, aire forzado e hidrogenfriado. En el primero básicamente circula aire frío por medio de ventiladores a través de los bins. Por su parte, el hidrogenfriado consiste en pasar agua fría de forma tal que entre en contacto con cada pieza individual del producto. Se puede aplicar en forma de lluvia o por inmersión.
- Frío convencional: En este sistema de conservación se regula la temperatura, humedad y velocidad del aire. Mediante la utilización de bajas temperaturas se busca atenuar el ritmo respiratorio de los frutos, la pérdida de agua y el desarrollo microbiano, de forma tal de alargar su vida poscosecha.

¹³ Un palé (único termino reconocido por la Real Academia Española) es un armazón, generalmente de madera, empleado en el transporte de carga. Normalmente en la industria se habla de paletizar los envases. La medida más utilizada en el transporte y almacenamiento de productos de consumo es de 1200x1000 mm.

- **Atmósfera controlada:** Además de poseer las características técnicas del sistema anterior, controla los niveles de O₂ y el CO₂ con el fin de disminuir la respiración del fruto retardando su maduración. También posee la ventaja de retardar la velocidad de respiración por la eliminación de los gases. Los períodos de conservación de la fruta con esta tecnología son superiores a los correspondientes con cámaras de frío convencional.

Es necesario destacar también que la calidad de conservación difiere de una variedad a otra. En cuanto a especies, la manzana en general mantiene sus características de calidad comparada con la pera, presentando una mejor adaptación a las distintas tecnologías de conservación.

Senasa (2020) reporta que hay un total de 193 establecimientos frigoríficos (179 en Río Negro y 14 en Neuquén), cuya capacidad instalada de atmósfera convencional es de 649.411 toneladas y 288.886 toneladas en atmósfera controlada.

De acuerdo a los datos del último informe sobre la Cadena de valor Manzanas y Peras (Ministerio de Hacienda, 2017), basados en el censo provincial de frigoríficos de Río Negro realizado por la Secretaria de Fruticultura (SFRN), la mitad de la capacidad de almacenamiento es explicada por las empresas integradas (desde la producción hasta la comercialización).

2.2.1.4 **Industrialización**

Como se mencionó anteriormente, la fruta no destinada al consumo en fresco es industrializada. El descarte ronda el 40% (ha llegado incluso al 50%) de la producción total de manzanas, en tanto que en pera no supera el 25% (Villarreal *et al.*, 2011).

De la manzana enviada a industria, un 88% es utilizada para la producción de jugo concentrado, un 10% para sidra, y un 2% se reparte entre deshidratados, conservas y otros. Por su parte, la industrialización de la pera también tiene como principal actividad la elaboración de jugo concentrado, que absorbe el 70% del volumen, le sigue en importancia la conserva, y en volúmenes menores deshidratados, dulces y sidra (Zubeldía, 2007).

El jugo concentrado constituye un *commodity* de bajo valor agregado que se vende mayormente a granel para ser utilizado como insumo por otras industrias alimenticias. En particular, se lo emplea como endulzante en la fabricación de bebidas gaseosas, baby food, entre otros (Bevilacqua y Storti, 2011).

Tradicionalmente la producción de jugo concentrado ha tenido como destino la exportación (98% del total). El mercado principal del jugo concentrado es Estados Unidos, de hecho hasta hace unos años era prácticamente el único destino. En lo que respecta a la demanda de este mercado, hasta el año 2008 mantuvo una tendencia creciente, sin embargo, en las últimas temporadas se redujo por efecto de la crisis internacional y la irrupción de China que actualmente domina el mercado. En general la demanda de este país está orientada al jugo concentrado de manzana, porque el jugo de peras tiene menor valor (Villarreal *et al.*, 2011).

Fruto de la contracción de la demanda del mercado norteamericano como Estados Unidos y Canadá, los productores locales de jugo concentrado se vieron forzados a buscar nuevos destinos para su producto. A partir del 2010 se abrieron nuevos mercados para la comercialización de jugo concentrado argentino como por ejemplo Países Bajos, Japón y México (demandaron cada uno un 3% de las exportaciones), Canadá un 4%. De esta forma se redujo el porcentaje enviado a Estados Unidos de un 98% a un 87%. Otro dato positivo en este sentido, es que el volumen comercializado en el mercado interno en los últimos años ha crecido, principalmente debido a la aparición de las aguas saborizadas (Ablin, 2011).

2.2.1.5 Comercialización: Mercados y transporte

La comercialización de la fruta fresca puede tener, a grandes rasgos, dos destinos diferentes: exportación o mercado interno. Entre los mercados de exportación se pueden distinguir los mercados de ultramar y los enviados a países limítrofes. En los primeros, la fruta llega a destino a través de transporte marítimo. Estos mercados se caracterizan por ser del hemisferio norte y demandan la fruta argentina en contrastación, época del año en la que su producción es nula.

Los segundos están conformados por países limítrofes, siendo la fruta transportada por vía terrestre y demandada durante todo el año.

Río Negro cuenta con una terminal portuaria especializada en frutas: el Puerto de San Antonio Este, que constituye la puerta de salida al mercado externo de la mayor parte de la producción. La infraestructura logística (operada por TSP Patagonia Norte SA) incluye muelle de ultramar con doble frente de atraque, frigorífico y sala de transferencia para la descarga de camiones térmicos con mercaderías paletizadas, así como sala de consolidado y plazoleta para contenedores refrigerados.

La fruta comercializada en el mercado interno y que se envía a Brasil es transportada por

vía terrestre. Para el primer caso, se utilizan camiones térmicos o con control de temperatura. Cada uno carga 1.000 cajas (20,4 toneladas), equivalente a 20 palés (Bruzzone, 2010).

La fruta destinada a Brasil se transporta en camiones adecuadamente refrigerados, de mayor capacidad que los empleados para transporte interno (1.200 cajas equivalente a 22,8 toneladas). En este caso, el servicio de transporte está fuertemente tercerizado, con mayoría de empresas brasileñas.

Finalmente, la fruta comercializada en ultramar una vez que sale de las plantas de empaque es enviada al puerto en los mismos camiones que se utilizan para abastecer al mercado interno. Una vez allí, se utilizan distintas modalidades de almacenamiento para transporte marítimo. Se puede mencionar los contenedores TEU¹⁴ 20', los cuales cargan 10 palés, y los FEU 40', en los que caben 20 palés. La bodega es otra modalidad comúnmente utilizada. En cada bodega se pueden colocar unos 400 palés.

Si bien la estructura productiva primaria es heterogénea porque coexisten empresas integradas con productores independientes¹⁵; la concentración en el empaque, la industria y la comercialización es alta. Las principales exportadoras son: Patagonian Fruits Trade, PAI, Moño Azul, Expofrut, Ecofrut y Kleppe. Concentran el 68% de las ventas externas de fruta de pepita (Preiss, 2006).

2.2.2 Sistemas productivos

¹⁴ Las siglas TEU (Twenty-foot Equivalent Unit, que significa Unidad Equivalente a Veinte Pies) representa una unidad de medida de capacidad del transporte marítimo expresada en contenedores. Una TEU es la capacidad de carga de un contenedor normalizado de 20 pies (6,1 m), una caja metálica de tamaño estandarizado que puede ser transferido fácilmente entre diferentes formas de transporte tales como buques, trenes y camiones. Aparte del contenedor de 20 pies, que se computa como una TEU, hay otros tamaños y tipos de contenedores. Los de uso más frecuente son de 40 pies (12,2 m); existen otras variantes del contenedor que se calculan como equivalentes a 2 TEU o 1 FEU (Forty-foot Equivalent Unit).

¹⁵ Los principales agentes económicos que actúan en el proceso de producción, empaque y comercialización pueden tipificarse del siguiente modo:

- Productor primario independiente: productores que no se encuentran asociados o integrados por un nexo de capital con los agentes de comercialización pero que presentan una creciente vinculación con las firmas líderes exportadoras. La relación se instrumenta mediante contratos, formales o informales, que incluyen la provisión de insumos, condiciones de venta, anticipos financieros y cancelación de saldos y asesoramiento técnico, entre otros. Se identifica, también, en este segmento a productores independientes que se han integrado en formas asociativas al empaque y la conservación (con inversiones propias o contratando servicios a terceros), entregando su producción ya embalada a los agentes comerciales. En su mayoría cuentan con estructuras productivas reconvertidas en variedades y tecnología.

- Productor primario integrado: productores que, en forma individual o asociada, han integrado el proceso de empaque y comercialización a su actividad primaria, alcanzando en forma directa los mercados de distribución. Este sector ha perdido relevancia dentro de la actividad debido a la concentración de los canales de comercialización, la exigencia de la reconversión tecnológica y los cambios en el orden económico nacional.

- Empresa integrada: reproduce en una unidad empresaria el ciclo de producción, conservación, empaque y comercialización, incluyendo el empaque y la comercialización de producción adquirida a productores no integrados.

- Agente comercial (trader): comercializan fruta producida y embalada por terceros, en especial, de productores primarios independientes asociados en el empaque y de empresas integradas. Al unificar la oferta, tienen una mayor capacidad de negociación. Su poder se basa en los vínculos con los compradores externos y en la capacidad de financiar el proceso de empaque de sus proveedores de fruta (Preiss O.,2006)

En la agricultura se distinguen varios tipos de sistemas de producción. Entre los más prominentes se encuentran tres. Uno de estos es el agroecológico, que se considera una agricultura más ligada al ambiente y más sensible socialmente. En su práctica no solo destaca una centralidad en la producción, sino que también se enfoca en la sustentabilidad ecológica, económica y social; mediante el aprovechamiento y fomento de los ciclos vitales de la naturaleza (Restrepo y Prager 2000). Altieri y Nicholls (2013) mencionan que para lograrlo, los sistemas de producción agroecológicos deben tener en cuenta diez principios de diseño agroecológico:

- Se deben tomar en cuenta las dimensiones espacial y temporal de los procesos ecológicos de los agroecosistemas para los planes de manejo ambiental.
- La estructura y la función del agroecosistema están determinadas por la biodiversidad y sus interacciones bióticas y con el ambiente físico.
- La estabilidad está relacionada con la cantidad de especies y con las conexiones funcionales entre éstas.
- La biodiversidad se debe mantener o promover para mantener la capacidad de autorregulación de los agroecosistemas.
- Los agroecosistemas diversos exhiben capacidades homeostáticas que le permiten ser más resilientes a los efectos de variables externas cambiantes. Entendiendo la resiliencia como la propiedad de un sistema de retener su estructura organizativa y productividad después de una perturbación. Por lo que un agroecosistema podrá continuar proveyendo servicios vitales si es desafiado por ejemplo por una sequía severa o una tormenta que sobrecarga el suelo. La diversidad de organismos es clave para que los ecosistemas funcionen y provean servicios.
- Los componentes bióticos y abióticos del agroecosistema están conectados en forma de una red interactiva que debe interpretarse y manejarse óptimamente.
- El proceso fotosintético utiliza la energía solar para mantener los ecosistemas. Todos los niveles tróficos del agroecosistema (herbívoros, predadores y descomponedores) se organizan y dependen del nivel trófico primario y mientras más compleja la vegetación, más complejos son los niveles tróficos asociados.
- Los ecosistemas son diversos y entrópicos, por lo que los diseños agroecológicos debieran seguir esta tendencia, ya que a mayor diversidad mayor será su estabilidad y resiliencia.

- Todo agroecosistema tiene una historia de desarrollo ecológico que influencia su estado actual.
- Los agroecosistemas son parte de un paisaje más amplio y son más resilientes cuando están insertos en una matriz ambiental más compleja.

Por su parte, Adger (2000) establece que estos principios se complementan con tres principios sociales debido a que los agroecosistemas son el producto de una interacción social-ecológica. Estos principios son:

- La capacidad de construir resiliencia en un agroecosistema depende del contexto socio-cultural, porque sociedades degradadas conllevan a agroecosistemas degradados.
- Un sistema socio-ecológico vulnerable ha perdido su resiliencia, lo que a su vez implica una pérdida de la capacidad de responder y adaptarse. Los agroecosistemas son más vulnerables en sus límites geográficos y cuando los grupos humanos carecen de armonía social y su identidad cultural se ha erosionado.
- La “adaptabilidad” es la capacidad de las comunidades de construir resiliencia a través de acciones colectivas. “Transformabilidad” es la capacidad de las comunidades de crear nuevos sistemas socio-ecológicos cuando las condiciones ambientales, socio-económicas o políticas son críticas. De aquí el énfasis de la agroecología de crear nuevos sistemas agrícolas y alimentarios con una nueva base productiva y social.

El sistema de producción orgánica, de cierta manera, se relaciona con el anterior pero los principios agroecológicos no forman parte de este sistema (Rosset y Altieri 1997).

La producción orgánica posee un enfoque de sustitución de insumos, es decir que se limita a la no utilización de agrotóxicos o fertilizantes químicos de síntesis en su proceso productivo para cumplir con las exigencias de certificación y se vincula a los principios de agricultura convencional. Eso implica que su huella ambiental es mayor a la de la producción agroecológica y los beneficios para los agricultores son limitados, debido a que no se insertan en un comercio justo y a que solo está enfocado en la agroexportación (Altieri y Toledo 2010).

Caporal y Costabeber, (2002) señalan que este tipo de agricultura, que trata apenas de sustituir insumos convencionales por insumos ecológicos, muchas veces consiguen sobreprecio en los mercados “de elite” por productos que se publicitan como más sanos y amigables con el ambiente, pero que difícilmente contemplan todos los principios derivados de la Agroecología.

La agricultura orgánica se refiere al proceso que utiliza métodos que respetan el ambiente, desde las etapas de producción hasta las de manipulación y procesamiento; sin embargo, posee características que lo distinguen de los otros sistemas porque maneja procesos encauzados en mantener una certificación más que en el producto en sí, conservar esta garantía los obliga a cumplir ciertas normas y con ello a elevar el precio de comercialización, pero no es impedimento porque estos productos son apreciados en los mercados debido a su contenido nutricional y su cuidado con el ambiente (FAO 2003). En el sistema productivo convencional, por su parte, el ser humano actúa sobre la naturaleza con una mirada productivista. Para ello, emplea diferentes fuentes de energía externa como maquinaria, fertilizantes y pesticidas (Restrepo y Prager 2000). De acuerdo con López y Mireia (2010), la agricultura convencional se ha caracterizado por los monocultivos manejados con altos insumos, lo cual ha generado grandes externalidades al ambiente, debido al empleo excesivo de agroquímicos. Los fertilizantes y plaguicidas contaminan los recursos naturales y afectan la salud de los actores involucrados. En este contexto, la agricultura convencional contribuye en gran medida al cambio climático mediante la emisión de GEI.

2.2.2.1 Producción orgánica de frutales en la Norpatagonia

Argentina es un gran productor de alimentos orgánicos y en frutas las principales especies son manzanas y peras. La producción y exportación está creciendo año tras año y ha adquirido una importancia estratégica en los envíos a ultramar. Actualmente casi todas las manzanas que se envían a América del Norte son orgánicas y en caso de Europa representan el 50% del total exportado, mientras que en peras representan aproximadamente un tercio del total exportado (Villarreal *et al.*, 2020).

Los productores de la región frutícola del Alto Valle de Río Negro en los últimos cinco años, motivados por los precios diferenciales que brinda el mercado internacional, comenzaron una transición hacia la producción orgánica. Este cambio se ve reflejado en el aumento en la superficie que pasó de 3% al 11%, es decir que hoy la región cuenta con 4.400 ha con certificación orgánica. De esta manera, según lo informa Senasa (2016), la provincia de Río Negro, con un 43% de la superficie cosechada, es la principal zona de producción de frutales orgánicos en el país.

Las producciones orgánicas alcanzan dicho estatus a través de certificaciones¹⁶ otorgadas por entidades destinadas a dicho fin. Para acceder a la certificación se debe demostrar que el trabajo y la organización de las prácticas agrícolas se realizan en función del Decreto 97/2001 reglamentación de la Ley N° 25.127¹⁷ que rige las producciones y comercializaciones de los productos orgánicos en Argentina.

Comercialmente la producción orgánica está posicionada como un modelo agrícola que ofrece productos de calidad con bajo impacto ambiental. Sin embargo, en un escenario donde el cambio climático y sus consecuencias cada vez son más notorios es necesario que los productores del Alto Valle de Río Negro cuenten con indicadores como la HC que le permitan identificar las labores culturales que afectan la sustentabilidad del agroecosistema, ajustar las prácticas para ser más eficientes y respetuosos con el ambiente y demostrar el manejo de sus establecimientos frutícolas.

2.3 El ambiente

“El medio ambiente (...) es el entorno vital: el sistema constituido por los elementos físicos, biológicos, económicos, sociales, culturales y estéticos que interactúan entre sí, con el individuo y con la comunidad en que vive, determinando la forma, el carácter, el comportamiento y la supervivencia de ambos” (Orea y Villarino, 2013). En las divulgaciones científicas más antiguas referidas a este tema frecuentemente, cuando se refiere al ambiente, se menciona incorrectamente la frase “medio ambiente”. Esto ocurre en casi todos los países de habla hispana y es producto de la inapropiada traducción que desde un inicio, se realizó a la palabra inglesa “Environment”¹⁸ (Ramírez Mora, 2021).

Desde siempre las personas han influido en su entorno y éste, a su vez, ha condicionado su modo de vida. Sin embargo, en las últimas décadas la intervención humana ha incrementado de forma descontrolada, lo que ha dado lugar a los problemas ambientales

¹⁶ La certificación es el proceso mediante el cual un organismo da una garantía por escrito, de que un producto, proceso o un servicio está conforme a los requisitos especificados. La certificación es en consecuencia el medio que está dando la garantía de la conformidad del producto a normas y otros documentos normativos. En Argentina las certificadoras habilitadas por Senasa son: ARGENCERT S.R.L, FOOD SAFETY S.A, LETIS S.A, O.I.A, y VIHUELA S.R.L.

¹⁷ En la República Argentina la Ley N° 25.127, a través del Decreto N° 97 de fecha 25 de enero de 2001 y su similar N° 206 de fecha 16 de febrero de 2001, se reglamenta como producto orgánico -derivado de un régimen de Producción Ecológica, Biológica u Orgánica- al que proviene de un sistema de producción agropecuario sustentable en el tiempo y que mediante el uso racional de los recursos naturales, manteniendo o incrementando la biodiversidad y evitando el uso de productos de síntesis química y otros de efectos tóxicos reales o potenciales para la salud humana, brinde productos más sanos e inoocuos a la sociedad.

¹⁸ Cuando se dice “medio” se refiere al “conjunto de circunstancias o condiciones exteriores a un ser vivo que influyen en su desarrollo y en sus actividades” y “ambiente” es lo “que rodea algo o a alguien como elemento de su entorno”. De acuerdo a estas definiciones de la Real Academia Española, el ambiente contiene el medio que sirve de sustrato para que determinado ser vivo se desarrolle, por lo que, es una redundancia decir “medio ambiente” cuando se refiere a todo el espacio físico que rodea al “ser vivo”.

de carácter global y ha agravado a otros, de carácter no necesariamente ambiental, como la pobreza, el reparto injusto de la riqueza, la desigualdad en las relaciones entre los países, entre otros (AEC, 2012). Según un estudio del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por su denominación en inglés), en el año de 2010 la demanda mundial por áreas biológicamente productivas ha alcanzado prácticamente el doble que tenía en la década de 1960 (WWF, 2010). Mientras que según el PNUMA, en el año 2007 la humanidad demandó una capacidad bioproductiva o Huella Ecológica equivalente a más de 1,5 veces la que posee la Tierra, un déficit que se logra solamente a través del agotamiento de las reservas de recursos renovables o por medio de la acumulación de productos residuales, especialmente con la liberación de CO₂ a la atmósfera (PNUMA, 2012).

En las últimas décadas, se ha tomado conciencia de que los problemas ambientales no solo impactan a la naturaleza sino que, sobre todo, afectan a los seres humanos. Por ello, para que los profesionales y los ciudadanos puedan abordar a los problemas que conciernen al ambiente e implementar soluciones, se hace cada vez más crucial la necesidad de promover su sensibilización y su capacitación en temas ambientales (AEC, 2012).

En dicho contexto, la gestión ambiental aparece como un concepto clave, ya que se orienta a resolver, mitigar y prevenir los problemas ambientales, con el propósito de lograr un desarrollo sostenible, el cual le permita a la humanidad garantizar el desenvolvimiento de sus potencialidades y de su patrimonio biofísico y cultural, de manera perenne en el tiempo y en el espacio (Campos Lopes, 2017). Según Vicente Conesa, la gestión ambiental es el “conjunto de acciones encaminadas a lograr la máxima racionalidad en el proceso de decisión relativo a la conservación, defensa, protección y mejoramiento del ambiente, basándose en una coordinada información multidisciplinaria y en la participación ciudadana” (Fernández Vítora, 2003).

En su búsqueda por soluciones a los problemas prácticos que enfrentan los humanos en su relación con el medio físico-biológico que los envuelve, la gestión ambiental combina ramas de las ciencias exactas, humanas y biológicas; fomentando, por medio de este carácter interdisciplinario, la formulación y el uso de nuevas tecnologías que limiten el nivel de alteración y de deterioro del entorno natural en el que vivimos. La gestión ambiental, a su vez, también se ocupa de temas asociados a la distribución justa y equitativa de los recursos naturales y a la conservación de dichos recursos para las generaciones futuras (NEC, 2011).

Debido a que el nivel actual de la demanda antrópica por servicios ecosistémicos está por encima de la capacidad regenerativa y asimilativa de la biosfera y dicha demanda presenta una tendencia de crecimiento sostenido, la gestión de los activos ecológicos del planeta se ha convertido en un tema central para los decisores de todo el mundo (Best *et al.*, 2008). En este sentido, la disciplina de la gestión ambiental ocupa el importante papel de, por medio del suministro de soluciones de corto y largo plazo, proveer los medios y los mecanismos para que se pueda alcanzar y mantener un equilibrio más sostenible entre la humanidad y su entorno natural.

Aquí, es donde la Agroecología toma relevancia porque surge como respuesta de mitigación al cambio climático.

2.3.1 Economía ecológica y las leyes de la termodinámica

La economía ecológica, se define como el estudio de las distintas interacciones entre los sistemas económicos y los sistemas ecológicos. La economía ecológica es una corriente del pensamiento que posee la característica de ser transdisciplinaria. Esto se debe a que, al abordar la relación entre los ecosistemas naturales y artificiales y el sistema económico, se necesita de la intervención no solo de economistas, sino también de los profesionales que estudian las ciencias naturales, sociólogos y otras disciplinas. Esta característica de carácter multidisciplinar es especialmente imprescindible cuando se quieren estudiar temas ambientales y entender la “finitud del planeta Tierra” por los recursos limitados (Dussi y Flores, 2018a).

Desde la década del setenta del siglo pasado la economía neoclásica comenzó a mostrar un renovado interés por el ambiente natural y ahora incluye dos importantes especializaciones: la economía ambiental y la economía de los recursos naturales. La economía ambiental se ocupa principalmente de la inserción de la economía en el ambiente natural y de los problemas de asociados a su contaminación; la segunda, a su vez, se ocupa mayormente de las extracciones de recursos naturales por las actividades económicas humanas y de los problemas relacionados con el nivel de la demanda actual de dichos recursos (Campos Lopes, 2017).

Según Common y Stagl (2005), dado que los seres humanos son una especie animal, el campo de estudio de la economía es un subconjunto del campo de estudio de la ecología. Sin embargo, los seres humanos se diferencian de las otras especies animales por su capacidad de interacción social y su actividad económica. Por ello, en lugar de tratar la

economía como un subconjunto de la ecología, los autores consideran que se debería clasificar como distintas disciplinas, cuyos temas de estudio se superponen. La superposición de dichas disciplinas representa el campo de interés de la economía ecológica.

Según la economía ecológica, la economía se encuentra dentro del ambiente e intercambia energía y materia con éste. Para existir, los seres humanos extraen distintos tipos de elementos del ambiente y también introducen en él diversos tipos de residuos que surgen, inevitablemente, de sus procesos de existencia.

Desde sus inicios, la actividad económica humana siempre ha involucrado intercambios de materia y de energía con el ambiente, ya que no sería posible realizar cualquier actividad económica sin interactuar con la naturaleza. Sin embargo, la escala global de las actividades económicas humanas actuales son tales que el nivel de extracción de elementos del ambiente, y de introducción de elementos (residuos, por ejemplo) en él, afectan de manera palpable la forma que éste funciona. Paralelamente, los cambios en la forma de funcionar del ambiente natural también afectan la capacidad de éste de prestar servicios a la actividad económica humana (Common y Stagl, 2005).

Por lo tanto, los conceptos de economía y de ambiente son interdependientes, ya que lo que sucede en uno afecta al otro. Los economistas ecológicos piensan que tal comprensión es una parte esencial de la educación de un economista y asumen que el estudio apropiado de cómo los seres humanos utilizan los recursos disponibles debe incluir el estudio de las relaciones del animal humano con su ambiente orgánico e inorgánico, ya que toda actividad económica inevitablemente tendrá lugar dentro de dicho ambiente (Common y Stagl, 2005).

La teoría de la economía ecológica se fortalece al analizar la crisis ambiental que desde los años sesenta se determina como un problema grave, producto de las actividades humanas; se construye como crítica a la economía neoclásica–keynesiana ambiental, incorpora las leyes de la termodinámica al análisis del proceso económico y le da a la naturaleza un valor per se (Foladori, 2005). Por ende, el crecimiento económico no puede ser ilimitado ya que estaría en algún momento imposibilitado por los límites físicos del ecosistema antes que por razones económicas.

Autores como Pengue y Feinstein (2013) y Dussi y Flores (2018a) mencionan que la economía ecológica amplía el enfoque de los diferentes modos de valoración para que se incluyan en el análisis no solo condiciones económicas sino cuestiones como el “metabolismo social” (ya que la economía ecológica estudia las sociedades como

organismos vivos y como tal, un organismo vivo tiene funciones de captar energía, utilizar los recursos y energía de la naturaleza y eliminar sus propios residuos), los indicadores biofísicos (nutrientes, suelo, agua, apropiación primaria neta de la biomasa), tendencias de consumo de energía, degradación de la naturaleza y contaminación.

Dado que para comprender el funcionamiento de los sistemas ambientales resulta fundamental estudiar el concepto de las leyes de la termodinámica, se deduce que dichas leyes también son esenciales para comprender el funcionamiento de los sistemas económicos (Campos Lopes, 2017). Según la primera ley de la termodinámica, afirma que la energía puede ser convertida de una forma a otra, pero que no puede ser ni creada y ni destruida. De manera similar a dicha ley, existe una ley de conservación para la materia, conocida como el principio del equilibrio de los materiales, la cual establece que la materia no puede ser ni creada y ni destruida. La segunda ley de la termodinámica, también conocida como “ley de entropía”, establece que todos los intercambios de energía están sujetos a ineficiencias y pérdidas. Aplicando los principios de la termodinámica, se podría deducir, por ejemplo, que a medida que la actividad humana extrae más recursos del ambiente, necesariamente también insertará más desechos en él. Esto trae consigo la agravante consecuencia de que dichas inserciones de residuos, cuando realizadas en altas velocidades, podrían reducir la capacidad que el ambiente tiene para renovar los recursos conocidos como renovables (Common y Stagl, 2005).

2.3.2 Sustentabilidad

Otro concepto importante para la economía ecológica es el de la sustentabilidad, el cual requiere que la producción económica respete el principio de equidad intertemporal e intergeneracional (Campos Lopes, 2017); lo que implica que el desarrollo sustentable no es únicamente un concepto de eficiencia en el uso de los recursos (Labandeira, *et al.*, 2007). La satisfacción de las necesidades de la generación actual es premisa imprescindible para alcanzar el desarrollo sustentable, independientemente de la localización geográfica. Ello requiere solución a los problemas de pobreza y, por tanto, la redistribución geográfica de la riqueza. Además, el desarrollo sustentable es un concepto dinámico y, por ello, el legado de recursos para la siguiente generación ha de ser, al menos, igual que el disponible para la generación actual (Labandeira, *et al.*, 2007). Desde el punto de vista organizacional, el desarrollo sustentable se basa en la ecoeficiencia, es decir producir más con menos recursos y contaminación (Leff, 2012), al

establecer un equilibrio entre la oferta de productos y servicios a un precio competitivo que satisfaga las necesidades humanas con un incremento de la calidad de vida, mientras se reduce el impacto negativo sobre el ambiente y la intensidad de uso sobre los recursos. Dussi y Flores (2018a), mencionan que en la evolución del concepto de sustentabilidad surgieron paradigmas y concepciones ideológicas distintas. Desde la posición económica ortodoxa se introdujo el concepto de crecimiento sostenido para designar al crecimiento constante, o sea, crecimiento económico constante. Por lo tanto, se han desarrollado básicamente, dos versiones del concepto de sustentabilidad: sustentabilidad débil y sustentabilidad fuerte. La sustentabilidad débil se posiciona en el desarrollo sostenido, en el marco del paradigma de la economía estándar ortodoxa. En ella se subordina la conservación de la naturaleza al crecimiento económico. En esta corriente de pensamiento rigen la inequidad y el principio de sustituibilidad en el cual los recursos que se agotan pueden ser sustituidos ilimitadamente siempre y cuando la tecnología evolucione.

En cambio, la sustentabilidad fuerte la fundamentan economistas heterodoxos basándose en los principios de la termodinámica y la ecología, donde el sistema económico es dependiente del ecosistema y no se puede mantener un crecimiento continuo. En esta corriente de pensamiento el capital natural no es sustituible por el capital humano y priman los principios de la economía ecológica donde muchos recursos y procesos naturales son inconmensurables monetariamente.

Por su parte Herman E, Daly, el ecologista y economista estadounidense, en 1990 ha establecido seis criterios operativos básicos que deberían ser aplicados en una sociedad ecológicamente sustentable (Luffiego y Rabadán 2000). Estos principios de carácter regulador de las actividades humanas debieran considerarse en el manejo y planificación de los agroecosistemas (Dussi y Flores 2018a). Los mismos se enuncian a continuación:

- Para los recursos que son potencialmente renovables (agua, suelo), el principio operativo enuncia que la tasa de explotación debe ser similar o menor a la tasa de regeneración.
- Los recursos de disponibilidad limitada (petróleo, carbón) que no se regeneran ni son reciclables, a medida que se gasten deben ser sustituidos por recursos renovables que puedan remplazarlos.
- En cuanto a los contaminantes biodegradables, su tasa de emisión debe ser menor o igual a la tasa de asimilación de los mismos para evitar su acumulación.
- Los contaminantes peligrosos que se acumulan como la contaminación radiactiva y química, se deberían eliminar y prohibir su emisión.

- Debería haber una selección de tecnologías según su eficiencia.
- Antes de realizar actuaciones y de poner en marcha tecnologías se debe minimizar la incertidumbre debido a la complejidad de los procesos, interacciones y efectos que se producen naturalmente o por la intervención humana. Esto se denomina principio de precaución.

No se trata, entonces, de decir no al desarrollo, sino de concebir y concretar modelos de desarrollo basados en la bioética o lo que varios autores llaman desarrollo sustentable o sociedad ecológicamente sustentable. Pensar en una agricultura sustentable significa que elementos tales como la tecnología, la política, la legislación y las instituciones estén destinados a fomentar y a orientar el equilibrio entre las dimensiones ecológica, económica y social (Dussi y Flores 2018a).

2.4 Definición de indicador

El término ‘indicador’ proviene del latín *indicare*, el cual significa ‘anunciar’, ‘apuntar’ o ‘indicar’ (von Schirnding, 2002). La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) ha definido como indicador a “un parámetro o valor derivado de parámetros, que provee información sobre un fenómeno agregándole una significancia que se extiende más allá de las propiedades directamente asociadas al valor del parámetro” (OECD, 1993). Según Parker *et al.* (1994) los indicadores son “una información, que es parte de un proceso específico de gestión y que puede ser comparada con los objetivos de éste, a la cual se le otorga una significancia más allá de su valor”. A su vez Peterson (1997), atribuye a los indicadores dos características claves: la de cuantificar alguna información para que su significado sea más aparente; y la de simplificar la información sobre fenómenos complejos, a modo de promover la comunicación entre las partes interesadas.

Independientemente de cómo sean definidos, se podría consensuar que los indicadores forman parte de un sistema de información y que tienen la característica de poder diferenciarse de los estadísticos y de los datos primarios en tanto que podrían representar más que los datos a partir de los cuáles fueron calculados (Campos Lopes, 2017). La utilización de los indicadores actualmente se encuentra bien establecida y tiene una aplicación amplia en áreas como las ciencias económicas, las ciencias ecológicas y la salud pública. Además, su utilización puede darse a escala global, regional, nacional y local (Woodward *et al.*, 1995). Algunos ejemplos de indicadores podrían ser el producto

bruto interno (PBI), el cual es una manera general de evaluar el desarrollo económico agregado de un país, y la mortalidad infantil, la cual podría considerarse como un indicador del nivel de salud de una comunidad. Por otro lado, el aumento de los niveles de temperatura alrededor del mundo se ha utilizado como un indicador del PCG (von Schirnding, 2002).

Sarandón (2002), menciona que la utilización de indicadores es una herramienta de gestión, construida interdisciplinariamente, que permite evaluar y comparar la sustentabilidad en agroecosistemas. Con estos instrumentos se logran detectar los puntos críticos según la escala de análisis, para luego plantear las modificaciones necesarias en el marco de la agricultura sustentable. Por lo tanto, los indicadores son herramientas que permite evaluar y comparar. Estos instrumentos posibilitan detectar los puntos críticos, según la escala de análisis, y plantear las modificaciones necesarias.

Por otro lado, puede aportar valor agregado a los productos al analizar aspectos como: sistemas participativos de certificación, planificación territorial, comercio justo, soberanía alimentaria, eficiencia energética, huella ecológica, de carbono y de agua (Zon *et al.*, 2011; Dussi *et al.*, 2012; Flores *et al.*, 2015 a y b).

2.4.1 Relevancia de los indicadores ambientales. Indicadores ambientales de contabilidad basada en el consumo

Los gobiernos a menudo enfrentan la necesidad de llevar a cabo importantes reformas en dimensiones clave de su territorio y de su población, como en los sectores de la salud, de la economía y del ambiente. Para ello los decisores necesitan información para identificar los problemas existentes, establecer prioridades, desarrollar y evaluar políticas y planes, establecer estándares y valores guía, monitorear progresos e informar al público. Esta información, idealmente, debería ser presentada en un formato de fácil comprensión, que describa debidamente a las complejidades características de su elaboración y a las potenciales incertidumbres provenientes de la recolección de datos (Campos Lopes, 2017).

Los programas de monitoreo y de vigilancia frecuentemente ofrecen, especialmente en los países más avanzados tecnológicamente, información abundante y recopilada de manera sistemática. Sin embargo, esta información no siempre se presenta en una forma útil y de fácil interpretación, para que los decisores puedan comparar distintas políticas y elegir las más adecuadas. Los indicadores juegan un rol importante en la solución de dicha

problemática, ya que son capaces de convertir datos en información relevante tanto para los decisores, como para el público en general. Particularmente, dichos indicadores ayudarían a simplificar un conjunto variado de información, a mejorar la comunicación entre los especialistas, los decisores y el público; a contribuir para una mejor gestión y formulación de políticas.

Cualquier conjunto de indicadores comparte la característica general de constituir un sistema de señales, el cual podría ser utilizado para evaluar e informar sobre los avances alcanzados en la consecución de determinados objetivos y metas. Por esta razón, los indicadores ambientales constituyen una herramienta esencial para corroborar el progreso de las principales tendencias y dinámicas ambientales, así como para dar sustento a la elección de las políticas públicas y privadas.

Wackernagel *et al.* (2002) señalan que cuando el consumo humano supera la capacidad regenerativa de la biosfera, consumiendo el capital natural más rápido de lo que éste se restaura, surgen problemas medioambientales, económicos y sociales. Esta situación impulsó la creación de la Huella Ecológica, un indicador biofísico basado en el consumo que mide la presión que ejerce la actividad antrópica sobre los recursos naturales y los servicios ambientales (Rees y Wackernagel, 1996). Los indicadores fueron planteados como instrumentos de contabilidad destinados a valorar impactos de las diferentes actividades sociales sobre el ecosistema (Bermúdez *et al.*, 2004).

En este sentido, los indicadores ambientales de contabilidad basada en el consumo tienen como fin, identificar el impacto ambiental generado por una actividad de consumo de interés y promover la correcta asignación de responsabilidades a los agentes económicos (consumidores, corporaciones, gobiernos, instituciones o regiones), respecto de sus impactos ambientales negativos.

Para ello, los indicadores ambientales basados en el consumo realizan una importante distinción entre el impacto ambiental de un actor que produce un bien y el impacto ambiental de un actor que lo utiliza en sus procesos productivos o como elemento de consumo (Campos Lopes, 2017).

El criterio utilizado por estos indicadores es asignar la responsabilidad ambiental (es decir, la carga del impacto ambiental negativo) a los agentes económicos que, por medio de sus hábitos de consumo, impactan indirectamente al ambiente. Las huellas (ecológica, hídrica, de carbono, entre otras) son indicadores ambientales basados en el consumo y, por lo tanto, tienen como objetivo informar el impacto ambiental de un determinado bien en base a todas las actividades de consumo de productos y de servicios intermedios o

finales asociados a la elaboración, a la distribución, al consumo y a la disposición del bien en cuestión.

El concepto de huella hídrica se refiere al volumen total de agua utilizado para producir los bienes y servicios necesarios para el consumo de los habitantes de una región. Este indicador puede ser dividido en dos componentes dependiendo de donde es consumido el recurso hídrico; uno de ellos es la huella hídrica interna que se refiere al volumen de agua utilizada a partir de recursos hídricos de la región bajo estudio, y el otro es la huella hídrica externa que hace referencia al volumen de agua utilizada en otros países para generar bienes y servicios importados y consumidos por los habitantes de la región bajo estudio (Hoekstra y Chapagain, 2007).

Pengue (2006), indica que la huella hídrica en la producción de alimentos, se compone de tres tipos de agua: el agua azul, proveniente de fuentes de agua superficial y subterránea; el agua verde, proveniente de la lluvia que es evapotranspirada¹⁹ por el cultivo, y el agua gris, que es el agua contaminada luego de cualquier proceso productivo. Otro concepto relevante cuando se menciona la huella hídrica es el agua virtual, que se define como el agua contenida en un producto, no en el sentido real sino en el sentido virtual. Entendiendo por tal, no únicamente la cantidad física de agua contenida en el producto, sino la cantidad de agua que ha sido necesario utilizar para generar dicho producto (Pengue, 2006; Parada Puig, 2012).

Por su parte, la huella ecológica es definida como el área biológicamente productiva requerida por unidad de persona (ha/ind) para producir los recursos utilizados y absorber los residuos generados por una población. El término fue introducido por Rees (1996) y desarrollado por Rees y Wackernagel (1996) con el fin de crear un indicador que permita estimar los requerimientos en términos de consumo de recursos y asimilación de desechos de una determinada población y economía, expresados en área de suelo productivo de acuerdo con su estilo de vida y la productividad, dados por los consumos y la tecnología utilizada. Así, la huella ecológica permite determinar además la dependencia que tiene una población de las importaciones de recursos y su capacidad de asimilación de desechos disponibles.

En cambio, la HC se podría definir como la medida del impacto que las actividades socio económicas ejercen sobre el ambiente, especialmente en el cambio climático.

¹⁹ La evapotranspiración se define como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en milímetros por unidad de tiempo.

2.5 HC: concepto y definición

La HC es un indicador ambiental que estima la cantidad de GEI, medidos en equivalentes de dióxido de carbono (CO₂ eq), que se emiten a la atmósfera por acción directa o indirecta de un individuo, organización, evento o producto. Comprende las emisiones de todas las actividades o eslabones del proceso que describe el ciclo de vida de un producto, desde las materias primas utilizadas hasta la disposición final de sus residuos. De esta manera se busca informar al consumidor acerca de la contribución que hacen al calentamiento global del planeta. El CO₂ es el componente que crece más rápidamente y genera mayor preocupación por sus efectos sobre el cambio climático (Viglizzo, 2018). Hasta el momento, el cálculo es parte de una iniciativa privada, pero comienza a ser un requerimiento para el acceso de ciertos productos agroexportables a determinados mercados (Basso *et al.*, 2013).

La HC también es un ejemplo de un indicador agroecológico porque permite conocer el funcionamiento del agroecosistema e identificar aquellas etapas de producción que están sujetas a elevados requerimientos energéticos y por ende producen elevada emisión de GEI (Fernández, 2017; Dussi *et al.*, 2018b). Un modo productivo que renuncia al alto uso de subsidios energéticos merma su contribución al cambio climático, dado que al disminuir el consumo de energía se reducen las emisiones de GEI.

Según Wiedmann y Minx (2008) el término HC apareció por primera vez en la literatura alrededor de 2005, cuando se acordó internacionalmente que las emisiones de GEI deberían ser menores para que, de esta forma, se pudiera reducir el aporte antrópico al calentamiento global (Barnett *et al.*, 2013).

Si bien el término HC, en su concepción actual, podría considerarse como derivado de la huella ecológica tal como menciona Selin (2010), también sería posible encontrar sus raíces en los estudios de balances energéticos, los cuales la preceden. El balance energético, en síntesis, es un conjunto de relaciones de equilibrio que contabilizan los flujos energéticos de diferentes fuentes de combustibles desde su producción hasta su consumo final. Esta contabilización se lleva a cabo para un determinado territorio y período, por ejemplo un año, y permite comparar los flujos de diferentes fuentes de energía. Para lograr dicha capacidad comparativa, se convierte a todas las diferentes medidas (específicas a cada fuente) en una unidad común, usualmente tonelada equivalente de petróleo, utilizando, para ello, factores de conversión de los poderes caloríficos de las distintas fuentes combustibles (Campos Lopes, 2017).

De acuerdo con Gaia (2012), la HC es una de las herramientas centrales para evaluar el desempeño ambiental; al ser la medición transparente y verificable de las emisiones de GEI resultantes de las acciones de un individuo, empresa, región, ciudad o país, en un año. La HC proporciona la información de referencia como primer paso hacia la gestión de las emisiones de carbono; el mismo autor define que existen tres pasos para la gestión de la HC: la medición o el cálculo, la reducción, a través de diferentes tipos de acciones y la compensación de las emisiones de carbono restantes.

En este sentido, Wittneben y Kiyar (2009) consideran a la HC un indicador capaz de sintetizar los impactos provocados por las actividades del hombre en el entorno y Wright *et al.* (2011) destacan su utilidad en la gestión de las emisiones de GEI. Otros autores como Valderrama *et al.* (2011) y Fernández (2017) la perfilan como una herramienta eficaz de gestión empresarial, dado que ha encontrado un importante campo de aplicación para cuantificar la eficiencia energética y su impacto en los costos operacionales de las empresas.

En la publicación Carbon Footprinting guide (Carbon Trust, 2008) se estableció que existen múltiples beneficios derivados de la reducción de la HC, incluyendo mejoras en la eficiencia energética, reducción del consumo de combustibles fósiles o sustitución de combustibles más intensivos en el uso de carbono con otros que producen menos emisiones, y un mejor aprovechamiento de los insumos de recursos y materias primas; en algunos casos con la mitigación de la HC es posible reducir directamente los costos de operación.

Es importante destacar que la HC varía notablemente en función del desarrollo relativo alcanzado por países, regiones y áreas dentro de los mismos países. Charles *et al.* (2010) han detectado diferencias significativas entre las economías desarrolladas y las economías en desarrollo. Como patrón general, mientras la emisión de carbono en las economías desarrolladas se concentra en el último eslabón de la cadena (abundantes desechos resultantes del consumo doméstico), en las economías en desarrollo se concentra en los eslabones de la producción primaria, el transporte y procesamiento de los alimentos. Esta asimetría define el perfil definidamente consumista de las sociedades desarrolladas, y el perfil de baja eficiencia (debido a pérdidas en la cosecha, transporte y procesamiento) de las sociedades menos desarrolladas (Godfray *et al.*, 2010).

En el sector agroalimentario la mayor parte de los GEI se originan a partir del consumo de combustibles fósiles (Pathak y Wassmann, 2007), representando el 12% de las emisiones de GEI agrícolas (Browne *et al.*, 2011). Las etapas que poseen mayor consumo

de energía de origen fósil y por ende mayor emisión de GEI son la producción a través de la aplicación de fertilizantes y fitosanitarios con maquinaria agrícola, transporte, acondicionamiento, almacenamiento y distribución. Por lo tanto, es esencial una comprensión de las emisiones provocadas en cada etapa de la cadena de producción a partir de metodologías que muestren la cantidad de GEI emitidos por actividad (Lal, 2004).

La HC no es sólo una cuestión medioambiental, también afecta a la competitividad e incluso a la sustentabilidad de las empresas. La HC se puede convertir en uno de los instrumentos de los países importadores para seleccionar a sus proveedores, es por ello que las economías regionales orientadas a la exportación de sus productos hacia países desarrollados deben comenzar a abordar esta temática.

2.5.1 Alcances y tipos de HC

De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2005), la HC se puede medir en tres escalas o alcances para propósitos de reporte y contabilidad de GEI, los cuales se ven representados gráficamente en la figura 7 y se describen a continuación:

- Alcance 1: Emisiones directas de GEI. Ocurren de fuentes que son propiedad de o están controladas por la empresa. Por ejemplo, emisiones provenientes de la combustión en calderas, hornos, vehículos, entre otros, emisiones provenientes de la producción química en equipos de proceso propios o controlados.
Alcance 2: Emisiones indirectas de GEI asociadas a la electricidad. Incluye las emisiones de la generación de electricidad adquirida y consumida por la empresa. Electricidad adquirida se define como la electricidad que es comprada, o traída dentro del límite organizacional de la empresa. Las emisiones del alcance 2 ocurren físicamente en la planta donde la electricidad es generada.
- Alcance 3: Otras emisiones indirectas. Es una categoría opcional de reporte que permite incluir el resto de las emisiones indirectas. Las emisiones del alcance 3 son consecuencia de las actividades de la empresa, pero ocurren en fuentes que no son propiedad ni están controladas por la empresa. Algunos ejemplos de actividades del alcance 3 son la extracción y producción de materiales adquiridos, el transporte de combustibles adquiridos y el uso de productos y servicios vendidos.

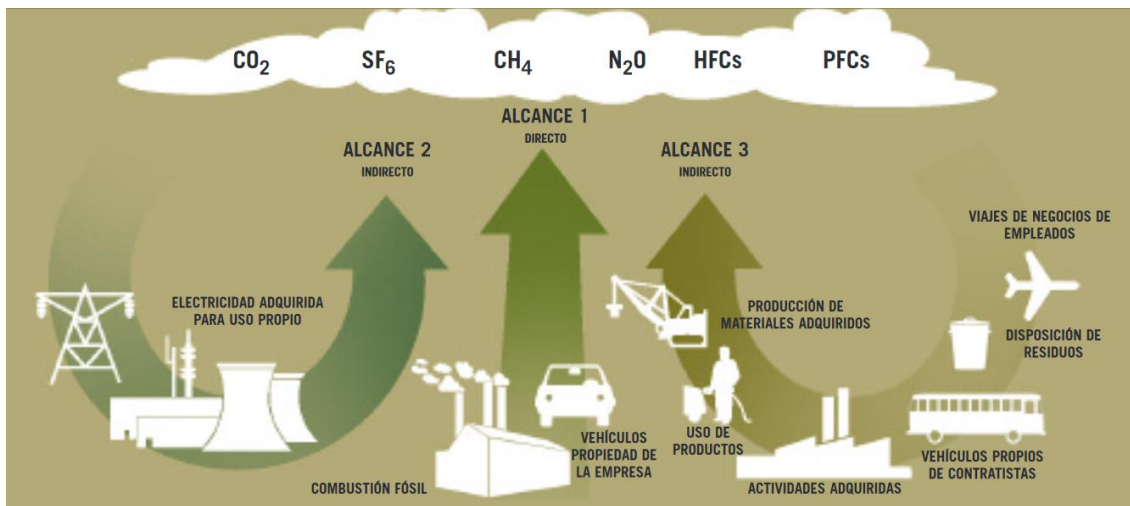


Figura 7. Tipos de alcances 1,2 y3 de la HC y emisiones a través de la cadena de valor. SEMARNAT, 2005 y WRI y WBCSD, 2004.

Carbon Trust (2008) afirma que existen tres tipos de HC para las organizaciones, las cuales son:

- HC Corporativa: Las emisiones de todas las actividades a través de una organización, incluyendo el uso energético de los edificios, procesos industriales y vehículos de la empresa.
- HC de la Cadena de Valor: Incluye las emisiones que están fuera de las operaciones propias de la organización (también conocidas como emisiones de Alcance 3). Esto representa las emisiones procedentes de los proveedores y consumidores, incluyendo todo el uso y el final de las emisiones de la vida.
- HC del Producto: Cuantifica las emisiones relacionadas con el ciclo de vida de un producto o servicio, desde la extracción de materias primas y la fabricación, hasta su uso y reutilización final, reciclado o eliminación.

La HC de productos y corporativa está vinculada a la actividad agrícola de forma directa. Fernández (2017) indica que ambas huellas tienen por objetivo identificar las principales fuentes de emisiones de GEI de una empresa o bien/servicio, definir mejores objetivos con una base documentada; crear políticas de reducción de emisiones más eficaces al identificar las principales fuentes de emisiones; dirigir iniciativas de ahorro de costos (principalmente por eficiencia energética de los procesos); demostrar a terceros un compromiso de responsabilidad empresarial y medioambiental; aportar una

diferenciación de mercado; disponer de información para grupos de interés; aportar una estrategia de comunicación y transparencia y compensar las emisiones de su actividad.

2.5.2 Metodologías del cálculo de la HC

El documento Metodologías de Cálculo de la HC y sus potenciales implicaciones para América Latina, elaborado por Comisión Económica para América Latina y el Caribe, destacó los siguientes marcos metodológicos que tienen cierto reconocimiento e influencia sobre los avances actuales y que apuntan concretamente al cálculo de la HC, a partir de estándares internacionales (CEPAL, 2011).

2.5.2.1 Organización Internacional de Normalización- ISO

La Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés) ha desarrollado estándares relacionados con la medición de emisiones de GEI. Estos se inspiran en general, en estándares y metodologías desarrollados previamente, y tienen como objetivo ser un marco reconocido de confianza a los operadores de proyectos de medición de emisiones de GEI.

Las normas ISO 14064 e ISO 14065 tienen como objetivo dar credibilidad y confiabilidad a los reportes de emisión de GEI y a las declaraciones de reducción o eliminación de estos gases (en particular en el caso de empresas sometidas a obligaciones de reducciones de emisiones, en el marco del Protocolo de Kyoto). Las normas pueden ser usadas por organizaciones que participan en el comercio, en proyectos o mecanismos voluntarios de reducción de emisiones. Se pueden aplicar a todos los tipos de GEI, no estando limitadas al CO₂.

Mientras que la ISO 14064 (implementado en el 2006) se divide en tres partes y se enfoca en la contabilización, reducción y verificación de GEI de empresas y administraciones, la ISO 14065 (implementado en el 2007) apunta a entregar confiabilidad en los procesos de verificación y validación, definiendo requisitos a las organizaciones que realizan validaciones o verificaciones de emisiones de GEI.

2.5.2.2 Protocolo de Gases Efecto Invernadero

El Protocolo de Gases Efecto Invernadero (GHG Protocol, por sus siglas en inglés) fue implementado en el 2001 mediante la publicación del “Corporate Standard”. Es una iniciativa del Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, por

sus siglas en inglés) y del Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en inglés). Se plantea como una colaboración multilateral entre empresas, Organizaciones No Gubernamentales (ONGs) y gobiernos que tiene como meta el establecimiento de bases para la contabilización de emisiones de GEI.

El GHG Protocol es un marco metodológico general que da pautas de trabajo para la determinación de herramientas (*software*) de cálculo de emisiones de GEI. En particular, los métodos Bilan Carbone y la Especificación Disponible al Público (PAS 2050, por sus siglas en inglés), descritos a continuación, son los más importantes desarrollados y comúnmente utilizados a la fecha según CEPAL (2011), los cuales siguen las líneas de recomendación del GHG Protocol. Así también la norma ISO 14064, apunta de nuevo a la definición de líneas generales de cuantificación de emisiones de Gases Efecto Invernadero, retoma los resultados del GHG Protocol.

Pero el Protocolo de Gases Efecto Invernadero, además de constituirse como referente en términos de lineamientos generales, también ha desarrollado un conjunto de herramientas para el cálculo de la HC inicialmente de empresas y luego de productos. La popularidad y el reconocimiento del Protocolo de Gases Efecto Invernadero, y por supuesto el carácter de gratuidad de las aplicaciones, ha concretado el éxito y alta demanda de ellas (CEPAL, 2011).

2.5.2.3 *Bilan Carbone*

Bilan Carbone es el método de cálculo de emisiones de GEI desarrollado por la Agencia de Medio Ambiente y la Gestión de la Energía (ADEME, por sus siglas en francés), el cual es un organismo público. Sus primeras versiones fueron implementadas en el 2004 y responde a los requisitos de los marcos metodológicos ISO 14064 y GHG Protocol. Con el apoyo de subvenciones estatales otorgadas a las entidades que utilizan este método para medir las emisiones de GEI (en Francia) y gracias a su seriedad y transparencia, el Bilan Carbone se transformó en la referencia metodológica en este país para las empresas, los particulares (existe una aplicación específica) y las colectividades territoriales. También se expandió, en grado menor, a los países limítrofes.

El Bilan Carbone se caracteriza por una visión generalista muy completa, por lo que, a través de sus distintos módulos, permite trabajar a nivel de empresas y eventos pero también de territorios y productos. Esta metodología está basada en un programa en formato Excel, acompañado de guías de utilización.

Se caracteriza por tener disponibles los factores de emisión (en muchos casos determinados por numerosos países en el mundo) y de las fórmulas utilizadas, garantizando transparencia. Si bien la ADEME no vende licencias del Bilan Carbone, los utilizadores deben seguir una capacitación. Así consiguen el conjunto de herramientas Bilan Carbone y pueden realizar análisis bajo el “sello” Bilan Carbone.

2.5.2.4 Especificación Disponible al Público: PAS 2050-2060

Esta norma británica de Especificación Disponible al Público (PAS, por sus siglas en inglés), número 2050, se identifica como PAS 2050 “Especificaciones para la evaluación de las emisiones GEI en el ciclo de vida de productos y servicios”. Esta es una guía metodológica para el cálculo de la HC enmarcada en los ACV (Sinden, 2009). Es específica y adecuada para determinar la HC de productos y servicios del sector agropecuario (Armijo, 2012) al facilitar la identificación de las fuentes de emisiones utilizadas, analizar su magnitud y permitir reducir las emisiones innecesarias.

La norma sugiere seguir cuatro pasos metodológicos, a saber: 1) Definir los límites del sistema a estudiar y sus flujos de masa, 2) coleccionar datos en los distintos eslabones de la cadena a estudiar, 3) calcular la HC y 4) interpretar resultados y sugerir caminos de mitigación (PAS 2050; 2008 a y b; PAS 2050; 2011).

La norma PAS 2060 fue elaborado en 2009-2010 por los mismos organismos que el PAS 2050. Está dedicado al cálculo de las emisiones de organismos (administración, empresas, sitio de producción), colectividades territoriales y particulares. Responde a las normativas del ISO y del GHG Protocol. Al igual que 2050, el PAS 2060 se presenta como una guía metodológica que describe paso a paso los criterios a determinar y tomar en cuenta. Constituye una herramienta potente en lo que conciernen las buenas prácticas de compensación de emisiones no reductibles de GEI, y está orientada a operadores que buscan ser neutros en carbono con un alto grado de reconocimiento.

2.5.3 Marco normativo, nacional e internacional

En cuanto a los antecedentes internacionales, existen dos hechos considerados por muchos como el punto de partida de la conciencia mundial para el cuidado y preservación del ambiente. Uno es la Conferencia de Estocolmo de 1972 y otro la Conferencia de Río de Janeiro de 1992, ambas convocadas por Naciones Unidas (Bustamante Alsina, 1995). Durante la primera se instituyó principios guías y un plan de acción para los países

industrializados. Mientras que la segunda tuvo como objetivo sentar las bases de una política global que preserve la vida sobre la tierra.

En 1992, el CMNUCC alienta a los países industrializados a estabilizar las emisiones de GEI y da origen al Protocolo de Kyoto 2000. En el Art. 12° de ese protocolo se mencionan los Mecanismos de Desarrollo Limpio que permite a los gobiernos y empresas de países industrializados llevar adelante acuerdos para reducir sus emisiones de GEI cumpliendo así con las metas pautadas en el Protocolo.

En el año 2012, se llevó a cabo la Conferencia sobre el Desarrollo Sostenible “Cumbre de la Tierra” RIO + 20 donde se planteó cómo construir una economía ecológica para lograr el desarrollo sostenible y sacar a la población de la pobreza, y cómo mejorar la coordinación internacional para el desarrollo sostenible. Luego de tres años, en el 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) insta a los países a adoptar un conjunto de metas para terminar con la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de la nueva agenda de desarrollo sustentable. Esta agenda consta de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y cada objetivo tiene puntos específicos a ser alcanzados en los próximos 15 años. De esos objetivos, el objetivo 12 hace referencia al consumo y producción responsable: “Para lograr crecimiento económico y desarrollo sostenible, es urgente reducir la huella ecológica mediante un cambio en los métodos de producción y consumo de bienes y recursos”. La agricultura es el principal consumidor de agua en el mundo y el riego representa hoy casi el 70% de toda el agua dulce disponible para el consumo humano.

La gestión eficiente de los recursos naturales compartidos y la forma en que se eliminan los desechos tóxicos y los contaminantes son vitales para lograr este objetivo. También es importante instar a las industrias, los negocios y los consumidores a reciclar y reducir los desechos, como asimismo apoyar a los países en desarrollo a avanzar hacia patrones sostenibles de consumo para el 2030.

El consumo de una gran proporción de la población mundial sigue siendo insuficiente para satisfacer incluso sus necesidades básicas. En este contexto es importante reducir a la mitad las pérdidas y desperdicios per cápita de alimentos en el mundo para crear cadenas de producción y suministros más eficientes. Esto puede aportar a la seguridad alimentaria y llevarnos hacia una economía que utilice los recursos de manera más eficiente (Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, PNUD).

De acuerdo con el informe Pérdidas y desperdicios en el mundo (FAO, 2011) existen diferencias entre pérdidas y desperdicios de alimentos, ya que las pérdidas (producidas

durante la fase de producción, recolección poscosecha y procesamiento) son mayores en países en desarrollo, debido a infraestructuras inadecuadas, bajo nivel tecnológico y falta de inversiones en los sistemas de producción primaria. Por otra parte, el desperdicio de alimentos es mayor en los países industrializados, ya que en muchos casos, tanto los consumidores como los minoristas tiran a la basura alimentos “perfectamente comestibles”.

En el año 2015 también se realizó el Acuerdo de París (COP21), Convención Marco sobre el Cambio Climático. El objetivo principal de ese acuerdo es no superar durante el s. 21 1,5 °C por encima del nivel de la temperatura del aire existente en la era preindustrial. El compromiso fue firmado por 186 países sobre 195 y cada país firmante debe desarrollar un plan a largo plazo para transformar sus economías, prepararse para los impactos que este cambio pueda provocar y darle soporte a los más vulnerables. Los gobiernos deben revisar sus políticas energéticas y fomentar las energías renovables. Se espera que los países alcancen los objetivos que cada uno propuso y los escalen cada cinco años hasta que, a largo plazo, se llegue a una economía de carbono cero. Argentina tiene 29 puntos de compromiso, entre ellos que el 8% de la matriz energética provenga de energías renovables y que represente el 20% para 2025.

Los países con mayores emisiones son, en orden decreciente, China, Estados Unidos, India, Rusia y Japón. En 2011, este conjunto de países congregaba el 45% de la población mundial y generaba el 56% del total de emisiones de CO₂. China y Estados Unidos juntos representaron el 45% de las emisiones mundiales en 2011. América Latina y el Caribe aportaron un 5% del total de las emisiones mundiales ese año (Frohmann y Olmos, 2013). Considerando lo mencionado anteriormente, surge la necesidad de crear leyes que empiecen a controlar las emisiones generadas en cada uno de los sectores productivos del mundo entero. De igual manera, escriben guías y protocolos que involucren estrategias para reducir las emisiones que generan el aumento elevado del cambio climático presentado en los últimos años; así mismo se busca generar investigaciones para poder presentar herramientas de cálculo que permitan a las organizaciones conocer su contribución al aumento del cambio climático (Alfonso Corredor, 2015).

A nivel nacional, la Argentina adhiere y promueve el cuidado del ambiente para lo cual suscribe las políticas internacionales que establecen compromisos y metas a alcanzar y, además, cuenta con leyes nacionales específicas. La Argentina en los artículos 41²⁰, 43 y

²⁰ Constitución de la Nación Argentina; Capítulo Segundo; Nuevos derechos y garantías: Artículo 41- Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas

124 de su Constitución Nacional establece sus lineamientos y adhesión al cuidado del ambiente, siendo el primer artículo citado quien establece los derechos y garantías a un ambiente sano. Como Estado, mediante la Ley 24.295 de 1994, ratifica su adhesión a la CMNUCC y en el año 2002, a través, del decreto 2.213 designa a la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS) de la Jefatura de Gabinete de Ministros como la autoridad de aplicación de dicha ley.

Otras 2 leyes fueron relevantes, la Ley 25.438 que aprueba el Protocolo de Kyoto de la CMNUCC en el año 2001 y la Ley N° 25.675 que es la Ley General del Ambiente donde están enmarcadas las regulaciones sobre Impacto Ambiental y Social, e Instrumentos Ambientales.

En el año 2007 se crea la Dirección de Cambio Climático que asesora a la SAyDS respecto a la implementación de la ley 24.295, propone acciones para lograr los objetivos y lineamientos de políticas en materia de cambio climático. La SAyDS en 2008 desarrolló un calculador de HC que permite estimar las emisiones de CO₂ producidas por diferentes actividades humanas como el uso de la energía y transporte, cuyo objetivo es que cada argentino pueda estimar las emisiones asociadas a su estilo de vida.

En este marco, la Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca (SAGyP) del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina (MAGyP) y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) mediante la promulgación de la Resolución 120/2011 dieron origen al Programa de Agricultura Inteligente (AI) cuyo objetivo fue consolidar una agricultura argentina competitiva, eficiente y con valor agregado. El concepto de AI hace referencia a una agricultura de procesos, con un enfoque sistémico, que tiende a conservar o incrementar los servicios del ecosistema, que procura la mejora continua y el manejo adaptativo y sustentable de los sistemas productivos, y que permite el gerenciamiento de la heterogeneidad ambiental (Díaz Rossello *et al.*, 2013).

Hay que dejar en claro que, la Agricultura Inteligente, la Economía Circular, la Bioeconomía o la Economía Verde representan un claro ejemplo de *greenwashing* académico que confunden conceptos adrede y hacen mucho más daño a una discusión profunda e integral. El *greenwashing* consiste en aprovechar el prestigio comercial de “lo

satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley. Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales. Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales. Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos, y de los radiactivos.

verde” para obtener algún tipo de beneficio, cuando, de hecho, o no se han implantado políticas ambientales de ningún tipo o, con más frecuencia, de lo que se presume es verdaderamente nimio (Lombardía, 2017). La Economía Ecológica, al igual que la Agroecología, sufre de un fuerte proceso de incursión semántica y cooptación que está intentando cambiar su razón de ser, formar y hacer (Martinez Alier, 2021).

El programa de AI incluye el proyecto que aborda de manera simultánea la AI, HC y huella hídrica, el cual recibe la denominación de AIHCHI y es coordinado por la SAGYP en articulación con el IICA, cuyo objetivo es anticiparse estratégicamente a las demandas externas, posicionar la producción argentina en los mercados, apoyar al sector productivo frente al surgimiento de exigencias comerciales vinculadas a indicadores ambientales (Díaz Rossello *et al.*, 2013).

Como resultado del proyecto AIHCHI, en 2014 se publicó la guía metodológica para la estimación de la HC en vino, que contempla toda la cadena del sector vitivinícola y desarrolla una metodología para inventariar las emisiones de la producción de vino envasado en una botella de vidrio de 750 ml, elaborado en Argentina en un determinado año productivo. El objetivo fue elaborar una herramienta para la recopilación de información y de esta manera estimar la HC de vino elaborado en Argentina. La creación de esta guía metodológica implicó una participación multisectorial en la que intervinieron la SAGyP, el Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) y el Gobierno de la Provincia de Mendoza, entre otros.

Por su parte el INTA, desarrolló de un software denominado *AgroEcoIndex* (Viglizzo *et al.*, 2006) destinado a evaluar el comportamiento ambiental de empresas cerealeras y áreas rurales, el cual calcula la HC de las actividades agropecuarias en su primer eslabón (producción primaria), pero no avanza en estimaciones sobre otros eslabones que integran la cadena completa en un ACV. Este modelo ha tenido una importante difusión entre empresas rurales, grupos de productores y fondos de inversión de siembra argentinos y países vecinos. Empresas como Aguas Danone y Aceitera General Deheza, han incursionado en estimar su propia HC.

En el año 2016, se estableció el Programa nacional de emprendedores para el desarrollo sustentable (PROESUS) para promover y fortalecer los emprendimientos de alto impacto, que fomente el desarrollo sustentable mediante la utilización de nuevas tecnologías. Y en el año 2017 se crea el Consejo Nacional de Bioeconomía. En ese marco, el crecimiento

económico, la inclusión social y la protección del ambiente son los ejes de la Agenda 2030 del Desarrollo Sostenible en Argentina.

El Plan Nacional de Respuesta al Cambio Climático que se puso en marcha entre los años 2018 y 2019 busca fomentar el desarrollo de planes sectoriales de mitigación y adaptación al Cambio Climático. Algunas de las medidas en las que se trabajó esta la conformación del Gabinete Nacional de Cambio Climático y la actualización del inventario de emisiones de GEI.

Fernández (2017) menciona que en la norpatagonia argentina las empresas frutícolas están empezando a tomar conocimiento del tema a través de las certificadoras que operan en la región. En su trabajo de tesis “Determinación de la HC en la producción de manzana del Alto Valle del río Negro” obtuvo un valor de HC correspondiente a la producción primaria de manzanas Red Delicious cv. Top Red de 0,072 kg CO₂ eq/kg, y es el primero registrado para la zona productora del Alto Valle de Río Negro.

2.6 Análisis de ciclo de vida: concepto y definición

Tal como menciona Campos López (2017), podría considerarse al ACV como un predecesor de la HC, ya que dicho concepto originó la noción de evaluar de manera conjunta a los impactos de toda la cadena de valor de un bien. La literatura sobre los ACV se remonta a la década de 1960, cuando el análisis era utilizado fundamentalmente como un método para comparar conjuntos de productos similares en función de su desempeño en algunas características de interés, tales como costo de fabricación, consumo energético; consumo hídrico; etc. (Barnett, *et al.*, 2013).

Siguiendo esta línea, otros autores como Finkbeiner (2009) señala que la HC se evalúa como indicador parcial del PCG en un marco más general denominado ACV, y Guinée (2002) considera al ACV un método apropiado para medir el impacto ambiental de los productos y servicios con un enfoque de uso de energía y emisiones de CO₂ eq. Roy *et al.* (2009) describen al ACV como una herramienta a ser utilizada para evaluar la carga ambiental de un producto, proceso o actividad a lo largo de su movimiento, transformación o vida.

La HC es una versión simplificada de un ACV en el que, en lugar de considerar varias categorías de impacto ambiental al mismo tiempo, se considera únicamente una de ellas, la relativa a Calentamiento Global. (Figura 8).

El alcance de un ACV, incluyendo los límites del sistema y el nivel de detalle, depende del tema y del uso que se pretende dar al estudio. La profundidad y la amplitud del ACV pueden diferir considerablemente. (ISO, 2006 a y b).

CATEGORÍA DE IMPACTO AMBIENTAL	UNIDAD DE REFERENCIA	FACTOR DE CARACTERIZACIÓN
CALENTAMIENTO GLOBAL	Kg.Eq. de CO ₂	Potencial de Calentamiento Global (PCG)
CONSUMO DE RECURSOS ENERGÉTICOS	MJ	Cantidad Consumida
REDUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO	Kg.Eq. CFC-11	Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono (PAO)
EUTROFIZACIÓN	Kg.Eq. de NO ₃	Potencial de Eutrofización (PE)
ACIDIFICACIÓN	Kg.Eq. de SO ₂	Potencial de Acidificación (PA)
CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS	Tm	Cantidad Consumida
FORMACIÓN DE OXIDANTES FOTOQUÍMICOS	Kg.Eq. de C ₂ H ₄	Potencial de Formación de Oxidantes Fotoquímicos (PFOF)

Figura 8. ACV y HC como una de las categorías de impacto ambiental. Ihobe S.A., 2009.

La primera definición del ACV (Consoli, 1993), fue establecida por la Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC, por sus siglas en inglés), como: “ACV es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas con un proceso, producto o servicio mediante la identificación y cuantificación de la energía y materiales consumidos y de los residuos generados al ambiente, para valorar el impacto de estos consumos y generaciones al ambiente y para evaluar e implementar mejoras ambientales. Este análisis encierra el ciclo de vida entero del proceso, producto o servicio, incluyendo la extracción y procesamiento de las materias primas: transformación, transporte y distribución; uso, reutilización y mantenimiento; reciclado y eliminación total”.

Dependiendo del alcance y definición del estudio podemos encontrar varios tipos de ACV (Ihobe S.A., 2009), que se muestran en la figura 9, y son los siguientes:

- “de la cuna a la tumba” o “*Cradle to Grave*”: si incluye todas las entradas/salidas de los procesos que participan a lo largo de su ciclo de vida: la extracción de materias primas y el procesamiento de los materiales necesarios para la manufactura de componentes, el uso del producto y finalmente su reciclaje y/o la gestión final. Es

- aquella que analiza todas las etapas del ciclo de vida del producto desde la perspectiva de que todas ellas son interdependientes, es decir, que un proceso conduce al siguiente.
- “de la cuna a la puerta” o *“Cradle to Gate”*: Cuando el alcance del sistema se limita a las entradas/salidas desde que se obtienen las materias primas hasta que el producto se pone en el mercado. Es una evaluación del ciclo de vida parcial del producto desde la extracción de recursos hasta su proceso de manufactura (antes de ser transportada al consumidor), en este caso se omite la fase de uso y la fase de eliminación del producto.
 - “de la puerta a la puerta” o *Gate to Gate*”: cuando solo se tienen en cuenta las entradas/salidas del sistema productivo (procesos de fabricación). Es aquel enfoque parcial que considera sólo un proceso de valor agregado en toda la cadena de producción. Abarca desde un punto definido a lo largo del ciclo de vida hasta un segundo punto definido más a lo largo del ciclo de vida.

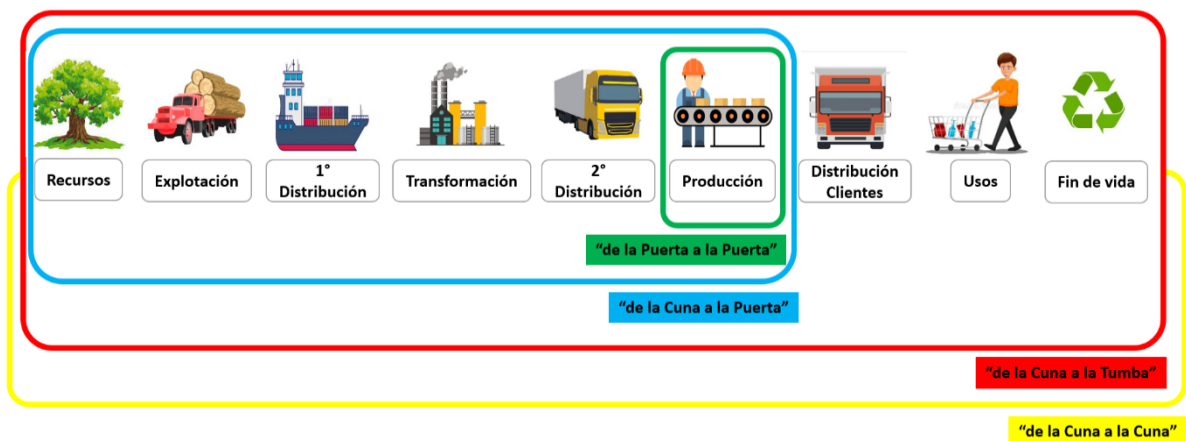


Figura 9. Planteamiento de los límites utilizados en el ACV. Ihobe S.A., 2009.

La manera y forma en la que se recopilan estas entradas/salidas se conoce como inventario de ciclo de vida (ICV), y es la fase del análisis de ciclo de vida que implica la recopilación y la cuantificación de entradas/salidas de un sistema durante su ciclo de vida.

La suma total de entradas y salidas sienta las bases para un posterior análisis y evaluación de los efectos medioambientales relacionados con el producto. Esta agregación de recursos y emisiones hacia daños al ambiente y al ser humano es lo que denomina evaluación del impacto de ciclo de vida (EICV). Por último, se procede a la interpretación de los resultados obtenidos del proceso que permitan implementar las mejoras ambientales del proceso en estudio.

2.6.1 Evolución histórica del Análisis de ciclo de vida y la creación de las normas ISO

La evolución histórica del ACV, puede dividirse en tres etapas diferenciadas: una primera etapa inicial, una segunda etapa de desarrollo, aplicación y normalización y la etapa actual, etapa de consolidación encaminada a la aplicación del ciclo de vida en la toma de decisiones estratégicas y operativas de los procesos (García Martínez, 2019).

En la primera etapa, comprendida entre los años sesenta hasta los finales de los ochenta, los primeros estudios se centraban en el cálculo del consumo energético necesario para la producción de sustancias químicas intermedias y finales. Posteriormente, como consecuencia de las predicciones de aumento de la población (lo que hizo prever un incremento de la demanda de recursos materiales y energético (Romero Días, 2007) y, sobre todo, a partir de la crisis del petróleo de los años setenta, se llevaron a cabo gran número de estudios más detallados encaminados, sobre todo, a la gestión óptima de los recursos energéticos. En la realización de estos estudios se tenían en cuenta los balances de materia de procesos y por tanto era necesario incluir en ellos el consumo de materias primas y la generación de residuos.

En los ochenta la aparición y consolidación de una conciencia ambiental en la sociedad unida a las primeras mejoras metodológicas aportadas por el programa de inventarios de descargas de tóxicos aplicadas en EE.UU (Rieradevall y Pere, 1995) o el desarrollo de metodologías y criterios del ACV (Klöpfer, 2006) elaborados por la fundación SETAC, hicieron que los principales agentes sociales promotores del desarrollo como los industriales y la administración centraran su énfasis en el desarrollo de ACV. Los industriales lo hicieron con la intención de incrementar sus ventas definiendo su producto como más respetuoso con el ambiente y la administración con el interés de desarrollar normativas o criterios de clasificación de los productos en función de su carga ambiental. El desarrollo, aplicación y normalización del ACV tiene lugar en la segunda etapa. Los principales hitos que caracterizan y condicionan la evolución del ACV fueron el desarrollo de una proyección internacional del ACV y el desarrollo de diferentes estudios de sectores industriales o productos concretos. Luego estuvo la necesidad de potenciar y normalizar el uso de la ACV, así en 1992 se creó la SPOLD (Society for the Promotion of LCA Development) que establece como prioridad el aumentar la disponibilidad de

inventarios del ciclo de vida y en 1993 la SETAC define por primera vez la metodología (Consoli, 1993).

Persiguiendo este objetivo en 1993, se creó en ISO el Comité Técnico (ISO/TC 207), con el objetivo de desarrollar normativas internacionales para la gestión medioambiental. Para lo cual se desarrolló la normalización referente al ACV con la creación de la familia de normas ISO 14.040:

- UNE-EN ISO 14040. (1997). Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y Estructura: Especifica el marco general, principios y necesidades básicas para realizar un estudio de ACV, no describiéndose la técnica del ACV en detalles.
- UNE-EN ISO 14041. (1998). Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Definición de Objetivos y Alcance y análisis de inventario: en esta normativa se especifican las necesidades y procedimientos para elaborar la definición de los objetivos y alcance del estudio y para realizar, interpretar y elaborar el informe del análisis del inventario del ciclo de vida, ICV.
- UNE-EN ISO 14042. (2000). Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Evaluación de impacto de ciclo de vida: en ella se describe y se establece una guía de la estructura general de la fase de análisis del impacto, AICV. Se especifican los requerimientos para llevar a cabo un AICV y se relaciona con otras fases del ACV.
- UNE-EN ISO 14043. (2000). Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Interpretación de ciclo de vida: esta normativa proporciona las recomendaciones para realizar la fase de interpretación de un ACV o los estudios de un ICV, en ella no se especifican metodologías determinadas para llevar a cabo esta fase.

En el año 2006, las normas enumeradas fueron anuladas y sustituidas por las siguientes:

- UNE-EN ISO 14040. (2006) Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia.
- UNE-EN ISO 14044. (2006). Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices.

La tercera etapa surge a mediados de los noventa. En esta época es tal el auge de los trabajos de ACV que numerosas revistas como “Environmental Science y Technology”, “Chemosphere” y “AICHE Journal” incorporan en sus ámbitos de estudio este tipo de temática. Así, en 1996, se publica por primera vez una revista científica dedicada exclusivamente a trabajos sobre la metodología y aplicaciones del ACV: “International Journal of Life Cycle Assessment” (García Martínez, 2019).

En esta época se alcanza una masa crítica que permite la puesta en marcha de congresos científico-técnicos específicos en esta materia. En el año 2001 tienen lugar la “1ª Conferencia Internacional sobre Gestión del Ciclo de Vida” (LCM2001) en Copenhague. En Septiembre de 2019, se celebró en Polonia la “9ª Conferencia Internacional sobre Gestión del Ciclo de Vida” (LCM2019). En ella se debatió sobre la importancia de difundir la gestión como herramienta para la creación de valor en los procesos y cadenas productivas, desde una perspectiva de desarrollo sostenible centradas en diferentes temáticas específicas tales como las políticas públicas, energía, desarrollo de las pequeñas y medianas empresas, transporte y la producción de alimentos, objeto de este trabajo (CIEMAT, 2019).

2.6.2 Etapas de desarrollo de un Análisis de ciclo de vida

De acuerdo con las normas estandarizadas ISO, un ACV debe llevarse a cabo siguiendo cuatro fases iterativas, en la figura 10, se muestra la estructura metodológica.

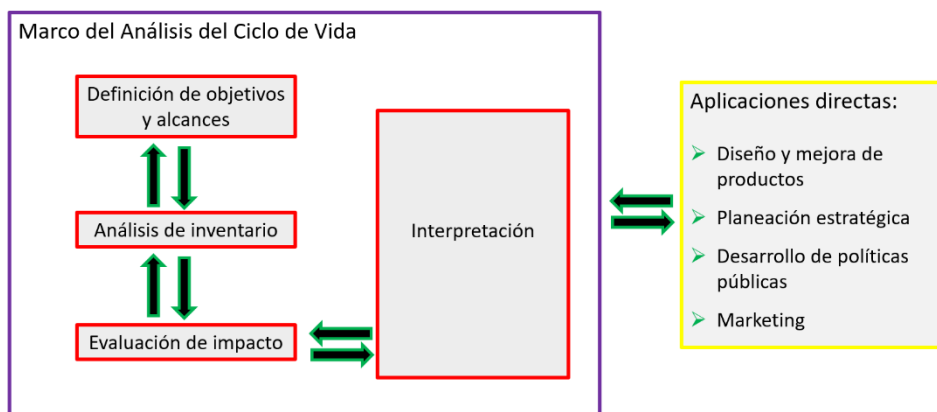


Figura 10. Estructura metodológica del ACV. ISO 14040; 2006.

2.6.2.1 Fase de definición del objeto y alcance

La primera etapa para desarrollar un ACV es la declaración del objetivo y alcance del estudio. Las normas ISO requieren una especificación detallada del objetivo y las razones que fundamentan el estudio, así como la aplicación prevista del mismo, ya que el análisis se determinará en base a ello. Este es un paso clave y las normas ISO exigen que la meta y el alcance de un ACV estén claramente definidos y sean consistentes con la aplicación

pretendida. Dado que el desarrollo y el alcance del estudio se orientarán hacia el objetivo, la norma exige una definición precisa del mismo que garantice una coherencia en el método y los resultados. De igual modo, en la definición del mismo se valorará la necesidad de dotar al estudio de mayor o menor profundidad, repercutiendo directamente en complejidad de análisis.

En esta primera etapa se determinan los procesos de los materiales, o productos implicados, así como los sistemas y subsistemas considerados en la valoración. Básicamente, esta etapa de la metodología sirve para estructurar la totalidad del estudio y como referencia para la interpretación de resultados y las conclusiones. El alcance del estudio debe considerar diferentes aspectos:

- **Función del sistema:** Se deben describir las funciones que definen el sistema en estudio. Esto es importante en aquellos casos donde el producto puede cumplir varias funciones. Si el ACV se realiza para comparar ambientalmente varios sistemas, se debe garantizar que cumplan la misma función (Baumann y Tillman, 2004).
- **Unidad funcional:** Es la medida de la función del sistema estudiado y da una referencia de cuáles son las entradas y salidas relacionadas. Esto permite la comparación de dos sistemas diferentes, se define lo que se está estudiando precisamente y cuantifica el servicio prestado por el sistema del producto, proporcionando una referencia a la que pueden relacionarse las entradas y salidas.

Además, la unidad funcional es una base importante que permite comparar y analizar bienes o servicios alternativos (ISO 14040; 2006).

- **Límites del sistema:** Son delimitaciones de los procesos que deben incluirse en el análisis de un sistema de productos. Es necesario identificar el conjunto de procesos unitarios o subsistemas que permiten realizar el producto en estudio. Esto incluye, la incorporación o la adquisición de los recursos primarios, todos los procesos de fabricación y transporte de los componentes del producto y sus materias primas, además de todas las fases del ciclo de vida del producto terminado. Es necesario decidir que procesos del sistema se van a incluir en el estudio, así como los criterios que se utilizan para tal decisión y su compatibilidad con los objetivos del ACV. Por ejemplo, se puede excluir del análisis los componentes que se encuentren bajo un porcentaje límite (menor de 1% del peso del producto). Es importante establecer los límites geográficos y temporales de las actividades a incluir en el ACV, ya que pueden ser afectadas por condiciones locales (Baumann y Tillman, 2004).

2.6.2.2 *Fase de análisis de inventario del ciclo de vida*

El ICV es un balance de materia y energía del sistema, aunque puede incluir otros parámetros, tales como: utilización del suelo, radiaciones, ruido, vibraciones, biodiversidad afectada, entre otros. (Baumann y Tillman, 2004). Básicamente comprende la recopilación de los datos y la realización de los cálculos adecuados para cuantificar las entradas y salidas del sistema estudiado:

- Entradas: Son las materias primas y las fuentes de energía
- Salidas: Son las emisiones al aire, al agua y al suelo

Parte de los flujos materiales y energéticos proceden de la naturaleza o se destinan a ella, mientras que otros flujos provienen medios artificiales que soportan el desarrollo de la sociedad humana y que evoluciona hacia una analogía de la biosfera con la que interactúa. Los seres humanos actúan sobre el ambiente para satisfacer distintos tipos de necesidades y crear o fabricar paisajes agrarios, industriales, viales, urbanos.

El inventario es un proceso iterativo, la existencia de nuevos datos y el mayor conocimiento obtenido durante el desarrollo del trabajo permiten redefinir con mayor precisión las fases del ciclo o los flujos materiales y energéticos. Los datos deben estar relacionados con la unidad funcional definida en la definición de meta y alcance. Los datos pueden ser presentados en tablas y algunas interpretaciones surgir en esta etapa. El procedimiento recomendado para realizar el análisis de inventario incluye las siguientes etapas:

- Construcción del diagrama de flujo
- Establecer la calidad de los datos
- Definir los límites del sistema
- Recolección de los datos y cálculos de balances

2.6.2.3 *Fase de evaluación del impacto del ciclo de vida*

La evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV) tiene como propósito evaluar lo significativo que son los impactos ambientales utilizando los resultados del inventario. Este proceso implica la asociación de los datos de inventario con las categorías de impactos ambientales específicos, aunque tratándose solamente los asuntos ambientales especificados en el objetivo y en el alcance.

La estructura de esta fase viene determinada por la normativa (ISO 14040; 2006), distinguiendo entre elementos obligatorios y elementos opcionales. Esta fase consta de una serie de subetapas:

- Selección. Seleccionar las categorías de impacto, indicadores de categorías y modelos de caracterización.
- Clasificación. Supone la agrupación de los datos de inventario según su potencial de impacto en las distintas categorías previamente seleccionadas.
- Caracterización. Implica la aplicación de modelos para obtener un indicador ambiental en cada categoría de impacto, unificando la única unidad de referencia todas las sustancias clasificadas dentro de cada categoría mediante el empleo de factores de peso o equivalencia.
- Normalización. Consiste en la evaluación de la significación del perfil ambiental generado mediante la “adimensionalización” de las categorías (relativizando los valores en cada categoría respecto a una cantidad de referencia, por ejemplo, el valor de aquella categoría en cuestión para el conjunto de la actividad mundial, o del país, o de la región donde se realiza el estudio) y la comparación entre las mismas.
- Valoración. Permite determinar, cualitativa y cuantitativamente, la importancia relativa de las distintas categorías de impacto con la finalidad de obtener un resultado único o índice ambiental. La valoración o ponderación entre categorías es un paso difícil y controvertido debido a la subjetividad envuelta en el proceso (juicios de valor, razones políticas) y por ello pocas veces se realiza.

La selección de categorías ambientales, la clasificación y la caracterización son etapas obligatorias, mientras que la normalización y la valoración son etapas opcionales (ISO 14040, 2006).

2.6.2.4 Fase de interpretación

La última fase del ACV recopila los resultados obtenidos en las fases anteriores con el objetivo de emitir una conclusión, principalmente deberá proporcionar resultados coherentes con el objetivo y alcance definidos. El resultado de la fase de interpretación es un conjunto de conclusiones y recomendaciones para el estudio.

En esta fase se pueden incluir factores adicionales que ayuden en la toma de decisiones y que contemplen factores sociales o económicos. Del mismo modo los resultados deberán garantizar la fiabilidad del estudio teniendo en cuenta las limitaciones del sistema

definidas anteriormente, así como las incertidumbres derivadas de los cálculos. Un propósito clave de interpretar el ciclo de vida es determinar el nivel de confianza en los resultados finales y comunicarlos de una manera completa y precisa.

Esta técnica sistemática para identificar, cuantificar, verificar y evaluar la información a partir de los resultados del ICV, permite determinar en qué fase del ciclo de vida del producto se generan las principales cargas ambientales y por lo tanto que puntos del sistema evaluado pueden o deben mejorarse.

3.1 Área de estudio

El estudio se realizó en una empresa ubicada en la ciudad de General Roca, provincia de Río Negro, Argentina. Esta ciudad se encuentra en el Alto Valle del río Negro, una microrregión donde se produce una agricultura intensiva bajo riego de frutales, ubicada al norte de la Patagonia extra-andina, a la vera del río Negro y de los dos ríos que, al confluír, lo forman: los ríos Limay y Neuquén (Figura 11). Esta área, de aproximadamente 2 900 km² abarca parte de ambas provincias (67° 19' y 68° 06' longitud oeste, y 45', y 39° 07 latitud sur.) como los Departamentos de General Roca en la Provincia de Río Negro y Confluencia en la Provincia de Neuquén.

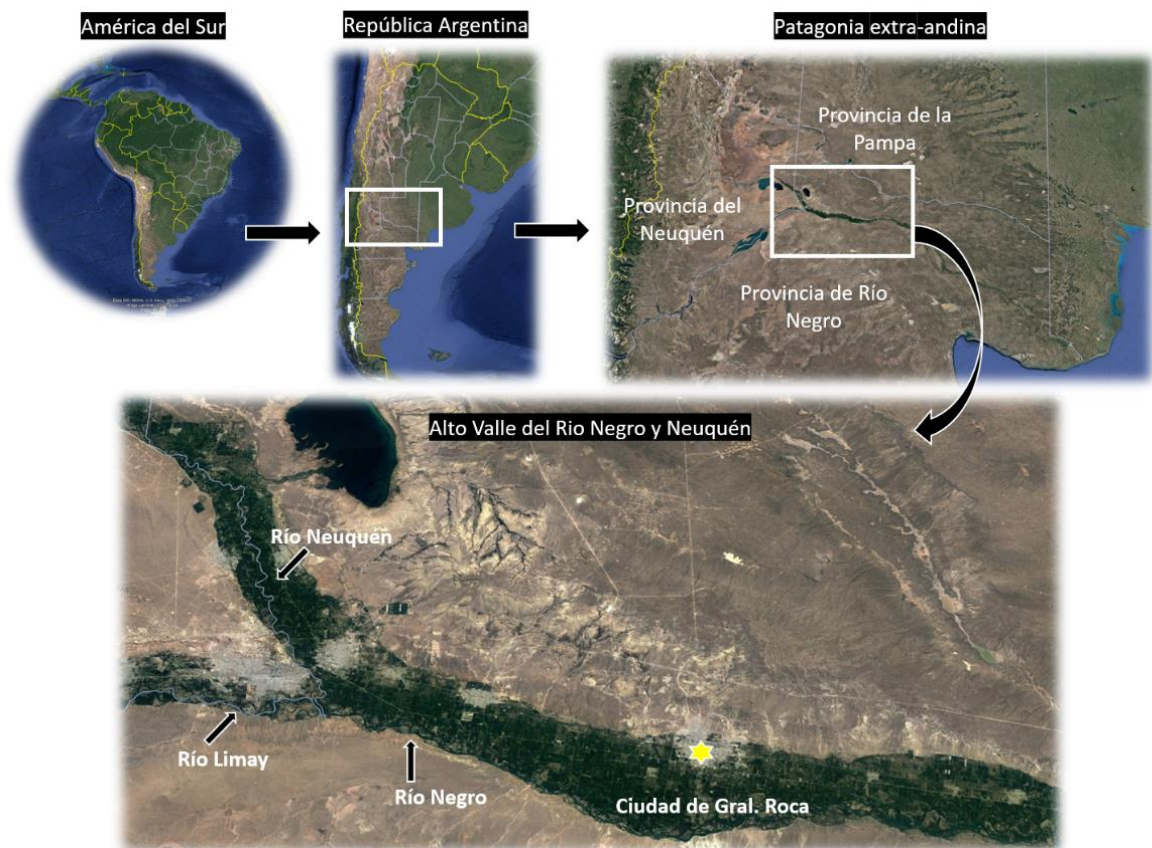


Figura 11. Imágenes satelitales mostrando la localización de la región del Alto Valle del río Negro donde se realizó el estudio. Google Earth, 2023.

Se trata de un valle de formación sedimentaria donde el clima es continental, templado y árido, con una precipitación media anual de 188 mm y heladas primaverales. Las precipitaciones son de origen convectivo, caracterizándose por su gran intensidad, corta duración y escasa cobertura areal. Los vientos predominan del cuadrante oeste y sudoeste, con mayor frecuencia en primavera-verano. Los suelos son típicos de desierto; se caracterizan por su baja meteorización de origen coluvional, de texturas no muy pesadas, entre arenosos y franco limosos, escasos en materia orgánica (<1%), con velocidad de infiltración media a alta y con un perfil profundo, sin gran desarrollo edáfico. El relieve es mesetiforme, con superficies topográficas escalonadas. La vegetación natural predominante son estepas arbustivas xerófilas, sammófilas o halófitas. Solamente en las márgenes de los ríos se encuentran especies hidrófilas (Marizza *et al.*, 2010).

3.2 Alcance: Unidad funcional y límites del sistema

En este estudio, la HC se determinó a través de la norma PAS 2050 ya que es la metodología más utilizada en el mundo para el cálculo de la HC de productos (PAS, 2008 a y b; Sinden, 2009).

En primera instancia se realizó un diagnóstico que permitió obtener información actualizada sobre la organización de la empresa, el proceso de producción e instalación, así como también las máquinas, equipos y vehículos usados durante el año 2019. El diagnóstico se basó en entrevistas al personal de la empresa (Ing. Agr. Responsable de calidad y Jefe de planta, Gerencia, Administrativos, Operadores, entre otros), se determinó el flujograma de los procesos y se analizó la eficiencia de consumos de electricidad y del consumo individual de las máquinas y equipos.

Los parámetros que limitan el alcance del estudio, según las especificaciones de la normativa son, la unidad funcional (UF) y el sistema estudiado y sus límites. A continuación, se desarrolla el proceso de definición de estos epígrafes.

3.2.1 Sistemas estudiados y sus límites

Los límites del sistema bajo estudio se establecen según el enfoque Puerta a puerta (Ihobe S.A., 2009). Estos límites determinan qué procesos unitarios deben incluirse dentro de ACV a relevar, qué cargas ambientales deben estudiarse y a qué nivel detalle.

El alcance o límite temporal del análisis utilizado en este estudio fue la temporada 2018-2019.

Los límites del sistema abarcan la salida de las peras del monte frutal (“la chacra”), la llegada a la empacadora (“planta de empaque”) y el transporte a los mayoristas (Figura 12). En consecuencia, las partes interesadas son todos los actores de la cadena poscosecha.

Este sistema investigado incluye todas las etapas del proceso: transporte local, acondicionado, clasificación, empaque, pre-frío y conservación de peras frescas. Asimismo, se considera el transporte de productos terminados a nivel nacional e internacional (Figura 13).

El almacenamiento adicional, el transporte y el desperdicio de fruta que podrían ocurrir después de que las peras hayan llegado a los mayoristas se excluyen de la evaluación (Longo *et al.*, 2017).

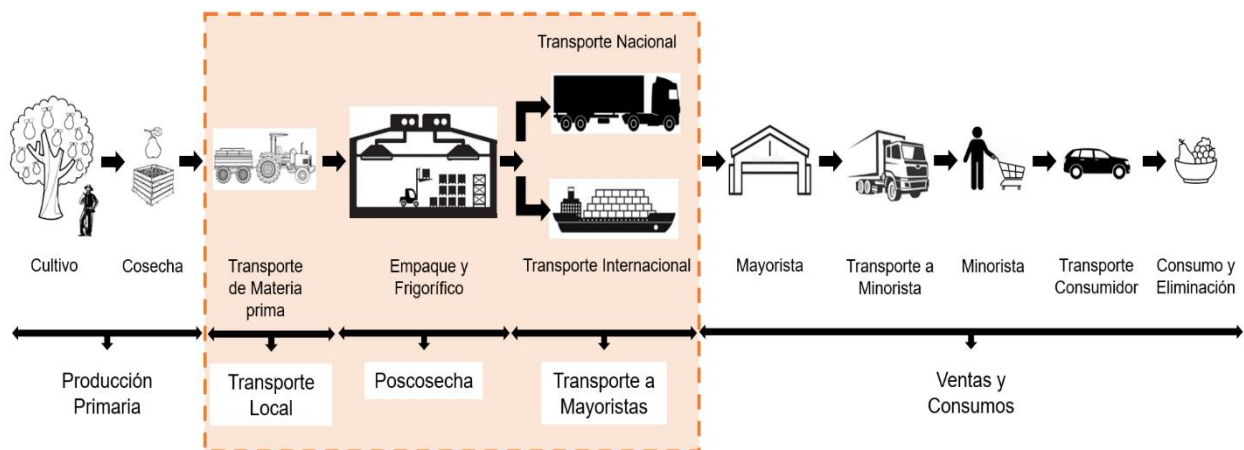


Figura 12. Diagrama de todo el proceso para el suministro de peras orgánicas desde la producción hasta el consumidor. El marco de las líneas de puntos muestra los límites del sistema de este estudio abarcando el transporte de la materia prima, la poscosecha (empaque y frigorífico) y el transporte de comercialización hasta mayoristas.

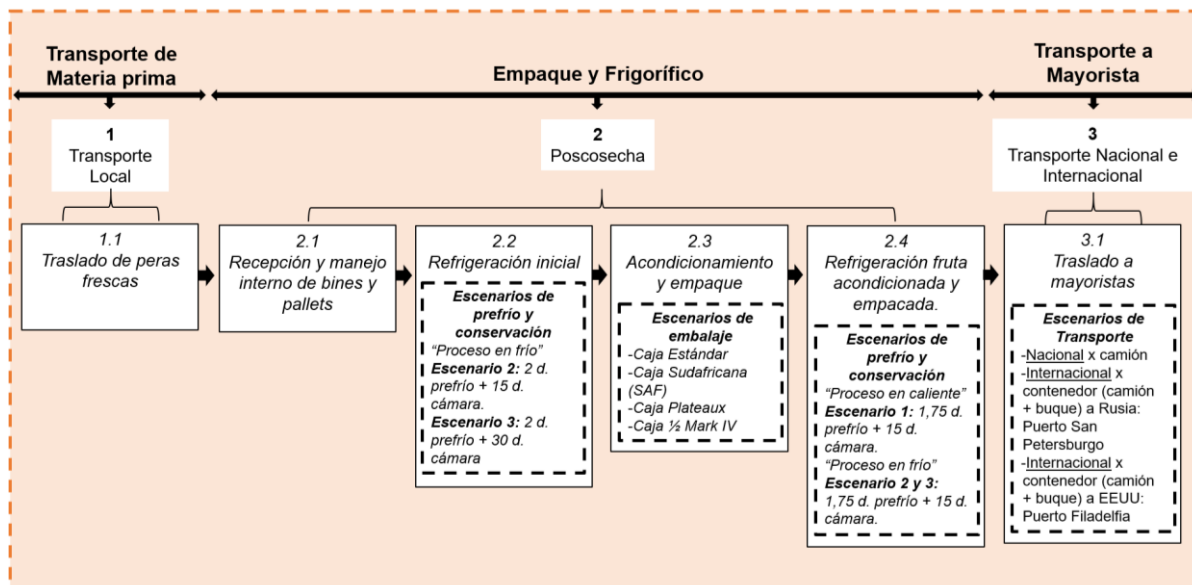


Figura 13. Límites del sistema del ciclo de producción de peras orgánicas analizado en este estudio abarcando el transporte de la materia prima, la poscosecha y el transporte de comercialización hasta mayoristas. La parte inferior muestra un esquema detallado del proceso poscosecha modelado para el empaque y frigorífico como también los distintos escenarios planteados.

3.2.2 Unidad funcional

El ACV, requiere de una base objetiva para la comparación: la UF. Que es la principal función del sistema a analizar (PAS 2050). En poscosecha, la principal función es acondicionar, conservar y transportar la fruta para su comercialización manteniendo la calidad e inocuidad. Por lo tanto, se tomará como UF 1 kg de peras frescas lista para ser consumida, según lo establecido por el Decreto Ley N° 9244/63 y su Resolución de Actualización N° 554/83 de la Argentina, para consumo en fresco.

La elección de esta UF permite una evaluación cuantitativa y cualitativa de los procesos de suministro de peras en la etapa posterior a la cosecha. Una UF basada en masa es apropiada cuando el estudio se refiere a un solo producto o cuando se comparan diferentes opciones de manejo para el mismo producto (Cerutti *et al.*, 2015). La UF basada en masa se utiliza ampliamente en los estudios de ACV en el sector de la fruta; por lo tanto, los resultados obtenidos con esta investigación se podrán comparar con otros estudios.

3.3 Descripción y modelado del sistema

El sistema poscosecha modelado en este estudio emuló los procedimientos empleados en una empresa dedicada a la producción, empaque y exportación de frutas fresca. Con el fin de proteger su confidencialidad, aquí solo se proporciona información limitada de la compañía que participó en esta investigación debido a que la HC puede ser comercialmente sensible.

La empresa nace en el año 1966 y con el paso del tiempo ha buscado la diferenciación de su producto, manteniendo altos estándares de calidad y un sistema de producción amigable con el ambiente y la sociedad. En lineamiento a ello, desde el año 1998 la empresa realiza "Producción orgánica certificada", y desde el 2009 "Producción biodinámica²¹ certificada".

Para la empresa es fundamental el bienestar y la satisfacción de sus consumidores, por lo tanto su principal objetivo es producir productos inocuos y de calidad. Para ello certifica con Global Gap, la planta de empaque y los establecimientos productivos (chacras) y con la normativa BRC, la planta de empaque. En la actualidad implementa y certifica normativas de responsabilidad social y de comercio justo: sumando la adenda GRASP a Global Gap a partir del año 2016, y Fair For Life desde el 2012 al 2019, reemplazada con Fair Trade USA a partir del año 2020 (información suministrada por la Ing Agr responsable de calidad).

En el año 2019 la empresa procesó en la planta de empaque 5.527 tn de peras orgánicas de establecimientos productivos propios, cuyo valor representó el 74% del total de fruta que se procesó ese año. Los principales cultivares fueron Packham's Triumph con un 34%, Williams Bon Chrétien o Bartlett y Beurré D'Anjou con un 23% cada una respectivamente. En la tabla 1 puede verse en detalle de los ingresos.

A continuación, se realiza una descripción detallada del proceso poscosecha estudiado para el acondicionamiento y comercialización de peras "orgánicas" frescas a partir de información primaria, reportada por la empresa y de información secundaria obtenida a través de una rigurosa revisión bibliográfica y de bases de datos disponibles y relacionados con los procesos involucrados en el sistema a estudiar.

²¹ La Agricultura Biodinámica es un enfoque holístico de la agricultura en la cual la vitalidad es la prioridad. Su origen se encuentra en el ciclo de conferencias impartidas por Rudolf Steiner en 1924, quien posteriormente publicó el libro "Curso sobre Agricultura Biológica Dinámica" (Steiner, 1988). Los agricultores biodinámicos devuelven más a la tierra de lo que le quitan cuando cultivan y crían animales. La finca se considera como un organismo en el que las plantas, los animales y los seres humanos están conjuntamente integrados. La diferencia más significativa es que en la agricultura biodinámica se trabaja con las energías vitales en la naturaleza y no solamente con las necesidades materiales. Un aspecto de esto es la consideración de los ritmos cósmicos en la producción vegetal y la cría animal.

1. Traslado de la materia prima: peras frescas. Transporte local

El sistema estudiado comienza con el transporte de las peras en bins desde la chacra hasta la planta de empaque el mismo día de la recolección de los frutos. La fruta es transportada en camiones comunes sin refrigeración que trasladan los bins hasta el establecimiento, donde puede ser procesada inmediatamente o almacenada en cámaras frigoríficas para su procesamiento posterior.

Tabla 1. Ingresos de peras orgánicas por cultivar a la empresa empacadora durante el año 2019.

Cultivar	Fecha de autorización de cosecha ²² "Sello"	Ingreso (kg)
Abate Fetel	3/2/2019	529.155
Beurré D' Anjou	23/1/2019	1.254.308
Beurré Bosc	10/2/2019	151.688
Golden Russet Bosc	10/2/2019	120.571
Packham's Triumph	3/2/2019	1.866.998
Red Bartlett	15/1/2019	269.472
Red Clapp	26/12/2018	43.470
Williams/Bartlett	10/1/2019	1.291.582
Total general		5.527.244

Según datos reportados por la empresa, en el año 2019 se realizaron 566 viajes en camión desde las chacras hasta la planta de empaque para realizar el traslado de las diferentes variedades de peras desde los meses de Enero a Marzo. En promedio, en cada viaje se trasladaron 25 bins contenedores de aproximadamente 390 kg cada uno (Tabla 2).

Para el transporte de la fruta se supuso que el vehículo utilizado fue un camión pequeño rígido (>7,5-17 tn) y la distancia promedio del recorrido fue de 27 km.

Las chacras de la empresa están situadas a distintas distancias. En la tabla 3 está especificado la distancia media y número de viajes realizados para el transporte de peras frescas hasta la planta de empaque.

2. Etapas en el establecimiento empaque/frigorífico de la empresa

2.1. Recepción y manejo interno de bins y palés

²² La cosecha de pera comienza a principios de enero y finaliza a mediados de marzo. El calendario tentativo de cosecha, es definido por el Senasa -Res. SAG N° 554/83 y Res. ex IASCAV N° 203/93- en función del estado de madurez óptima de la fruta y difiere según la variedad.

Se considera el manejo y el movimiento de bins desde la zona de descarga de los camiones hasta el frigorífico, abarcando la pre-refrigeración, mantención de la refrigeración inicial en cámara y el traslado de bins hacia la zona de alimentación de la línea de empaque. Además, incluye todos los movimientos que ocurren en las sucesivas etapas del acondicionamiento, envasado y conservación frigorífica de los palés como unidad de carga.

Son 5 los equipos autoelevadores utilizados para el traslado de bins y palés. 4 marca Toyota modelo 8FG25B que son alquilados y 1 propio de la empresa marca Doosan modelo F25. Son montacargas con motor de explosión que utilizan gas licuado de petróleo (GLP) como combustible. Su capacidad de carga es de 2,5 tn y poseen una autonomía de 10 h/marcha, dato otorgado por los Ing Agr. de la empresa.

Para este estudio se ha considerado 4 movimientos de bins por minuto y 2 movimientos de palés por minuto.

Tabla 2. Ingreso de peras orgánicas fresca (materia prima) a la planta de empaque/frigorífico para el año 2019.

Concepto	Cantidades
Fruta ingresada (Kg)	5.527.244
Peso medio de un bins de pera (Kg)	390
Bins totales ingresados (n)	14.172
Viajes de camiones (n)	566
Bins promedio por viaje (n)	25
Fruta transportada por viaje (Kg)	9.765
Distancia media recorrida por viaje (Km)	27

Tabla 3. Distancia media de las chacras y número de viajes realizados en el año 2019 para el transporte de peras orgánicas frescas.

	Recorrido (km)	Viajes (%)	n de viajes	Recorrido total (Km)	Total de Fruta ingresada (tn)
Chacras Cercanas	8	46	260	2.082,88	2.542,53
Chacras Intermedias	30	41	232	6.961,80	2.266,17
Chacras Lejanas	85	13	74	6.254,30	718,54

2.2. Frigorífico y sus Instalaciones. Refrigeración inicial de la materia prima.

Las instalaciones frigoríficas se utilizan para reducir y mantener las temperaturas en los frutos logrando una adecuada conservación que permita, desde el punto de vista

comercial, prolongar el periodo de distribución y consumo; favoreciendo los intercambios comerciales.

Una cámara frigorífica es un recinto cerrado (de volumen variable habitualmente entre 500 y 2000 m³), que se construye de forma que esté térmicamente aislada, y en cuyo interior se extrae el calor (o carga térmica) mediante una instalación frigorífica que generalmente es de compresión mecánica (Viñas *et al.*, 2013).

En estas instalaciones el refrigerante circula a través del sistema de refrigeración sufriendo cambios en su estado. El refrigerante parte de una condición inicial, pasa a través de unos procesos en una secuencia definida y vuelve a su condición inicial (Figura 14).

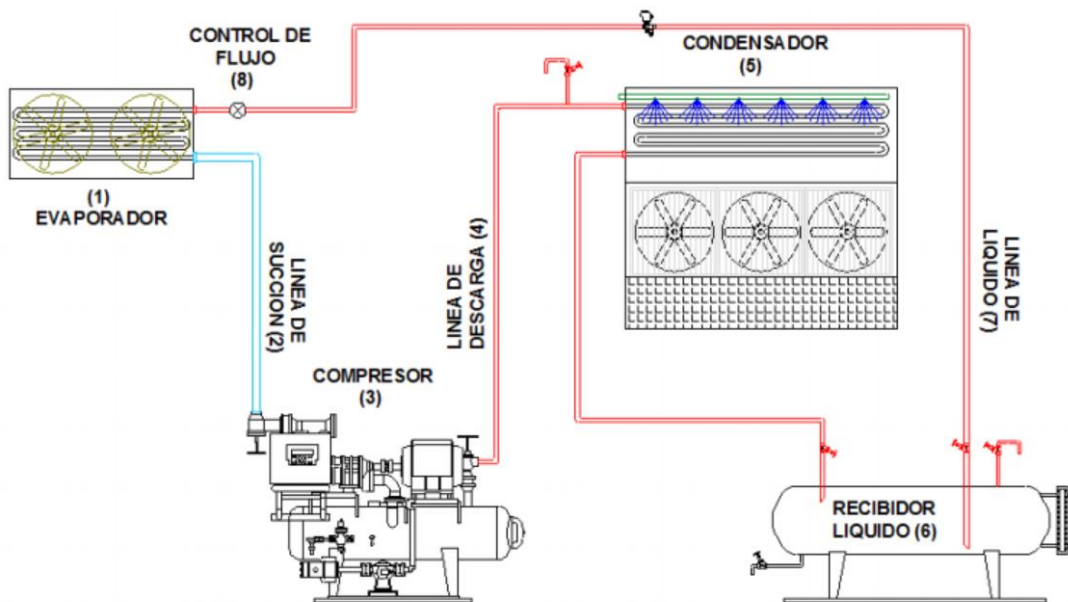


Figura 14. Ciclo ideal de refrigeración por compresión mecánica. Cajo Yumisaca F. y Yucta Montero J., 2012.

El ciclo de refrigeración simple consta de cuatro procesos fundamentales: (1) Expansión, (2) Evaporación, (3) Compresión y (4) Condensación.

El proceso de refrigeración considerado inicia con el líquido refrigerante almacenado a alta temperatura y alta presión en un tanque depósito, llamado Tanque de alta (6). Este fluye a través de un tubo o línea de líquido (7), atraviesa un control de flujo de refrigerante (8) donde su presión se va disminuyendo hasta alcanzar la presión del gas evaporado dentro del evaporador (1). Mientras el refrigerante líquido fluye a través del evaporador,

absorbe calor desde los alrededores y se va convirtiendo en gas sobre-calentado. Por la acción del compresor, el gas resultante de la evaporación fluye desde el evaporador, por el tubo de succión (2) hasta la entrada del compresor (3).

En el compresor, el refrigerante gaseoso es comprimido incrementándose su presión y temperatura, posteriormente fluye a través de la línea de descarga (4) hacia el condensador (5) donde cede calor hacia el aire impulsado por un ventilador o hacia el agua del condensador, la temperatura del refrigerante se reduce hasta alcanzar la temperatura de saturación transformándose en líquido y pasa hasta el tanque de almacenamiento (6) quedando listo para iniciar el ciclo.

Las instalaciones de refrigeración industrial en la empresa se realizaron en el año 1966 y a partir de allí se ejecutaron sucesivas ampliaciones, modificaciones y mejoras hasta el año 2007. Es un sistema de refrigeración directo que utiliza amoníaco anhídrido como refrigerante (R-717), siendo este fluido frigorígeno el que se vaporiza en las serpentinas del evaporador que se encuentra ubicado en el interior de la cámara frigorífica, en contacto directo con el aire a enfriar. El sistema de conservación utilizado se conoce como frío convencional y se basa en la conservación a temperaturas en torno a los 0 °C, sin que intervengan otros factores reductores del metabolismo (Calvo *et al.*, 2012).

El evaporador es el equipo principal; de sus características y buena regulación dependen las variaciones (en el espacio y en el tiempo) de los parámetros de conservación (temperatura, humedad relativa, velocidad del aire, etc.), los cuales son responsables de la correcta conservación de los frutos y de la pérdida de peso de los mismos (Viñas *et al.*, 2013). Las características de los evaporadores se describen en cada uno de los sistemas utilizados para las determinaciones.

La compresión mecánica ocurre por los compresores y la producción de frío se da porque el R-717 en estado vapor (que proviene del evaporador a baja presión y a baja temperatura) es comprimido hasta condiciones de alta presión y alta temperatura, para que este vapor pueda licuarse en el condensador. La empresa dispone de 5 compresores alternativos que generan una potencia frigorífica total de 842,13 kW. El compresor marca Mycom, modelo N6BM con una potencia frigorífica de 245,28 kW y un motor eléctrico marca Acec, modelo K280M42 de 150 HP se utilizó para modelar el sistema y estimar la carga térmica.

En el condensador tiene lugar la cesión de calor desde el refrigerante R-717 hacia un medio exterior frío, que puede ser aire o agua. En el circuito analizado se dispone de 4 condensadores de tipo casco y tubo donde el agua produce la transferencia térmica. Se

dispone de 4 bombas de agua de 20 HP, 15 HP y 2 de 7,5 HP respectivamente dando un consumo de 80 m³/h en los meses de gran demanda (desde Febrero a Abril) y de 60 m³/h en los meses de baja demanda (Enero, Marzo y Junio). El agua proviene de 2 perforaciones realizadas en el predio de la empresa y su consumo es a pérdida, es decir que el agua no es recirculada para ser nuevamente utilizada.

El circuito frigorífico total posee un caudal másico estimado de 2075 m³ y durante los meses de funcionamiento de las instalaciones se realizó una recarga de 1037 m³ correspondiente a 15 cilindros de 50 Kg cada uno con una densidad de 0,723 kg/m³.

A su vez, los compresores del sistema frigorífico utilizan aceite lubricante marca Shell Refrigeration Oil S2 FR A 68 en una relación de 26 l para los compresores de 6 cilindros y 33 l para los compresores de 8 cilindros. En el año 2019 se adquirieron en total 205 l de este aceite lubricante con una densidad de 862 kg/m³.

2.2.1. Pre-enfriamiento

El pre-enfriado tiene como objetivo eliminar el calor de campo de los frutos en el menor tiempo posible. Mediante este procedimiento se pretende reducir la temperatura inicial de la fruta hasta la temperatura de conservación (Calvo *et al.*, 2018). Luego esta fruta pasa a un periodo de estabilización en una cámara frigorífica y luego a la conservación definitiva de los frutos (Sánchez *et al.*, 2010); para el caso de peras frescas la temperatura de conservación es de -1°C en el corazón del fruto.

Existen dos fuentes de calor que afectan a los frutos:

- Calor de campo o sensible: es el que adquiere la fruta por el hecho de estar expuesta a las condiciones de campo: temperatura ambiente, exposición al sol, entre otras. Es la principal fuente de calor en el almacenamiento.
- Calor de respiración o vital: es la fracción de calor emitida por los frutos debido a su propia actividad metabólica (respiración).

El método utilizado por la empresa para realizar el pre-frío de fruta en bins es una cámara frigorífica sobredimensionada o túnel convencional con buena relación entre potencia frigorífica y superficie de piso. Para lograrlo, se coloca un número inferior de bins con respecto a la capacidad máxima y se distribuyen sobre toda la superficie de la cámara permitiendo sobredimensionar la superficie de intercambio o la cantidad de ventiladores con respecto a la fruta a enfriar.

El enfriamiento se da de forma pasiva ya que la cámara carece de circulación forzada de aire y el aire frío del evaporador no es obligado a entrar al interior de los bins o a circular entre frutos, por lo que el enfriamiento es lento (Sozzi, 2007).

Para este estudio, las determinaciones se realizaron en una cámara de 839 m³ cuyas dimensiones son 16,76 m de largo por 6,26 m de ancho y una altura de 8 m. Permitiendo ingresar 110 bins con un peso estimado en 390 kg cada uno, dando una capacidad de carga a pre-enfriar de 42.900 kg/día. La cámara dispone de 2 evaporadores con 3 ventiladores, cada uno con un motor de 1,5 HP de marca Refmar. La fruta ingresa con una temperatura de aproximadamente 25 °C y sale del túnel con una temperatura entre 0 y 2 °C, al cabo de 48 h de funcionamiento.

2.2.2. Conservación de bins

Después del proceso de pre-enfriado, la fruta en bins es trasladada a una cámara frigorífica para mantener la refrigeración y lograr la conservación de los frutos. Para la conservación de bins se realizaron los cálculos en una cámara de 2.181 m³ cuyas dimensiones son 14,55 m de largo por 14,83 m de ancho y una altura de 8 m. Permitiendo la guarda de 958 bins con un peso estimado en 390 kg cada uno, dando una capacidad de carga máxima de 373.620 kg.

La cámara dispone de 2 evaporadores con 2 ventiladores, cada uno con un motor de 4 HP marca Refmar y un sistema de descongelado por gas caliente. La fruta ingresa ya fría con una temperatura cercana a la temperatura óptima de conservación para peras (-0,7 °C).

El tiempo estimado de guarda para la fruta en bins en ese recinto varía entre 15 a 30 días.

2.3. Acondicionamiento y empaque

El acondicionamiento de los frutos en la planta de empaque, aunque está altamente tecnificado, tiene también, un fuerte componente de mano de obra especializada. Mediante una serie de módulos que realizan distintas tareas, las líneas de selección, tamañado y empaque tiene como objetivo adecuar la presentación de los frutos a los requerimientos del mercado en cuanto aspectos general externo y satisfacer a los consumidores por sus cualidades internas (García Ramos *et al.*, 2004).

En la empresa existen dos modalidades de trabajo para el acondicionamiento y empaque de las peras frescas. Una de ellas es el procesamiento “en caliente”, es decir, cuando la fruta se procesa directamente al llegar de la chacra. Por lo cual no tiene un enfriamiento previo, y luego de ser acondicionada se enfría en cajas paletizadas.

La otra modalidad es el procesamiento “en frío” donde la fruta que proveniente del campo se pre-enfría en bins y se procesa luego de un período de almacenamiento en cámara frigorífica.

Para el año 2019 el empaque procesó 3.174,163 tn de peras trabajadas en caliente (57,43% del total cosechado) y 1.973,565 tn de peras trabajadas luego del pre-frío y almacenamiento en cámaras frigoríficas (35,71% del total cosechado) (Tabla 4).

Tabla 4. Modalidad de trabajo en la línea de empaque de las peras orgánicas frescas realizado en el año 2019 por el establecimiento empacador.

Modalidad de línea de empaque	Cantidad de pera (kg)	Cantidad de bins	
		n	%
En caliente	3.174.163	8.139	57,43
En frío	1.973.565	5.060	35,71
Fruta sin procesar	379.516	973	6,87
Total	5.527.244	14.172	100

El proceso de empaque implica una secuencia de operaciones realizadas por máquinas y por personal entrenado para el acondicionamiento, clasificación y embalado (Calvo *et al.*, 2012). El diagrama de flujo del proceso se muestra en la figura 15 y en el procesamiento pueden identificarse las siguientes etapas:

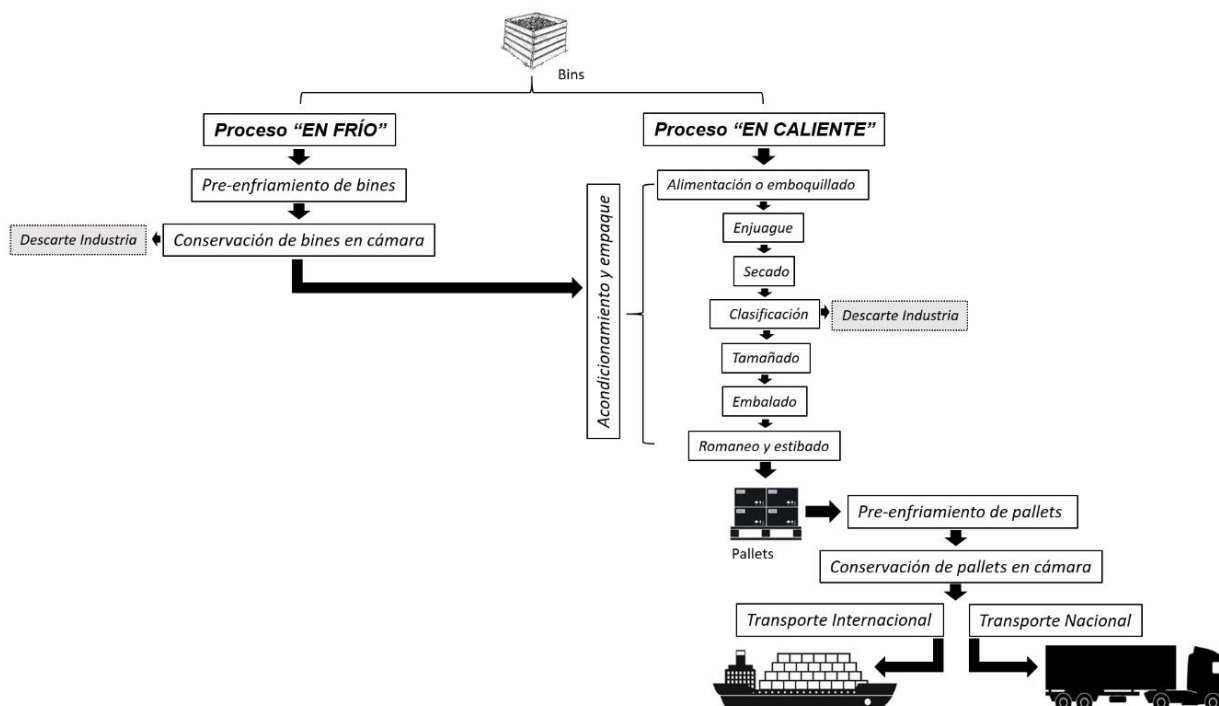


Figura 15. Diagrama de flujo del proceso de empaque de peras orgánicas frescas estudiado.

2.3.1. Alimentación o emboquillado

Es el inicio del proceso donde ocurre la descarga de la fruta contenida en bins mediante una máquina hidrovoltadora conocida como “Ecovaciador”. Allí los frutos son volcados en la batea dirigiéndose a la noria de elevación por una corriente de agua. Este sistema de hidroyersión es el que más se utiliza porque minimiza los daños mecánicos y permite trabajar con volúmenes de fruta elevados, aumentando el rendimiento global del resto del proceso (Benítez *et al.*, 2005).

El ecovaciador cuenta con apilador y desapilador de bins, los mismos son colocados de a tres y retirados de igual manera para luego estibarse en la playa esperando ser reenviados a las chacras.

En cuanto a la maquinaria de este sector se utilizan motoreductores de 4 y 1,5 HP y motoreductores autofrenantes de 8, 4 y 2 HP que conforman los rieles del apilador desapilador de bins y el ecovaciador. También se dispone de bombas para el impulso de la fruta de 6 HP y el desagote de la batea de 5,5 HP respectivamente. Por otro lado, hay motoreductores para el sacahojas y la noria de elevación de 0,5 y 2HP.

La batea del hidroyersor es de 18 m³ y se utiliza la red pública de agua potable, sin aplicación de productos de síntesis química como el hipoclorito de sodio por ser un

establecimiento orgánico, con una frecuencia de una renovación diaria por cada día de trabajo en la planta de empaque.

2.3.2. Enjuague

A la salida del emboquillado la fruta entra en el sector de cepillado y posterior enjuague con agua potable a pérdida (es decir que el agua se descarta sin ser reutilizada), para remover la suciedad que pueda traer la fruta desde la chacra. Al trabajar fruta orgánica no se realiza lavado con detergentes ni aplicaciones de productos fitosanitarios destinados al control y prevención de enfermedades patológicas (ej. Podredumbres) y fisiológicas (ej. Escaldadura superficial).

Se utilizan 3 motoreductores de 1,5 HP cada uno para el primer, segundo y tercer módulo correspondiente a la sección de lavado. Aquí se emplea 800 l/h de agua potable de la red pública para el enjuague de la fruta mediante un caño cribado.

A su vez, se utilizan 6 ventiladores con motor de 1 HP cada uno para eliminar el exceso de agua en la fruta mediante un presecado a temperatura ambiente.

2.3.3. Secado

Este proceso se lleva a cabo mediante aire forzado con ventiladores a temperatura ambiente para acelerar el secado de la fruta. Mediante el uso de un motoreductor de 2 HP se produce el movimiento de avance de la fruta dentro del túnel y por medio de 7 ventiladores de 1 HP cada uno se fuerza el aire para secar los frutos.

2.3.4. Clasificación

A la salida del túnel la fruta se divide en las mesas de clasificación. El objetivo de este procedimiento consiste en seleccionar la fruta para su comercialización en diferentes grados de calidad, de acuerdo con la reglamentación vigente²³ y según la estrategia comercial de la empresa. Esta selección, que se efectúa de manera manual mediante operarias capacitadas “clasificadoras”, se basa en aspectos de calidad externa de los frutos tales como el color, forma, presencia de manchas, heridas, lesiones, entre otras características. Las clasificadoras separan de acuerdo al tipo de defectos en los distintos grados de selección y descartan las unidades con evidencia de daño severo o estado de madurez inadecuado. Este descarte se coloca en bins y se destina a la industria.

²³ Decreto Ley N° 9244/63 para fruta fresca no cítrica y su Resolución de Actualización N° 554/83 de la Argentina.

Las unidades ya clasificadas continúan avanzando por medio de cintas transportadoras hasta llegar a las tamañadoras. La tabla 6 muestra los kilogramos y los porcentajes de la fruta clasificada y embalada y la fruta descartada según la modalidad de trabajo (en caliente o en frío).

El circuito para el descarte de fruta consta de varias cintas con motoredutores de 0,5 y 1 HP. Un canal de agua de 2,8 m³ que dispone de una bomba impulsora de fruta de 3,5 HP y un motoredutor de 0,5 HP para la noria llenadora de bins destinados a industria.

Por otro lado, desde la salida del túnel de secado hasta las distintas mesas de clasificación inclusive hay norias, cintas y transferencias con motoredutores que van desde los 0,33 hasta los 2 HP.

2.3.5. Clasificación por tamaño

La clasificación por tamaño y peso se realiza mediante 2 tamañadoras electrónicas para las diferentes calidades, preestablecidas en la orden de trabajo. Estas tamañadoras poseen cadenas transportadoras con platillos plásticos que contienen los frutos en forma individual, los pesa y determina la correspondiente salida a las mesas rotativas donde se embalarán.

De acuerdo con la demanda del cliente, se pueden colocar etiquetas adhesivas (ej. PLU, precio único de lista) en cada fruto al inicio de esta operación, mediante etiquetadoras neumáticas.

Una de las tamañadoras posee motoredutores que van de 3 a 1 HP para el pesaje y traslado de los platillos y dispone de 16 salidas a mesas rotativas, cada una de las cuales posee un motor independiente de 0,5 HP.

La segunda tamañadora posee motoredutores que van de 5,5 a 1,5 HP y sucesivas salidas a tambores con movimiento asociado a la tamañadora.

El empaque cuenta con 2 bancos de etiquetadoras neumáticas para colocar los PLU con turbina de succión y picado de papel de 1 HP cada motor.

2.3.6. Embalado

Finalmente, la fruta seleccionada según su grado de calidad y tamaño es embalada en los diferentes tipos de envases comerciales, que deben ser aprobados por el organismo competente y contener toda la información que define la legislación vigente.

El proceso de embalado en la empresa es manual por medio de operarios denominados “embaladores” que toman la fruta desde el tambor y la colocan dentro del envase

utilizando bandejas, cartón corrugado, papel o bolsas según la especie de pera, tipo de envase trabajado y demanda comercial.

Alrededor de cada tamañadora hay rieles aéreos con motoreductores para el traslado de los envases, uno de 1,5 HP y el otro de 2 HP. Muchos de los envases utilizados en el acondicionamiento son armados y pegados en el depósito de materiales del establecimiento. Para ello la empresa dispone de 3 máquinas pegadoras de caja con motor de 0,55 HP y resistencia de 1,876 HP con una capacidad de armado entre 1260 a 1200 cajas/h.

Una vez terminado el envase se le coloca dos obleas correspondientes al número de embalador y número de tambor y se dispone sobre una cadena transportadora (riel terrestre) hacia el sector de romaneo y estibado.

En este sector del proceso se realiza el control de calidad de bulto terminado, en donde según los parámetros de calidad y especificaciones se realizan correcciones de proceso de ser necesario.

Los principales métodos de envasado utilizados en la planta de empaque en el año 2019 se van a analizar en esta tesis por separado en la sección 3.6.2 Escenarios de embalaje y en la tabla 23 se proporciona una descripción de los diferentes escenarios analizados.

2.3.7. Romaneo y estibado

En esta última etapa de la línea de empaque se identifica el producto para mantener su trazabilidad. Casi al final del riel las selladoras, por medio de la colectora, leen las obleas del bulto terminado e imprimen la etiqueta correspondiente a la trazabilidad del mismo.

Los estibadores toman los bultos del riel a mano y los separan por tipo de envase y tamaño conformando los palés de exportación. Son 29 los rieles de las cadenas transportadores alrededor de las dos tamañadoras con motores que van desde 0,5 a 1 HP.

Una vez que los palés están completos se procede al romaneo, colocándose los tarjetones identificatorios. A continuación, los palés ingresan al túnel de pre-enfriado, y una vez alcanzada la temperatura de conservación se los ubica en las cámaras frigoríficas.

2.4. Frigorífico y sus Instalaciones. Refrigeración para la fruta ya acondicionada y empacada.

2.4.1. Pre-enfriamiento embalado (palés)

Una vez que la fruta esta embalada y dispuesta en palés debe ser enfriada hasta una temperatura cercana a la de conservación, eliminando así el calor absorbido durante el

proceso de acondicionamiento y empaque. La empresa utiliza para tal fin aire forzado mediante túnel móvil.

Este sistema obliga la circulación del aire frío a través del producto y los materiales de empaque (cajas, bolsas, bandeja, entre otros), al producir una diferencia de presión por medio de ventiladores que extraen el aire dentro de las cajas y palés. De esta forma, el aire frío generado en la cámara es forzado a circular a través del material y del producto, aumentando la tasa de transferencia de calor desde la superficie del fruto hacia el exterior mediante convección (Sánchez *et al.*, 2010).

La estiba de palés se ubica en dos hileras a cada lado de un canal abierto y se coloca una cobertura sobre el producto (lona), cubriendo el canal, y por medio de ventiladores se fuerza el paso del aire desde el canal a través de la fruta envasada. El aire caliente es enviado a las serpentinas del evaporador, se re-enfría y retorna a la cámara (Thompson *et al.*, 1998).

Para este estudio, las determinaciones se realizaron en una cámara de la empresa de 1790 m³ cuyas dimensiones son 23,55 m de largo por 9,50 m de ancho y una altura de 8 m. Permitiendo ingresar 18 palés con un peso estimado en 1210 kg cada uno, dando una capacidad de carga a pre-enfriar de 21.780 kg/día. La cámara dispone de 2 evaporadores con 2 ventiladores, cuyo motor es de 4 HP cada uno. La fruta ingresa con una temperatura de aproximadamente 18,5 °C y sale del túnel con una temperatura de -0,7 °C, al cabo de 42 h de funcionamiento.

La cámara dispone de 4 forzadores de aire para 4 turbo túneles y cada uno de ellos posee un motor de 2 HP.

2.4.2. Conservación de palés

Cuando la fruta ya embalada tiene una temperatura cercana a la de conservación, todos los palés son trasladados a una cámara frigorífica y permanecen allí hasta el momento de su despacho.

Para la conservación de palés se realizaron los cálculos en una cámara de la empresa de 1.718 m³ cuyas dimensiones son 14,55 m de largo por 14,76 m de ancho y una altura de 8 m. Permitiendo la guarda de 234 palés con un peso estimado en 1210 kg cada uno, dando una capacidad de carga máxima de 234.140 kg.

La cámara dispone de 2 evaporadores con 2 ventiladores, cada uno con un motor de 4 HP marca Refmar y un sistema de descongelado por gas caliente. La fruta ingresa ya fría con una temperatura cercana a la temperatura óptima de conservación para peras (-0,7 °C).

3. Transporte

La siguiente etapa está relacionada al transporte a los puntos de venta mayoristas que realizó la empresa en el año 2019. En la tabla 5 puede visualizarse que la empresa es netamente exportadora de peras ya que el 90% de su producción se destinó a mercados como Estados Unidos y Rusia.

Tabla 5. Distribución y destino de las peras orgánicas acondicionadas y embaladas en el año 2019.

Destino	Cantidad de palés	
	n	%
Estados Unidos	1.902	63,59
Rusia	782	26,15
Mercado Interno	307	10,26

Los escenarios de transporte investigados se describen en detalle en la sección 3.6.3 Escenarios de transporte y tabla 10. Estos escenarios modelados corresponden a las opciones de transporte más frecuentes que utiliza la empresa para que su fruta llegue a sus compradores mayoristas.

3.4 Recopilación de datos e Inventario del ciclo de vida

Este amplio sistema bajo estudio precisa de un proceso de recogida de datos muy detallado por ello se han seleccionado los procesos cuya contribución a los flujos de masa y energía se sabe que son importantes y cuyas emisiones son relevantes para el ambiente. Los aspectos a tener en cuenta en la realización de un ICV, son aquellos que relacionan los flujos de materiales y energía con la UF, la necesidad de asignación y los métodos de asignación disponibles, y la disponibilidad de los datos.

La metodología seguida en este análisis de ICV, usa la aproximación conceptual del análisis de sistemas, en el sentido en que traza una frontera alrededor del sistema analizado y cuantifica las entradas y salidas a través de esa frontera (Lechón *et al.*, 2011). No siempre es posible tener todos los datos necesarios para la elaboración del inventario, por lo que es inevitable, partir de una serie de suposiciones e hipótesis que permitan

completar dichos datos. A continuación, se detallan algunas de las principales hipótesis metodológicas que sustentan el desarrollo del inventario y facilitan su análisis.

Partiendo de esta base se incluyeron en la evaluación los insumos directos de energía y materiales utilizados en la empresa para el acondicionamiento y la conservación, es decir, solo se incluyeron los consumibles directos (como el consumo directo de electricidad, combustibles, agua, materiales e insumos para la operación de la maquinaria como aceite lubricante y amoníaco anhídrido). Las materias primas y la energía utilizada para la producción de maquinaria e infraestructura, la construcción, el mantenimiento y la eliminación de los edificios y las instalaciones de poscosecha se excluyen porque su contribución al balance global es muy pequeña, menor del 1% (Brovia Coronel, 2015). En este sentido y siguiendo la normativa PAS 2050, estos bienes de capital son excluidos ya que teniendo en cuenta el periodo de tiempo en el que estos bienes existen, las emisiones correspondientes a la UF se consideran despreciables. Es este sentido y bajo las normas PAS se excluye del análisis los insumos de energía humana en los procesos realizados en la etapa posterior a la cosecha de las peras orgánicas.

Se han incluido los materiales y la energía utilizados para ensamblar los diferentes envases de peras orgánicas y palés, mientras que se excluyeron los efectos derivados de su eliminación y su disposición final, porque están fuera de los límites del sistema. En este sentido también se excluye el transporte de los envases, embalajes y demás insumos utilizados en el establecimiento debido al difícil seguimiento de la cadena de distribución (Antón Vallejo, 2004).

Siguiendo los lineamientos de la PAS 2050, la mayor parte de los datos del inventario de materiales y el consumo de energía relacionados con todas las fases de la poscosecha de peras orgánicas se han obtenido de comunicaciones directas, encuestas, mediciones efectuadas en el sitio y entrevistas con los dueños, gerentes, Ing. Agr. Jefe de planta, Ing. Agr. Responsable de calidad y operadores de la empresa. Para las operaciones no controladas por la empresa se han usado datos medios representativos de la industria o datos reportados en bases de datos de reconocido prestigio internacional (AGO, 2007; DEFRA, 2013; IPCC, 2006 a y b; Ecoinvent, 2019) y que representan los escenarios de los procesos estudiados. También se han utilizado datos recogidos de publicaciones (datos secundarios) de investigaciones científicas (MTERD y OECC, 2020; Wernet *et al.*, 2016) de manera que de acuerdo con la normativa relacionada los datos recopilados cumplan con los criterios de calidad establecidos.

Se ha utilizado la base de dato de Ecoinvent disponible en la herramienta informática SimaPro™ (<http://www.pre.nl/simapro>) para los datos “background”, considerando los procesos más comunes como transportes y combustibles. Ecoinvent, es la base de datos líder en el mundo con inventarios de ciclo de vida consistentes y transparentes de más de 10.000 procesos (Ecoinvent, 2019).

Con respecto al transporte, en esta investigación se ha considerado el tipo de transporte utilizado, la capacidad de carga y distancia recorrida. También se ha considerado el gasto directo de la operación y mantenimiento de los medios de transporte como combustible, aceite lubricante, entre otros. Los datos relacionados con los procesos de transporte se obtuvieron de la base de dato de Ecoinven (Wernet *et al.*, 2016). Fueron descartados los viajes de retroceso en todas las opciones de transporte, ya que se asumió su utilización para transportar otra carga, de acuerdo con las prácticas de los proveedores de logística modernos.

Los datos sobre las fuentes de energía eléctrica que comprenden la mezcla de la red eléctrica argentina se obtuvieron de la Secretaria de Energía de la Nación (SE, 2021), relevantes para 2019. Unas de las fuentes de emisiones directas evidenciadas en el ciclo de vida del producto, o sea las peras frescas empacadas y comercializadas para su consumo, es el uso de electricidad (kW h). La generación de GEI de esta fuente está dada por la combustión de materias primas para su generación. Por ello es primordial la cuantificación del consumo de energía en cada una de las etapas del sistema estudiado.

3.4.1 Cálculo de los consumos de energía eléctrica

Para los cálculos correspondientes a los consumos de energía eléctrica de la empresa en el año 2019, se ha considerado:

- a) El consumo de energía de la maquinaria y aparatos eléctricos en el acondicionamiento y empaque:

El consumo de energía de las máquinas de la línea de empaque se ha calculado teniendo en cuenta la Ec. 1 (Bieler *et al.*, 2004), debido a que está directamente relacionado con la potencia, la propiedad física que describe el motor.

$$E = \gamma P_N t \quad (\text{Ec. 1})$$

donde

E es el consumo de energía eléctrica (kWh), γ es la fracción de la potencia nominal consumida por el equipo; P_N es la potencia nominal del equipo (kW); y t es el tiempo de la operación (s). Para mediciones en plantas industriales, los valores empíricos para γ son 28% para motores y 52% para bombas.

b) El consumo de energía eléctrica de las cámaras de refrigeración y los pre-fríos:

El mismo se obtuvo calculando la carga térmica de cada una de las cámaras de conservación y los túneles de pre-frío (Q total) para luego relacionarlo con la energía usada por el compresor y los equipos auxiliares mediante el Coeficiente de Performance²⁴ (COP) (Sanjuán *et al.*, 2014; Evans *et al.*, 2014).

Se entiende por carga térmica o calorífica la cantidad de energía por unidad de tiempo que es necesaria disipar para producir un efecto térmico determinado (ASHRAE, 2000). Se da como resultado de una sumatoria de diferentes componentes. A continuación, se describen las consideraciones efectuadas para el cálculo de la carga térmica:

b₁- Carga térmica debida a las pérdidas por transmisión por paredes, techo y suelo.

Para el cálculo del siguiente valor de potencia se utilizó la función de transferencia de calor entre dos ambientes a distinta temperatura en contacto a través de un área “ A ” Ec.2.

$$Q = U * A * \Delta t \quad (\text{Ec. 2})$$

donde

U es el coeficiente global de transferencia de calor, A es la superficie de contacto y Δt es la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior de la cámara de almacenamiento.

Como se debe calcular la mayor potencia necesaria, se utilizó como temperatura exterior la temperatura máxima registrada en el año 2019 por el servicio meteorológico de la localidad de General Roca que fue de 37 °C (SM, 2021), ya que es la condición más adversa para la cámara de almacenamiento. Por otro lado, se consideró una temperatura de 47 °C para el entretecho de la cámara y 20 °C para el piso de la misma.

²⁴ El coeficiente de eficiencia energética o Coefficient Of Performance (COP), por sus siglas en inglés, es la expresión de la eficiencia energética de una bomba de calor. Dicho de otra forma, es la relación entre la potencia (kW) que sale de la misma y la potencia (kW) que se suministra al compresor que produce ese calor.

La temperatura mínima de almacenamiento para las peras frescas es de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el interior del fruto (Calvo *et al.*, 2018).

Según marca la norma *UNE – EN ISO 12241*, 2010 se estima una transferencia de calor máxima de $q = 6.98\text{ W/m}^2$. El flujo de calor que atraviesa un muro en régimen estacionario se calculó con la Ec. 3, donde t_e y t_i son las temperaturas internas y externas al muro

$$Q = U * A * \Delta t \rightarrow q'' = \frac{Q}{A} = U * \Delta t \quad (\text{Ec. 3})$$

De esta ecuación, se obtiene el coeficiente global de transmisión de calor (U) necesario para el cálculo de la carga térmica debido a pérdidas por paredes, techo y suelo. Conjuntamente, se aplicó un factor de corrección según la orientación de la cámara o prefrío, considerando valores para el hemisferio sur (Goswami *et al.*, 2000).

Por otro lado, ninguna construcción está perfectamente aislada, sino que siempre hay sitios por los cuales el calor circula con mayor facilidad, creando un puente térmico (Alcover y Quintela Cornaglia, 2018). La existencia de estos puentes térmicos genera un mayor intercambio de calor entre el interior y el exterior de la cámara. Es complejo saber a ciencia cierta cuál es el valor de energía que se transmite por este mecanismo, por lo que se asumió que por el techo y las paredes se transmite el 5% del total de energía (Gatica Sánchez *et al.*, 2013).

b₂- Carga térmica debida a la renovación necesaria de aire.

Es común que el aire se renueve dentro de una cámara de almacenamiento cada vez que es abierta para realizar alguna operación, debido a la diferencia de densidades y temperatura. Este intercambio de aire entre el exterior y el interior de la cámara genera una carga térmica. Para el cálculo del valor de la carga térmica se usó Ec. 4.

$$Q = V * \rho * N * \Delta H \quad (\text{Ec. 4})$$

donde

V es el volumen de aire contenido dentro de la cámara de almacenamiento o túnel de prefrío, ρ es la densidad del aire, N es la cantidad de renovaciones de aire y ΔH es la diferencia entre la entalpía del aire en el exterior y la del aire en el interior.

Los datos oficiales del servicio meteorológico local indican que la humedad relativa media para los meses comprendidos entre enero y junio del año 2019, en la ciudad de General Roca, es de 45,8%, la temperatura máxima media en ese mismo periodo es de 23 °C (SM, 2021). Se conoce también que la humedad relativa y la temperatura del interior de la cámara serán de 90% y -1 °C, respectivamente.

Para la obtención de los valores de las entalpías específicas exterior e interior y de la densidad del aire a -1 °C se recurre al uso del diagrama psicrométrico ASHRAE (2002) (Anexo 1).

El valor de N depende del volumen de aire dentro de la cámara de almacenamiento, en este caso se toma $N = 1,4$ número de renovaciones/día a una temperatura inferior a 0 °C (ASHRAE, 2002).

b₃- Carga térmica debida al calor desprendido por los motores (aire forzado).

En el interior de la cámara, las máquinas que liberan calor son los ventiladores de los evaporadores y de los turbotúneles. En este estudio se realizó el cálculo aproximado utilizando los valores de potencia de los equipos evaporadores que dispone la empresa mediante la ecuación Ec. 5. (Gatica Sánchez *et al.*, 2013).

$$Q = 0,2 * \sum p * \frac{t}{24} \quad (\text{Ec. 5})$$

donde

p es la potencia de cada motor, t es el tiempo de funcionamiento del motor en horas y 0,2 es el factor de conversión de la energía eléctrica en calorífica.

b₄- Carga térmica aportada por las personas

Esta carga se calculó en base a la actividad de las personas dentro de la cámara según la Ec. 6. (Dincer, 2011).

Este calor generado en el espacio refrigerado depende de muchos factores, como edad, peso, altura, género, tipo de trabajo que se realiza, ropa, entre otros. A pesar de estas variaciones en el libro ASHRAE (2002) están las estimaciones de la potencia liberada en W en función de la temperatura de la cámara. A medida que la temperatura es menor, el calor desprendido por una persona aumenta. Para este estudio se tomó el valor de 0,285 kW para un rango de temperatura de trabajo entre a 0 °C y -5 °C.

$$Q = (q * n * t) / 24 \quad (\text{Ec. 6})$$

donde

q es el calor por persona en kW, n es el número de personas en la cámara y t el tiempo de permanencia en horas/día

b₅- Carga térmica aportada por la iluminación.

Los elementos de iluminación generan un desprendimiento de calor que debe ser considerado a la hora de calcular la carga térmica total de un equipo de enfriamiento, según la cantidad de focos, la potencia consumida, y el factor de potencia que relaciona la potencia consumida con la potencia liberada en forma de calor (Alcover y Quintela Cornaglia, 2018). Para los cálculos se utilizó la Ec. 7.

$$Q = Q_t * e * n * t \quad (\text{Ec. 7})$$

donde

Q_t es la potencia de la iluminaria en kW, e es el porcentaje de calor que desprenden las mismas, n es el número de iluminarias en la cámara y t es el tiempo de funcionamiento por día.

b₆- Carga térmica aportada por el calor vital de la fruta más los materiales de embalaje.

Cualquier elemento que deba enfriarse genera una carga térmica, esta puede ser en forma de calor sensible, latente, o ambas, según a la temperatura que se encuentre y a la que se lo quiera llevar, las mismas pueden calcularse mediante diversas fórmulas. Relacionando este calor obtenido con el tiempo, se obtiene la carga térmica.

La carga térmica correspondiente a la fruta se calculó utilizando la Ec. 8 correspondiente al calor sensible o de campo y la Ec. 9 correspondiente al calor vital o de respiración de las peras. El C_e ²⁵ para el cálculo del calor sensible fue de 3,6 kJ/kg °C mientras que el q_r para el cálculo del calor vital fue de 1 kJ/kg día (ASHRAE 2002, Singh y Heldman, 2001; Mòdol, 2010).

Para la estimación de la masa y el diferencial de temperatura en cada una de las variantes, se utilizaron los datos especificados en el apartado 3.4 Descripción y modelado del sistema.

²⁵ El calor específico es la cantidad de energía necesaria para cambiar la temperatura del alimento en un grado centígrado, es un dato crucial para calcular la carga térmica que es necesario eliminar mediante los equipos de refrigeración y congelación. Este es dependiente de la temperatura.

$$Q = m * C_e * \Delta t \quad (\text{Ec. 8})$$

donde:

C_e es el calor específico másico antes de la congelación en kJ/kg °C, m es la masa de fruta que ingresa por día a la cámara en kg y Δt es la diferencia de temperatura en °C entre la temperatura inicial del producto y la temperatura final del mismo.

$$Q = m * q_r \quad (\text{Ec. 9})$$

donde:

m es la masa de frutas (kg) y q_r es el calor de respiración (kJ/kg día).

La carga térmica por los materiales de embalaje, caja de cartón y bolsa de polietileno de baja densidad (PDBD), se calcula utilizando la misma ecuación, Ec. 8. El C_e es el calor específico del material de embalaje en kJ/kg °C, m es la masa del embalaje en kg y Δt es la diferencia de temperatura de entrada y final del embalaje en °C

Para estos cálculos se consideran la masa que se renueva diariamente, es decir, los productos que se mantienen por más días no son considerados ya que no representan un aporte de energía que deba ser absorbido nuevamente por el evaporador.

– Para el envase: La caja considerada en el cálculo es la estándar telescópica²⁶ de cartón de 18 kg con unas dimensiones de 49,8 cm de largo, 32,8 cm de espesor y 23,8 cm de altura. Son de cartón corrugado de onda “C” de 0,5 cm de espesor, cuyo gramaje es de 640 g/m² y capacidad calorífica de 1,26 kJ/kg °C (Crisanto Flores, 2018).

El túnel debe almacenar aproximadamente 1152 cajas por día, correspondiente a 18 palés de 64 cajas cada uno. Con estos datos se calcula la cantidad de m² de cartón restando el 3% de troqueles que permitan la circulación del aire en el interior del envase.

– Para el palé: El palé es una tarima donde se disponen las cajas para formar unidades de carga que ayudan a mejorar la logística. El tipo de madera comúnmente utilizado para su fabricación es el pino cuyo C_e es de 1,38 kJ/kg °C (Incropera, 2013; Robalino López y Díaz Ayala, 2017). Las dimensiones son de 1,0 x 1,2 m y se considera para el

²⁶ Cajas Telescópicas: Constituidas por más de una pieza y caracterizada por una tapa y un fondo que se desliza por el cuerpo de la caja.

cálculo que ingresan diariamente 18 palés por túnel, con un peso promedio individual de 16,5 kg/palés.

- Para la bolsa: En el embalado de las peras se coloca una bolsa de polietileno de baja densidad (PDBD) por cada caja para evitar la deshidratación de la fruta. El C_e es de 1,20 kJ/kg °C (Gatica Sánchez *et al.*, 2013) y se considera un ingreso de 1152 bolsas por túnel de 0,03 kg cada una.

b7- Carga eléctrica total en el sistema refrigerado.

Una vez que se calculan las formas de ganancias de energía térmica o las necesidades frigoríficas, se suman para dar la totalidad de carga frigorífica o la energía total a ser absorbida. A continuación, se describe la metodología utilizada en función de los autores Prakash y Singh, 2008 y Sanjuán *et al.*, 2014.

Los refrigerantes quitan esta carga del espacio de almacenamiento del producto a través del ciclo de refrigeración. Como ya se ha mencionado, el ciclo de refrigeración tiene cuatro componentes principales, compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador. De estos, las etapas de evaporación, compresión, condensación requieren un suministro de energía externo. Para comprimir el refrigerante a mayor presión, el compresor utiliza energía eléctrica. El condensador y los evaporadores en sí mismos no requieren suministro de energía externo, sin embargo, los ventiladores empleados para mejorar la transferencia de calor consumen cantidades significativa de energía eléctrica. Además de estos, se consume algo de energía eléctrica para hacer funcionar las bombas de circulación del agua de refrigeración en el condensador y el refrigerante en el sistema de refrigeración. La carga eléctrica total en el sistema refrigerado se calculó con la Ec.10.

$$E_{Refsys} = E_{Comp} + E_{fp} \quad (\text{Ec. 10})$$

donde

E_{Refsys} es la carga eléctrica total del sistema de refrigeración en kW, E_{Comp} es la potencia eléctrica consumida por el compresor en kW y E_{fp} es la energía eléctrica consumida por ventiladores y bombas en el sistema de refrigeración en kW.

- Compresores:

En el ciclo de refrigeración, el compresor es responsable de consumir la mayor parte de la energía eléctrica. El trabajo realizado por el refrigerante se puede calcular a partir de los valores de entalpía de refrigerante y su masa mediante la siguiente Ec. 11.

$$W_{comp} = m_r * (H_2 - H_1) \quad (\text{Ec. 11})$$

donde

W_{comp} es el trabajo realizado por el compresor en kW, H_2 es la entalpía del refrigerante al final de la carrera de compresión en KJ/kg, H_1 es la entalpía del refrigerante al comienzo de la carrera de compresión en KJ/kg y m_r es el flujo másico del refrigerante que está presente en el circuito en kg/s o el caudal de refrigerante que depende de la velocidad de carga de refrigeración y puede calcularse mediante la Ec. 12.

$$m_r = Q_e / (H_1 - H_4) \quad (\text{Ec. 12})$$

donde

Q_e es la potencia frigorífica del evaporador en kW y H_1 es la entalpía del refrigerante al comienzo de la carrera de compresión en KJ/kg y H_4 entalpía de refrigerante a la salida de la válvula de expansión en KJ/kg.

La entalpía de los refrigerantes se puede obtener a partir del diagrama presión-entalpía para el refrigerante R-717 (Anexo 2). Una vez que se encuentra el trabajo realizado por el refrigerante durante la compresión, se puede utilizar para determinar el requisito de potencia eléctrica del compresor, E_{comp} (W) mediante la siguiente ecuación, Ec. 13.

$$E_{comp} = W_{comp} / n_{comp} \quad (\text{Ec. 13})$$

donde

W_{comp} es el trabajo realizado por el compresor en W y n_{comp} es la eficiencia del compresor.

- Ventiladores y bombas

La carga eléctrica promedio de ventiladores y bombas es la suma del producto de su potencia y su factor de uso según la Ec. 14.

$$E_{fp} = \sum W * F_u \quad (\text{Ec. 14})$$

donde

E_{fp} es la energía eléctrica consumida por ventiladores y bombas en el sistema de refrigeración en W, W es la potencia del equipo de refrigeración W y F_u es el factor de uso, es decir la relación entre el tiempo utilizado en horas y la duración del tiempo utilizado para la estimación.

b₈- Consumo eléctrico total.

Por último, el consumo eléctrico total es la suma de las cargas eléctricas del funcionamiento del ciclo de refrigeración más el consumo por el arranque de los motores hasta que alcanzan el valor nominal de funcionamiento (Amer Pou y Vallespir Marqués, 2017). El consumo de arranque puede ser hasta 3 o 4 veces el consumo de uso continuo en función del motor usado.

El compresor no está siempre encendido, sino que actúa de forma intermitente, cuando la temperatura de la cámara de refrigeración o túnel de pre-frío está fuera de los intervalos deseados se activa el sistema de refrigeración. Por lo tanto, cuando la temperatura es superior a la deseada, el compresor se enciende hasta que está temperatura vuelve al rango de conservación. Para el cálculo del ciclo de encendido y apagado el Ing. Agr. Jefe de planta de la empresa describe un promedio de 1 arranque por hora con una duración de 15” y establece que los intervalos son de 19’: 45” de funcionamiento seguidos de 20” de descanso. El tiempo entre descongelados es de 8 h en los meses de gran demanda (febrero, marzo y abril) y se realiza mediante gas caliente con una duración de 30’.

La potencia consumida en el arranque del compresor se calculó utilizando la Ec. 15 (Amer Pou y Vallespir Marqués, 2017).

$$P = \sqrt{3} * I_{arr} * V * \cos\phi \quad (\text{Ec. 15})$$

donde

P es la Potencia en W; I_{arr} es la intensidad arranque (para el arranque estrella²⁷ $I_{arr} = 141$ A y arranque en triángulo $I_{arr} = 233$ A); V es la tensión corriente ($V = 380$ V) y $\cos\phi$ es el factor de potencia ($\cos\phi = 0,92$).

²⁷ Según Huamán Cruz, 2020; el arranque en estrella es más suave y progresivo con menor consumo, su desventaja consiste en que al usar una corriente baja el par que proporciona el motor también es bajo. El arranque en triángulo, al contrario que en estrella, utiliza una tensión de arranque alta realizando un arranque más rápido y brusco. La ventaja consiste en que el par del motor es alto desde el principio, pero al ser un arranque brusco se produce un pico de tensión alto.

La potencia de arranque del condensador y evaporador se considera como el doble que la potencia nominal (Amer Pou y Vallespir Marqués, 2017). Para el caso del proceso de desescarche, se utilizó un consumo de 17,2885 kW por evaporador durante 30 minutos en intervalos de 8 horas (Mòdol, 2010).

3.5 Asignación de cargas

En la poscosecha de la pera orgánica, se descarta la fruta de peor calidad que no puede consumirse en fresco y genera un subproducto denominado descarte²⁸ que se vende para su industrialización. Este coproducto está fuera del alcance de este estudio sin embargo es necesario asignar las cargas ambientales generadas durante el proceso, en la proporción que corresponda, para que las emisiones de GEI se repartan proporcionalmente, respecto al criterio de asignación establecido (Brovia Cortel, 2015).

Según la normativa (ISO14040; 2006 a y b), si los coproductos tienen similares características y/o funcionalidad (ej. diferentes variedades de peras, con diferentes precios pero vendidas como peras para consumo en fresco) la asignación debe basarse en la masa. En cambio, si los coproductos no tienen similares características y/o funcionalidad, como es el caso de las peras frescas y el descarte, la asignación de cargas debe basarse en el valor económico de los productos (asignación económica) y debe ser calculada sobre un periodo no menor de un año. Por ello, en este estudio en particular, se ha establecido la asignación económica.

Los porcentajes de descarte de la poscosecha, varían según la partida en función de las distintas modalidades de trabajo analizadas. En la tabla 4 puede visualizarse que del total de kilos de peras orgánicas ingresadas como materia prima a las instalaciones de la empresa en el año 2019 (5.527.244 kg), se procesaron en la línea de empaque el 93,14% (5.147.728 Kg). El 6,87% (379.516 Kg) restante fue descartado directamente por no cumplir con las condiciones de madurez y calidad necesarias para ser embalada y comercializada en fresco.

²⁸ En Argentina, según el Decreto Ley N° 9244/63 para fruta fresca no cítrica y su Resolución de Actualización N° 554/83: se denomina descarte a las frutas que no se encuadren en ninguno de los grados de selección mencionados en dicha resolución, por lo que no podrán ser tamañadas, empacadas ni identificadas, para ser comercializadas para su consumo al estado fresco, debiendo destinarse a la industria o a cualquier otro uso que no sea aquél.

Los kilos correspondientes a las peras orgánicas que ingresaron a la línea de empaque pueden verse en la tabla 6. De la fruta procesada “en caliente” se descartó el 28,37% mientras que de la fruta que se trabajó “en frío” se descartó el 40,23%.

A modo resumen, de las 5,527 tn de peras ingresadas, se embolsó el 62,48% y se descartó el 37,52% como indica la tabla 7.

Tabla 6. Cantidad de peras orgánicas según la modalidad de trabajo en la línea de empaque durante 2019.

Modalidad de línea de empaque	Embalado		Descarte		Total (kg)
	kg	%	kg	%	
En caliente	2.273.766	71,63	900.397	28,37	3.174.163
En frío	1.179.602	59,77	793.963	40,23	1.973.565
Total	3.453.368	67,09	1.694.360	32,91	5.147.728

Tabla 7. Kilogramos y porcentajes de peras orgánicas embaladas y descartadas en todo el proceso efectuado por la empresa en el año 2019.

Total de peras año 2019	Kilos	Porcentaje
Embalado	3.453.368	62,48
Descarte*	2.073.877	37,52
Total	5.527.244	100

*Es la suma del descarte de la clasificación para los procesos en frío y en caliente más la fruta descartada directamente en el frigorífico.

Con todos estos datos y el valor económico obtenido por la fruta embalada y descartada, se realizó la asignación de carga por valor económico (Tabla 8). El valor económico de los productos fluctúa a lo largo de los años, campañas, meses, semanas e incluso días. Este valor depende de las calidades, las cantidades y de los mercados. El precio promedio de las peras orgánicas para consumo en fresco, (dato aportado por el Ing. Agr. Jefe de planta de la empresa), fue de 18 USD/Kg para mercado de exportación en el año 2019 mientras que el precio promedio de peras orgánica pagado por la industria fue de 0,04 USD/kg.

Tabla 8. Asignación de cargas según valor económico.

	Etapas	Producto (%)	Valor económico USD/kg	Asignación Económica (%)
Materia Prima	Fruta neta embalada	62,48	18	99,867
	Descarte	37,52	0,04	0,133
Frigorífico	Ingreso frigorífico	93,13	18	99,984
	Descarte	6,87	0,04	0,016
Empaque	En caliente	71,63	18	99,912
	Descarte	28,37	0,04	0,088
	En frío	59,77	18	99,851
	Descarte	40,23	0,04	0,149

Debido al reducido precio que tiene la fruta destinada a la industria, en este estudio las cargas ambientales del procesado de las peras para consumo en fresco, tendrá una asignación del 100% de las cargas totales (Tabla 8). Por ello, el consumo de energía y las emisiones de GEI se atribuyen completamente a las cantidades totales de peras almacenadas en la empresa y el ACV realizado en este estudio es de tipo atribucional, lo que significa que todos los insumos (recursos, energía, etc.) y los productos (es decir, las emisiones de GEI) se atribuyen a la entrega de una cantidad específica de la UF (Thomassen *et al.*, 2008).

3.6 Modelado de escenarios

Siguiendo la metodología utilizada por Boschiero *et al.*, 2019, en esta investigación se han modelado diferentes escenarios para considerar los diversos manejos poscosecha que realiza la empresa en el acondicionamiento, conservación y distribución de las peras y así evitar la incertidumbre de las elecciones.

La incertidumbre y la variabilidad encontrada en las publicaciones científicas con respecto a los estudios de ACV en distintas frutas, hace que sea fundamental determinar la validez de los datos recopilados (Beccali *et al.*, 2010; Cerutti *et al.*, 2015) como la confiabilidad y solidez de los resultados finales (Cellura *et al.*, 2011; ISO, 2006a, 2006b; Notarnicola *et al.*, 2017).

Según lo explicado por Huijbregts (1998) los diferentes tipos de incertidumbres se pueden distinguir en: incertidumbre de parámetros, incertidumbre del modelo e incertidumbre relacionada con las elecciones respecto a las tecnologías usadas. La robustez de los parámetros y del modelo en este estudio debe ser considerada como elevada, ya que los

datos suministrados son reales y propios del sistema analizado, mientras que el modelo representa el manejo poscosecha real realizado en fruta orgánica. Por todo esto es que la centralidad de la incertidumbre se base en las elecciones modelando diferentes escenarios reales que se puntualizan a continuación.

3.6.1 Escenarios de pre-frío y conservación frigorífica

La refrigeración es, desde hace muchos años, el medio principal para asegurar la conservación de los frutos permitiendo prolongar el periodo de distribución y consumo y favoreciendo los intercambios comerciales (Herrero y Guardia, 1992).

La empresa dispone de cámaras de frío convencional para la mantención de la temperatura de la fruta y el pre-frío de bins, mientras que posee túnel de aire forzado para la pre-refrigeración de la fruta embalada. En este estudio se han modelado diferentes períodos de permanencia en días para cada una de estas tecnologías, en función del manejo poscosecha que realiza la empresa (Tabla 9).

Tabla 9. Escenarios de almacenamiento modelados para la pre-refrigeración y conservación en cámara frigorífica de bins o palés de peras orgánicas.

Escenarios de almacenamientos	En bins		En Palés	
	Pre-frío	Cámara	Pre-frío	Cámara
	Duración (días)			
En caliente	Escenario 1		1,75	15
En frío	Escenario 2		2	15
	Escenario 3		2	30

3.6.2 Escenarios de embalaje

Los materiales utilizados para el envasado, acondicionamiento, transporte y comercialización de fruta de pepita²⁹ son el cartón, la madera y el plástico, además de los materiales complementarios que son el papel, bolsas de polietileno, bandejas de pulpa moldeada o de poliestireno, ecopack, airepack, cartón corrugado, entre otros. (Benítez *et al.*, 2005).

El detalle de los materiales utilizados en el embalaje según los diferentes envases considerados en este estudio y los elementos acompañantes del palé terminado puede visualizarse en la Tabla 23 en el apartado de 4.1 Resultados.

²⁹ Son frutos derivados de un receptáculo engrosado, como la pera y la manzana.

Las bandejas de pulpa de celulosa moldeada (PCM) o de poliestireno expandido (PET) se colocan para la separación de capas de fruta dentro de los envases. Las bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) son utilizadas para cubrir todo el envase por su interior con el fin de evitar las excesivas pérdidas de agua de las peras.

Los ecopack, airepack y cartón corrugado, sirven para proteger las peras contra las rozaduras o golpes y se disponen en la última camada de fruta, antes de colocar la tapa de la caja. Para mayor protección, se coloca un papel envolviendo individualmente el fruto para protegerlo de los roces y de las pérdidas de agua.

De los envases, las cajas telescópicas más utilizadas en la temporada 2019 por la empresa fueron la Estándar de 18 kg; la Sudafricana (SAF) de 15 kg y la ½ Mark IV de 10 kg. Mientras que, de las cajas de encastre disponibles, el Plateaux de 7 kg fue el más utilizado. Estos envases con sus respectivos materiales acompañantes, fueron los que se emplearon en los escenarios de embalaje estudiados en esta investigación.

Antes de cargar los contenedores o los camiones refrigerados para el despacho de la fruta, los envases se disponen en palé de madera para mejorar la logística de las cargas. Según la norma ISO 3394 los palés marítimos deben tener una dimensión de 1200 x 1000 mm y la altura del mismo no debe superar los 2,05m.

Para estabilizar la carga se usan esquineros protectores de cartón con sección transversal en forma de “L” de longitud similar a la altura de la estiba, sujetos por flejes de plásticos y hebillas de metal.

3.6.3 Escenarios de transporte

Se ha considerado y modelado 3 escenarios de transporte (Tabla 10). Estos son:

1. Transporte local: desde la chacra a la planta de empaque-frigorífico de la empresa. Está relacionado con el ingreso de la materia prima al establecimiento. La distancia promedio del recorrido es de 27 km y se ha considerado un camión pequeño rígido (>7,5-17 tn) por vía terrestre.
2. Transporte nacional: Distribución de las peras orgánicas para su comercialización desde la planta de empaque-frigorífico hasta el mercado concentrador de la provincia de Buenos Aires (mercado interno). La distancia promedio del recorrido es de 1.081 km y se ha considerado un camión refrigerado articulado (> 3,5 - 33 tn) por vía terrestre.
3. Transporte internacional: Distribución de las peras orgánicas para su comercialización desde la planta de empaque-frigorífico hasta el Puerto de San Antonio Este (SAE),

provincia de Río Negro. Luego se ha considerado el transporte marítimo de ultramar hasta el Puerto de San Petersburgo (Rusia) y el Puerto de Filadelfia (Estados Unidos), como mercados externos.

La distancia, vía terrestre, promedio del recorrido fue de 408 km y se ha considerado un contenedor refrigerado de 40 pies³⁰ trasladado por camión articulado (> 3,5 - 33 tn) por vía terrestre. Para el traslado al Puerto San Petersburgo (Rusia) la distancia marítima recorrida promedio fue de 14.436 km y el buque de viaje fue el As Filippa IMO: 9368742. Mientras que al Puerto Filadelfia (Estados Unidos) el recorrido fue de 11.360 km y el buque de viaje fue el Ice Ranger IMO: 8311132.

Las distancias nacionales se estimaron a través de las plataformas de Google Maps y para las distancias del transporte marítimo se utilizó la página www.searates.com.

Tabla 10. Escenarios de transporte para la pera orgánica como materia prima y como productos embalados para la comercialización.

Escenarios de transporte	Ruta de Productos	Medio de Transporte	Km promedios
Local	Chacra a la planta de empaque-Frigorífico	Camión rígido sin refrigeración	27
Nacional (Mercado interno)	Planta de empaque-Frigorífico a Buenos Aires	Camión refrigerado	1.081
Internacional (Mercado externo)	Planta de empaque-Frigorífico al puerto SAE + Puerto SAE a Puerto San Petersburgo (Rusia)	Contenedor refrigerado	408 + 14.436
	Planta de empaque-Frigorífico al puerto SAE + Puerto SAE a Puerto Filadelfia (Estados Unidos)	Contenedor refrigerado	408 + 11.360

3.7 Evaluación del impacto del ciclo de vida

Para obtener la HC en la etapa posterior a la cosecha de peras se utilizó la Ec. 16 (Tzilivakis *et al.*, 2005), estableciendo un horizonte de tiempo.

$$HC = \frac{DA \times FE}{UF} \quad (\text{Ec. 16})$$

donde

DA es el dato de la actividad expresada en kW h/ kg, *FE* es el factor de emisión expresado en kg de CO₂ eq / kg de producto y *UF* es la unidad funcional establecida en kg.

³⁰ Contenedores Marítimos Reefer (refrigerados): Contenedor de 40 pies HC o High Cube.

Para este estudio, el impacto ambiental se estimó considerando las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O asociadas con los insumos de energía y materiales dentro de los límites del sistema analizado.

Para la elección de los factores de emisión (FE), se trabajó con los últimos FE del IPCC disponibles y de la base de dato de Ecoinven (Wernet *et al.*, 2016), también se requirió para el cálculo de las emisiones del ciclo de vida, una serie de factores de emisión adicionales. En este sentido, para los FE por manufactura de insumos utilizados en el packaging de las peras se recurrió los datos de AGO 2007, IPCC 2006 y a la base de datos de Ecoinven (Ecoinvent, 2019).

Para el ítem transporte se contó con los FE sugeridos por el Ministerio de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA, 2013) y de la base de dato de Ecoinven (Wernet *et al.*, 2016). Para el uso de electricidad se contó con FE nacional, que es calculado año a año por la Secretaria de Energía de la Nación Argentina (SE, 2021), a partir de los datos de la matriz energética argentina del año 2019. Se considera que las emisiones provenientes de la energía eléctrica se derivan de los combustibles fósiles utilizados para la generación de energía.

Un FE es una cantidad típica de GEI liberados a la atmosfera por unidad de actividad (es decir, g CO₂ eq / Kg de producto, donde el CO₂ representa la concentración de CO₂ que causa el mismo nivel de forzamiento radiativo que los GEI equivalentes). El FE es el que permite estimar las emisiones de GEI a partir de una unidad de datos de actividad disponible y emisiones absolutas de GEI (WRI y WBCSD, 2004).

En el Anexo 3 se incluye la lista de FE utilizados para esta investigación.

4.1 Consumos directos de la etapa poscosecha, empaque y frigorífico

4.1.1 Energía eléctrica de las instalaciones de acondicionamiento y empaque

En la tabla 11 están detallados los consumos eléctricos, en kW h para las diferentes secciones del establecimiento empacador. En la misma se hace énfasis en la separación del consumo de electricidad antes y después de la clasificación de la fruta para poder distribuir los consumos realizados según sea fruta embalada o fruta de descarte.

Por hora, se consumen 80,12 kW de energía eléctrica en toda la línea de proceso y las secciones de clasificación y tamañado son las de mayor demanda con 18,98 y 19,63 kW representando en conjunto el 48% del consumo total (Figura 16).

Tabla 11. Consumo de electricidad (kW h) en las sucesivas etapas de la línea de empaque de peras orgánicas. ARG, 2019.

Operaciones unitarias	Consumo de electricidad (kW h)	
	Hasta la clasificación	Después de la clasificación
Alimentación	13,63	13,63
Lavado	7,83	7,83
Secado	4,47	4,47
Clasificación	18,98	10,72
Tamañado	19,63	19,63
Embalado, Romaneo y Estibado	15,57	15,57
Total	80,12	45,92

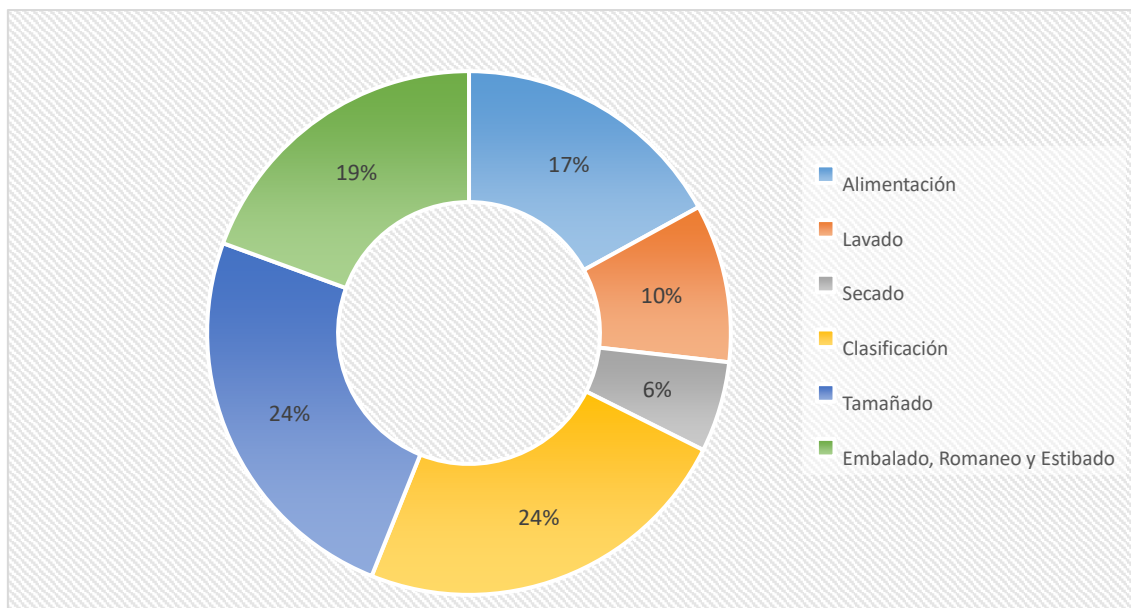


Figura 16. Porcentaje del consumo de energía eléctrica para las operaciones unitarias de las diferentes secciones que componen la línea de empaque de peras orgánicas frescas. ARG, 2019.

Con el consumo de electricidad de cada etapa de la línea de empaque y los datos aportados por la empresa en cuanto a los días trabajados, horas netas de funcionamiento, kilogramos de fruta volcados en la sección de alimentación, kilogramos de fruta que fueron descartados y finalmente los kilogramos embalados con calidad comercial se obtuvo el consumo de electricidad por UF (Tabla 12).

Como se explicó en la metodología, apartado 3.5. Asignación de cargas, la fruta de descarte prácticamente no tiene valor comercial por ello el consumo de energía eléctrica de todo el acondicionamiento y empaque se asignó en un 100% a los kilogramos de peras orgánicas embalados.

Cuando la fruta se procesó “en caliente”, fruta que se acondicionó directamente a la llegada al establecimiento sin necesidad de pre-frío y guarda en cámara frigorífica, se obtuvo un consumo por UF de 0,0194 kW h. Cuando se procesó “en frío”, fruta proveniente del frigorífico después de un período no mayor a 30 días de guarda, el consumo por UF fue de 0,0169 kW h. En ambos casos el consumo mayor se da después de la clasificación y las diferencias entre los procesos tiene que ver directamente con la cantidad de fruta que debe ser clasificada por tamaños y embalada respectivamente.

Tabla 12. Consumo promedio de electricidad por kilogramos de pera orgánica (kW h/UF) para la modalidad de trabajo "en caliente" y "en frío", antes y después de la clasificación de los frutos. ARG, 2019.

Modalidad de trabajo	Consumo promedio de electricidad por kilogramo de peras (kW h/UF)		
	Hasta la clasificación	Después de la clasificación	Total de consumo (kW h/UF)
En caliente	0,0083	0,0111	0,0194
En frío	0,0072	0,0097	0,0169

Para dar una aproximación de las horas netas trabajadas, los kilogramos de fruta volcados en la sección de alimentación y los kilogramos embalados se tomaron datos promedios para cada modalidad de trabajo (Tabla 13). Para la modalidad de proceso “en caliente” se utilizó 11 h de funcionamiento de la maquinaria para un total de 72.140,07 kg de fruta volcados en la sección de alimentación y 51.676,50 kg embalados. Mientras que para el proceso “en frío”, se utilizó 13 h de funcionamiento de la maquinaria para un total de 109.642,48 kg de fruta volcados en la sección de alimentación y 65.534,548 kg embalados.

Tabla 13. Horas de trabajo promedio en la línea de empaque para la modalidad de proceso "en caliente" y "en frío", kilos de peras volcados en la sección de la alimentación y kilos de peras embalados. ARG, 2019.

Modalidad de trabajo	Horas netas trabajadas	Kg de fruta en la alimentación	Kg de fruta embalado
En caliente	11	72.140,07	51.676,50
En frío	13	109.642,48	65.534,72

4.1.2 Energía eléctrica del frigorífico y sus instalaciones

La empresa bajo estudio no solo comercializa peras sino también manzanas y el consumo eléctrico del frigorífico debe ser distribuido en función de las necesidades específicas de estas dos especies y sus respectivas variedades. Por tal razón, para esta investigación se recurrió al cálculo de las cargas térmicas para cada una de las cámaras de refrigeración y pre-fríos utilizados por la empresa para la conservación de peras orgánicas (Tabla 14). Con esta información se realizó la estimación del consumo necesario de energía eléctrica de cada componente del circuito frigorífico mediante el COP, el cual indica la relación entre la energía consumida y la capacidad entregada. Los datos están reflejados en la tabla 15 y los valores de entalpía para el refrigerante R-717 en un circuito frigorífico de

compresión mecánica que fueron utilizados para los cálculos pueden verse en el Anexo 2.

La energía usada por el compresor y los equipos auxiliares en cada uno de los procesos unitarios se utilizó para calcular el consumo de energía eléctrica en kW h para cada ciclo frigorífico de 8 h considerando el descarche de los evaporadores, el tiempo de funcionamiento normal, el descanso y el arranque de los equipos. Este consumo de energía eléctrica para el pre-frío y cámara de conservación de bins como para el pre-frío y cámara de conservación de palé puede verse en las tablas 16 y 17.

Tabla 14. Determinación de la carga térmica para cada una de las cámaras de refrigeración y pre-fríos utilizados por la empresa para la conservación de peras orgánicas. ARG, 2019.

Concepto	Carga térmica (kW h)			
	Bins		Palés	
	Pre-frío	Cámara	Pre-frío	Cámara
Paredes, techo y suelo	2,80	5,96	5,11	4,91
Renovación de aire	0,64	1,65	1,37	1,30
Calor desprendido por motores	5,03	8,95	31,32	8,95
Personal de trabajo	0,29	0,29	0,48	0,10
Iluminación	0,19	0,09	0,02	0,09
Envases y materiales de embalaje	1,92		0,60	
Calor vital o de "Respiración"		103,78		74,88
Calor sensible o de "Campo"	42,88		33,16	
Total (kW h)	53,75	120,72	72,05	90,23
Qt + Factor de seguridad del 10% (kW h)	59,12	132,79	79,26	99,26

Tabla 15. Estimación del coeficiente de performance y el consumo de energía eléctrica de los componentes del circuito frigorífico para las cámaras de refrigeración y pre-fríos utilizados en la conservación de peras orgánicas. ARG, 2019.

Concepto		Energía eléctrica y coeficiente de performance del circuito frigorífico			
		Bins		Palés	
		Pre-frío	Cámara	Pre-frío	Cámara
Carga térmica (kW h)	Qt	59,12	132,79	79,26	99,26
Potencia frigorífica del evaporador (kW)	Qe	78,83	177,06	105,68	132,34
Flujo másico del refrigerante (kg/s)	mr	0,07	0,16	0,10	0,12
Potencia del compresor (kW)	Wcom	15,44	34,68	20,70	25,92
Calor rechazado en el condensador (kW)	Qc	91,18	204,80	122,24	153,08
Coeficiente de performance	COP			5,11	

Tabla 16. Consumo de energía eléctrica en kW h para cada ciclo frigorífico en el pre-frío y cámara de conservación de bins con peras orgánicas.

Proceso	Ciclo / 8h	Compresor	Comp. Arranque estrella	Condensador	Cond. Arranque	Evaporador	Evap. Arranque	Descarche	Total	Tiempo	Energía
	n	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(h)	(kW h)
Pre-frío Bines	Descarche	1						34,58	34,58	0,500	17,29
	Uso normal	11	15,44		1,24		6,71		23,39	0,346	88,98
	Descanso	11							0,00	0,00	0,00
	Arranque	11		85,38		2,48		13,42		101,28	0,004
Total kW h / Ciclo											110,91
Cámara Bines	Descarche	1						34,58	34,58	0,500	17,29
	Uso normal	11	34,68		3,2		11,93		49,81	0,346	189,48
	Descanso	11							0,00	0,33	0,00
	Arranque	11		85,38		6,4		23,86		115,64	0,004
Total kW h / Ciclo											212,07

Tabla 17. Consumo de energía eléctrica en kW h para cada ciclo frigorífico en el pre-frío y cámara de conservación de palé con peras orgánicas.

Proceso	Ciclo / 8h	Compresor	Comp. Arranque estrella	Condensador	Cond. Arranque	Evaporador	Evap. Arranque	Descarche	Total	Tiempo	Energía
	n	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(h)	(kW h)
Pre-frío Palé	Descarche	1						34,58	34,58	0,500	17,29
	Uso normal	11	20,70		2,63		26,84		50,17	0,346	190,85
	Descanso	11							0,00	0,00	0,00
	Arranque	11		85,38		5,26		53,68		144,32	0,004
Total kW h / Ciclo											214,75
Cámara Palé	Descarche	1						34,58	34,58	0,500	17,29
	Uso normal	11	25,92		2,52		11,93		40,37	0,346	153,58
	Descanso	11							0,00	0,33	0,00
	Arranque	11		85,38		5,04		23,86		114,28	0,004
Total kW h / Ciclo											176,10

Finalmente se obtuvo el consumo de energía eléctrica por día (kW h/día) y se lo relacionó con la UF. De la tabla 18 y la figura 17 se observa que el mayor consumo de energía por UF es provocado por los pre-fríos de palés y bins con un 0,0311 kW h/UF y un 0,0130 kW h/UF respectivamente.

Tabla 18. Consumo de energía eléctrica por kilogramo de peras (kW h/UF) para el pre-frío y cámara de conservación de palés y bins por día. ARG, 2019.

Operaciones unitarias		kW h/día	Kg de fruta/día	kW h/UF
Bines	Pre-frío	332,72	25.641*	0,0130
	Cámara	636,21	223.313*	0,0028
Palés	Pre-frío	644,25	20.736	0,0311
	Cámara	528,31	269.568	0,0020

*Corresponde a los kilogramos de fruta que después de la conservación fueron realmente embalados, considerando un 40,23% de descarte para la fruta proveniente de conservación frigorífica “En frío” tal lo indicado en el apartado 3.5. Asignación de cargas, tabla 8.

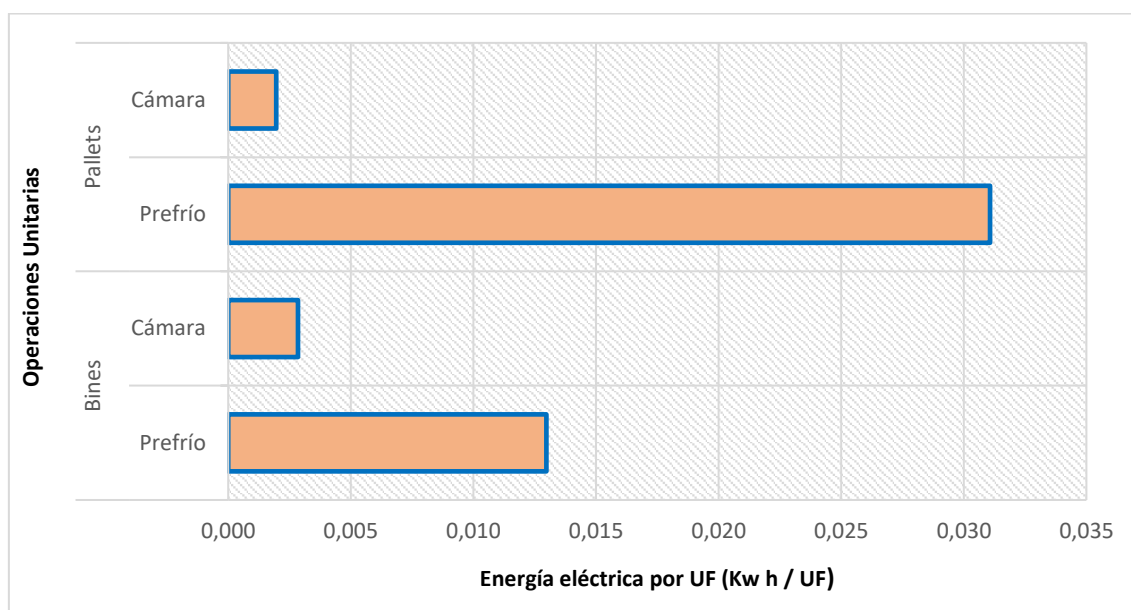


Figura 17. Consumo de energía eléctrica en kW h por kilogramo de peras (kW h/UF) para el pre-frío y cámara de conservación de palés y bins. ARG, 2019.

4.1.3 Otros consumos directos

Además de la energía eléctrica, en el año 2019 se utilizaron otros insumos directos relacionados con el empaque y frigorífico de las peras. Estos insumos fueron agua potable

de la red pública de la localidad de Gral. Roca, GLP como combustible para el movimiento de los autoelevadores, aceite lubricante para los compresores del frigorífico y demás equipos y R-717 para mantener el caudal másico de las instalaciones de refrigeración.

Para el cálculo sobre el consumo de agua potable se consideró el agua utilizada en la sección de alimentación, el agua de la sección de lavado y el agua que conduce a la fruta por los canales que llevan el descarte, tal como se indica en la tabla 19 para las dos modalidades de trabajo analizadas. Con la estimación del caudal de agua mensual y los kilogramos reales embalados en ese período de tiempo, se calculó los m³ de agua potable por UF utilizados en el empaque de las peras orgánicas. Las especificaciones de los cálculos se encuentran en la tabla 20. Se consumieron 0,0006 m³/UF de agua para la fruta que se procesó “en caliente” y 0,0008 m³/UF para la fruta que se procesó “en frío”, dando un promedio de 0,0007 m³/UF.

Tabla 19. Consumo de agua potable en las instalaciones de la línea de empaque para el acondicionamiento y embalado de las peras orgánicas. ARG, 2019.

Modalidad de trabajo	Suministro de agua		Cantidad de trabajo del empaque		Consumo de agua (l/mes)			
	Mes	Caudal l/día	Días	Horas	Alimentación	Enjuague	Canal de descarte	Caudal
En caliente	ene-19	26.400	11	64,53	198.000	51.626,67	30.800,00	280.426,67
	feb-19	32.800	21	260,87	378.000	208.693,33	58.800,00	645.493,33
	mar-19	32.800	12	139,95	216.000	111.960,00	33.600,00	361.560,00
En frío	mar-19	32.800	5	68,02	90.000	54.413,33	14.000,00	158.413,33
	abr-19	32.800	12	158,07	216.000	126.453,33	33.600,00	376.053,33
	may-19	26.400	1	8,00	18.000	6.400,00	2.800,00	27.200,00
Consumo de agua total de las dos modalidades de trabajo								1.849.146,67

Tabla 20. Consumo de agua potable por UF según la modalidad de trabajo. ARG, 2019.

Modalidad de trabajo	Agua potable de la RED		Fruta embalada	Agua utilizada
	Mes	Caudal	Kg	m ³ / UF
		m ³		
En caliente	ene-19	280,43	327.009,40	0,0009
	feb-19	645,49	1.196.253,60	0,0005
	mar-19	361,56	750.502,82	0,0005
En frío	mar-19	158,41	324.765,70	0,0005
	abr-19	376,05	834.212,00	0,0005
	may-19	27,20	20.624,20	0,0013
Promedio ponderado de las dos modalidades de trabajo				0,0007

Para el consumo de GLP como combustible de los autoelevadores se consideró el movimiento de los bins al ingreso, o sea el manejo de la fruta como materia prima provenientes de las chacras, el traslado de bins hacia la sección de alimentación de la línea de empaque y el traslado de los palés desde el empaque hacia el pre-frío y luego a las cámaras de conservación. Para cada una de estas etapas, el consumo de GLP en gr por UF fue de 0,0513 para el ingreso de la materia prima, 0,0239 para el ingreso de bins al hidromersor de la sección de alimentación y 0,0310 para el movimiento de palés ya embalados. En total, la sumatoria de todos estos movimientos da un consumo de 0,1062 gr de GLP/UF (Tabla 21).

Tabla 21. Consumo de combustible GLP (g/UF) utilizado por los autoelevadores en el movimiento y traslado de bins y palés. ARG, 2019.

Movimientos de fruta	Bins (n)	Uso autoelevador (h)	Garrafas GLP (n)	gr de GLP/UF
Ingreso de bins	14.172	118,10	11,81	0,0513
Bins en la alimentación	13.199	55,00	5,50	0,0239
Palés embalados	2.856	71,41	7,14	0,0310
Total general	30.228	244,51	24,45	0,1062

Para el uso de aceite lubricante se obtuvo un consumo de 0,0379 gr/UF (Tabla 22). En este cálculo se consideró que del total adquirido en el año 2019 (177 kg), el 74% correspondió al consumo necesario para el acondicionamiento y empaque de las peras. Con este mismo razonamiento se computó el consumo de R-717 en 0,1607 gr /UF, donde se adquirieron 750 kg del refrigerante para la conservación general de peras y manzanas.

Tabla 22. Consumo de Aceite lubricante y R-717 (g/UF) utilizado en los equipos e instalaciones frigoríficas. ARG, 2019.

Concepto	Lubricante (Aceite)	R-717 (Refrigerante)
Cantidad adquirida (g)*	176710,00	750000,00
Peras embaladas (kg)	3.453.368	
gr /UF	0,0379	0,1607

*del total adquirido para el aceite lubricante y el R-717 se utilizó el 74% debido a que este fue el porcentaje de ocupación de las peras en el establecimiento.

4.1.4 Insumos relacionados con el embalado en la etapa poscosecha

En la tabla 23 está detallado el ICV para los insumos relacionados directamente con el packaging, es decir los envases y materiales de empaque para cada uno de los escenarios de embalaje planteados en esta investigación. Estos datos del inventario son los que posteriormente se utilizarán para el cálculo de la HC.

La caja Estándar telescópica es el envase que más materiales utiliza al momento del embalado de la fruta con un valor de 1,15 kg, mientras que el envase Plateaux es el que requiere menor cantidad de materiales cuyo valor ronda los 0,66 kg.

En función de estos escenarios de embalaje y el porcentaje de uso de cada uno de estos envases en el acondicionamiento de peras orgánicas durante el año 2019, se adquirió el aporte relativo por UF que cada uno de ellos tuvo al promedio ponderado. Puede verse en la tabla 24 que la caja ½ Mark IV es el envase que más se ha utilizado y el que aporta 48,49 g/UF seguido por la caja Estándar telescópica con 23,83 g/UF. Estos dos envases concentran el 77,15% de los envases utilizados por la empresa para el acondicionamiento de las peras orgánicas.

Tabla 23. Materiales necesarios para montar los diferentes tipos de embalajes en las peras orgánicas frescas, incluyendo los materiales para preparar la unidad de carga (palés) para el transporte. ARG, 2019.

Materiales para embalado		Escenarios según tipo de envase			
		Estándar	SAF	Plateaux	1/2 Mark IV
Componente	Material	Telescópica	Telescópica	Encastre	Telescópica
		Información en gr			
Caja	Cartón corrugado	1126	809	590	575
Bandeja	PMC				140
Bandeja	PET			35	
Bolsa	PEBD	25	23	30	30
Ecopack*	Cartón corrugado				20
Papel	Celulosa				50
Total material (kg)		1,15	0,83	0,66	0,82
Forma de embalar una pieza		Manual	Manual	Manual	Manual
Peso neto de fruta por recipiente (kg)		18	15	7	10
Materiales para la unidad de carga**					
Componente	Material	Información en kg			
Tapa palés	Cartón corrugado	1,8			
Palés	Madera	16,5			
Hebilla	Acero	0,11			
Flejes	PEAD	0,35			
Esquineros	Cartón corrugado	3,6			
Número de cajas por palés		8 X 8	10 X 9	5 X 18	7 X 15
		64	90	90	105

Referencias: PCM = Pulpa de celulosa moldeada, PET = Tereftalato de polietileno, PEBD = Polietileno de baja densidad, PEAD = Polietileno de alta densidad

*Es la protección superior del envase.

** Los materiales para el armado de la unidad de carga “Palés” es el mismo para todas las cajas.

Tabla 24. Aporte relativo por tipo de envase para los materiales utilizados en el embalaje de peras orgánicas frescas, incluyendo los materiales para preparar la unidad de carga (palés) para el transporte. Los valores se dan por UF (1 kg de peras). ARG, 2019.

Tipo de envase	Porcentaje ponderado (%)	Materiales (g/UF)	Aporte relativo por envase (g/UF)
Estándar	29,15	81,75	23,83
SAF	21,07	70,66	14,89
Plateaux	1,78	128,98	2,29
1/2 Mark IV	48,00	101,03	48,49
Total ponderado			89,50

4.1.5 Datos finales de consumos directos para la etapa poscosecha para los escenarios de almacenamiento

Todos los insumos directos del ICV requeridos en la cadena poscosecha para los tres escenarios de pre-frío y conservación frigorífica se presentan en la tabla 25. Estos datos del inventario son los que posteriormente se requerirán para el cálculo de la HC. En la misma tabla se puede observar el promedio ponderado según el aporte relativo que tuvo cada uno de los escenarios en función del proceso unitario evaluado y el insumo utilizado. En promedio, por kilogramo de pera orgánica lista para su consumo (UF), se necesitaron 0,1995 Kw h de energía eléctrica, 89,50 g de materiales para su embalaje, 0,1607 g de R-717 en el circuito frigorífico, 0,0829 g de combustible GLP para el movimiento de los autoelevadores, 0,0379 g de aceites lubricantes para el mantenimiento de los equipos y 0,0007 m³ de agua potable.

Cuando analizamos el consumo de energía eléctrica (Figura 18) en el Escenario 1 donde la fruta se procesa “en caliente” directamente a la llegada de la chacra, el mayor consumo de electricidad se da en el túnel de pre-frío de palés terminados, con un 0,0544 Kw h/UF, seguido de la conservación en cámara frigorífica con un 0,0294 Kw h/UF. Para el Escenario 2 donde la fruta se procesa “en frío”, la refrigeración inicial y la refrigeración para la fruta acondicionada y empacada tuvo un consumo de 0,0803 Kw h/UF en los túneles de pre-fríos y 0,0721 Kw h/UF en las cámaras de conservación. Mientras que el Escenario 3 donde la fruta también se procesa “en frío” el consumo de los túneles de pre-fríos fue de 0,0803 Kw h/UF y el consumo eléctrico de las cámaras de conservación fue de 0,1148 Kw h/UF. Esta diferencia en los consumos se da básicamente por los días que la fruta pasa en las cámaras frigoríficas según cada escenario planteado.

Tabla 25. Insumos del proceso de poscosecha de peras orgánicas frescas. Los valores se dan por UF (1 kg de peras) para los 3 Escenarios de pre-frío y conservación frigorífica en cada uno de los procesos unitarios establecidos en los límites del sistema evaluado. ARG, 2019.

Procesos unitarios de la Planta de empaque/Frigorífico	Insumo	Consumos directos			Promedio ponderado*
		Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	
Recepción y manejo interno de bins y palés	GLP (g/UF)	0,0549	0,1062	0,1062	0,0829
Frigorífico. Refrigeración inicial					
Pre-enfriamiento bins	Electricidad (Kw h/UF)		0,0260	0,0260	0,0260
Conservación de bins	Electricidad (Kw h/UF)		0,0427	0,0855	0,0712
Circuito frigorífico	Lubricante (g/UF)	0,0379**	0,0379	0,0379	0,0379
	R-717 (g/UF)	0,1607**	0,1607	0,1607	0,1607
Acondicionamiento y empaque					
desde la Alimentación hasta la Clasificación	Electricidad (Kw h/UF)	0,0083	0,0072	0,0072	0,0185
desde el Tamañado hasta el Romaneo y estibado	Electricidad (Kw h/UF)	0,0111	0,0097	0,0097	
Planta de empaque	Agua (m ³ /UF)	0,0006	0,0008	0,0008	0,0007
	Materiales: envase y embalaje (g/UF)	89,50	89,50	89,50	89,50
Frigorífico. Refrigeración para la fruta acondicionada y empacada					
Pre-enfriamiento palés	Electricidad (Kw h/UF)	0,0544	0,0544	0,0544	0,0544
Conservación de palés	Electricidad (Kw h/UF)	0,0294	0,0294	0,0294	0,0294

Referencias: El Escenario 1 corresponde a la fruta que se procesó “en caliente” directamente a la llegada de la chacra. En el Escenario 2 la fruta se procesó “en frío” con una duración del pre-frío de 2 días y de la conservación frigorífica de los bins de 15 días, mientras que el Escenario 3 donde la fruta también se procesó “en frío” el periodo de conservación de los bins perduró 30 días.

* El promedio ponderado es un dato obtenido mediante el aporte relativo de cada insumo en cada escenario evaluado según el porcentaje de fruta embalada “En caliente” y “En frío”, en el año 2019.

** Si bien este escenario no tiene refrigeración inicial, se contabiliza el lubricante y el R-717 de forma general a todo el sistema de refrigeración.

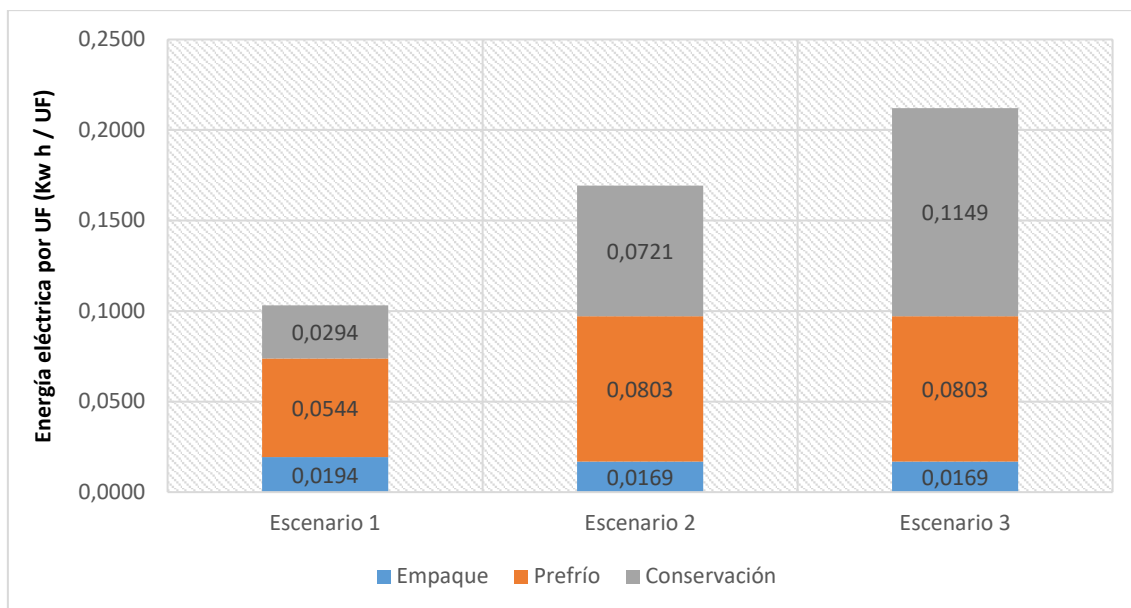


Figura 18. Consumo de energía eléctrica en kW h por kilogramo de peras orgánica fresca (kW h/UF) para la planta de empaque, los pre-fríos (palés y bines) y la conservación en cámara frigorífica (palés y bines) en cada escenario de almacenamiento. El Escenario 1 corresponde a la fruta que se procesó “en caliente” directamente a la llegada de la chacra. En el Escenario 2 la fruta se procesó “en frío” con una duración del pre-frío de 2 días y de la conservación frigorífica de los bines de 15 días, mientras que el Escenario 3 donde la fruta también se procesó “en frío” el periodo de conservación de los bines perduró 30 días. ARG, 2019.

4.2 Contribución de los procesos unitarios a la HC: Impacto por Unidad Funcional

Con los datos del ICV de los insumos del proceso de poscosecha de peras frescas por UF (1 kg de peras orgánicas frescas) en los 3 escenarios de pre-frío y conservación frigorífica evaluados, se calculó la HC y el impacto que cada uno de ellos tuvo sobre la misma.

4.2.1 Participación de los procesos unitarios de poscosecha en la HC

El uso de la electricidad en los procesos poscosecha es el que más emisiones de GEI produce en los 3 escenarios planteados. La refrigeración de fruta acondicionada y empacada aporta 35,85 g CO₂ eq/UF en el Escenario 1, siendo el pre-frío de palés el que aporta el mayor impacto por kilogramo de pera orgánica (Tabla 26). En este escenario donde la fruta se procesa “en caliente” se obtuvo una HC de 44,65 g CO₂ eq/UF siendo el de menor emisión de GEI en todos los procesos unitarios del establecimiento de empaque y frigorífico.

Tabla 26. HC (g de CO₂eq.) en la cadena de poscosecha de 1 kg de peras orgánicas frescas (Unidad Funcional) para los 3 escenarios de pre-frío y conservación frigorífica. ARG, 2019.

Procesos unitarios de la Planta de empaque/Frigorífico	Insumo	HC (g CO ₂ eq/UF)		
		Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Recepción y manejo interno de bins y palés	GLP	0,16	0,32	0,32
Pre-enfriamiento bins	Electricidad		11,11	11,11
Conservación de bins	Electricidad		18,29	36,58
Circuito frigorífico	Lubricante	0,11	0,11	0,11
	R-717	0,0002	0,0002	0,0002
Subtotal		0,11	29,51	47,80
Acondicionamiento y empaque				
desde Alimentación hasta Clasificación	Electricidad	3,55	3,09	3,09
desde Tamañado hasta Romaneo y estibado	Electricidad	4,76	4,14	4,14
Planta de empaque	Agua	0,21	0,26	0,26
Subtotal		8,52	7,49	7,49
Frigorífico. Refrigeración para la fruta acondicionada y empacada				
Pre-enfriamiento palés	Electricidad	23,27	23,27	23,27
Conservación de palés	Electricidad	12,58	12,58	12,58
Subtotal		35,85	35,85	35,85
Total general de todos los procesos		44,65	73,17	91,46

Referencias: El Escenario 1 corresponde a la fruta que se procesó “en caliente” directamente a la llegada de la chacra. En el Escenario 2 la fruta se procesó “en frío” con una duración del pre-frío de 2 días y de la conservación frigorífica de los bins de 15 días, mientras que el Escenario 3 donde la fruta también se procesó “en frío” el periodo de conservación de los bins perduró 30 días.

Para el Escenario 2 y 3 las diferencias se dan en la refrigeración inicial de la fruta como materia prima pre-enfriada y guardada en bins. En la tabla 26 puede observarse que para el Escenario 2 este proceso causó 29,51 g CO₂ eq/UF mientras que para el Escenario 3 fue de 47,80 g CO₂ eq/UF, siendo la causa de las diferencias los días en que se guardó la fruta en bins en la cámara frigorífica. Para la fruta que se procesó “en frío” la HC que se obtuvo fue mayor que para la fruta que se procesó “en caliente”, siendo de 73,17 g CO₂ eq/UF en el Escenario 2 y de 91,46 g CO₂ eq/UF en el Escenario 3.

En cuanto al impacto de los otros insumos del ICV, se observó que el uso de GLP como combustible de los autoelevadores produjo una emisión que fue de 0,16 a 0,32 g CO₂ eq/UF dependiendo de la cantidad de movimientos efectuados para el traslado de bins y palés. Le sigue en relevancia el uso de agua potable de la red pública de la localidad que

se utilizó para el acondicionamiento de la fruta, con valores que van desde 0,21 a 0,26 g CO₂ eq/UF.

4.2.2 Participación de embalaje en la HC

La HC (g CO₂ eq.) de los cuatro métodos de envasado utilizados en el año 2019 por la empresa se presentan en la tabla 27. El PCG deriva principalmente del CO₂ emitido por los combustibles fósiles utilizados durante la producción y procesamiento de la materia prima para la creación de los envases y materiales de empaque; esto se ve reflejado en los FE utilizados (Anexo 3).

El envase que más emisiones produjo fue el Plateaux con 174,38 g CO₂ eq/UF, siendo el cartón corrugado utilizado por la caja el que más aportó al impacto generado seguido por las bandejas de PET y la bolsa de PEBD.

Le continuó en importancia la caja ½ Mark IV con 145,11 g CO₂ eq/UF. Si bien el cartón corrugado fue el componente que más aportó a las emisiones de GEI de este envase, este valor (103,04 g CO₂ eq/UF) fue menor que para el Plateaux y la caja Estándar. La gran cantidad de materiales acompañantes necesarios para el embalaje de la fruta, como bandejas de PCM, bolsa de PEDB, ecopack y papel, hizo que aumentara su impacto.

Las cajas Estándar y la SAF produjeron menores emisiones de CO₂ eq con valores de 114,16 y 98,92 g CO₂ eq/UF respectivamente. El mayor aporte se debe a la utilización del cartón corrugado en ambos casos. También, en estos envases se utiliza bolsa de PEBD para proteger la fruta de la deshidratación, pero no llevan bandejas de PCM separadoras de camada, haciendo que su impacto sea menor que el resto de los envases de cartón.

Las emisiones de CO₂ para los materiales utilizados en la unitarización de carga, es decir por palés, son muy baja con valores entre 0,01 y 0,03 g CO₂ eq/UF. Estos valores corresponden a la utilización de palés de madera, flejes de PEAD, hebillas de acero y esquineros de cartón.

Los valores finales para los envases modelados en esta investigación fueron, 174,41 g CO₂ eq/UF para la caja Plateaux, 145,13 g CO₂ eq/UF para la caja ½ Mark IV, 114,17 g CO₂ eq/UF para la caja Estándar y 98,93 g CO₂ eq/UF para la caja SAF.

Tabla 27. HC para el embalaje de fruta en la poscosecha. El impacto esta expresado en gramos de CO₂ eq, y los resultados se refieren a la UF (1 kg de peras), para los cinco escenarios preestablecidos en este estudio. ARG, 2019.

Materiales para embalado		Tipo de envase			
		Estándar	SAF	Plateaux	1/2 Mark IV
		Telescópica	Telescópica	Encastre	Telescópica
Componente	Material	HC (g CO _{2eq} /UF)			
Caja	Cartón corrugado	112,0996	96,6485	151,0400	103,0400
Bandeja	PCM				25,0880
Bandeja	PET			17,0000	
Bolsa	PEBD	2,0556	2,2693	6,3429	4,4400
Ecopack*	Cartón corrugado				3,5840
Papel	Celulosa				8,9600
Total HC por envase		114,16	98,92	174,38	145,11
Materiales para la unidad de carga					
Componente	Material	HC (g CO _{2eq} /UF)			
Tapa palés	Cartón corrugado			0,0051	
Palés	Madera	0,0097	0,0083	0,0178	0,0107
Hebilla	Acero	0,0003	0,0002	0,0005	0,0003
Flejes	PEAD	0,0005	0,0004	0,0009	0,0006
Esquineros	Cartón corrugado	0,0055	0,0047	0,0101	0,0061
Total HC por palés		0,02	0,01	0,03	0,02
Total HC por unidad de carga		114,17	98,93	174,41	145,13

Referencias: PCM = Pulpa de celulosa moldeada, PET = Tereftalato de polietileno, PEBD = Polietileno de baja densidad, PEAD = Polietileno de alta densidad

*Es la protección superior del envase.

Cuanto mayor sea la cantidad de materiales de embalaje utilizado en los envases, mayor será la HC con una alta correlación ($R^2 = 0,9903$) (Figura 19). La caja Plateaux emite la mayor cantidad de CO₂ eq/UF y eso es debido a la gran cantidad de materiales de empaque por kilogramo de fruta empacada (128,98 g/UF).

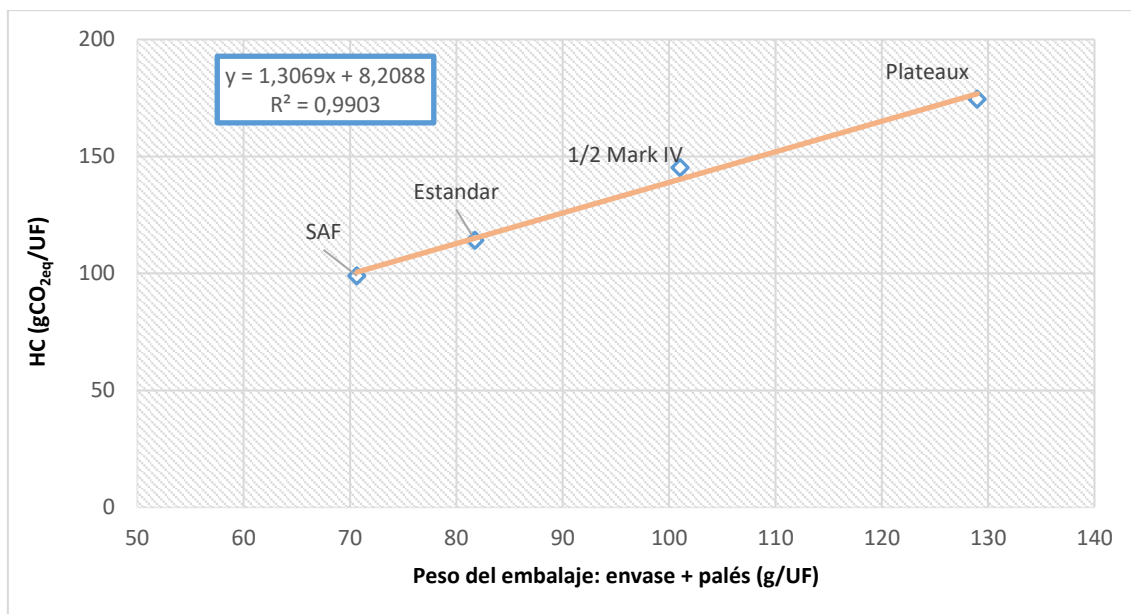


Figura 19. Correlación entre el peso de los embalajes utilizados en 1 Kg de peras orgánicas frescas y la HC (g de CO₂ eq.) para todos los envases y sus respectivos materiales acompañantes. ARG, 2019.

En el año 2019 la empresa utilizó el envase ½ Mark IV en un 48,00% para el embalado de las peras orgánicas seguido por la caja Estándar con un 29,15% y la caja SAF en un 21,07%. En mucha menor proporción se encuentra el Plateraoux con un 1,78% (Tabla 28 y Figura 20). En función de este porcentaje de uso y las HC calculadas para cada envase se computó el aporte relativo a la HC. En la tabla 27 se observa que el envase Plateaux es el que más emisiones de CO₂eq/UF presentó, pero se utilizó en muy baja proporción por lo cual su aporte a la HC es bajo. El mayor aporte a la HC fue el del envase ½ Mark IV porque se utilizó en gran proporción y a su vez presentó gran cantidad de emisiones.

La HC promedio del embalaje de peras orgánicas listas para consumir fue de 126,89 g CO₂ eq/UF, donde la caja ½ Mark IV aportó 69,66 g CO₂ eq/UF, la Estándar el 33,29 g CO₂eq/UF, la SAF el 20,85 g CO₂ eq/UF y el Plateaux el 3,10 g CO₂ eq/UF.

Tabla 28. Aporte relativo de la HC (g de CO₂ eq) de 1 Kg de peras orgánicas frescas (UF) de acuerdo al tipo de envase y su porcentaje de uso en el embalado. ARG, 2019.

Tipo de envase	Porcentaje ponderado (%)	HC (g CO ₂ eq/UF)	Aporte relativo de la HC de acuerdo al envase usado (g CO ₂ eq/UF)
Estándar	29,15	114,17	33,29
SAF	21,07	98,93	20,85
Plateaux	1,78	174,41	3,10
1/2 Mark IV	48,00	145,13	69,66
HC total ponderado			126,89

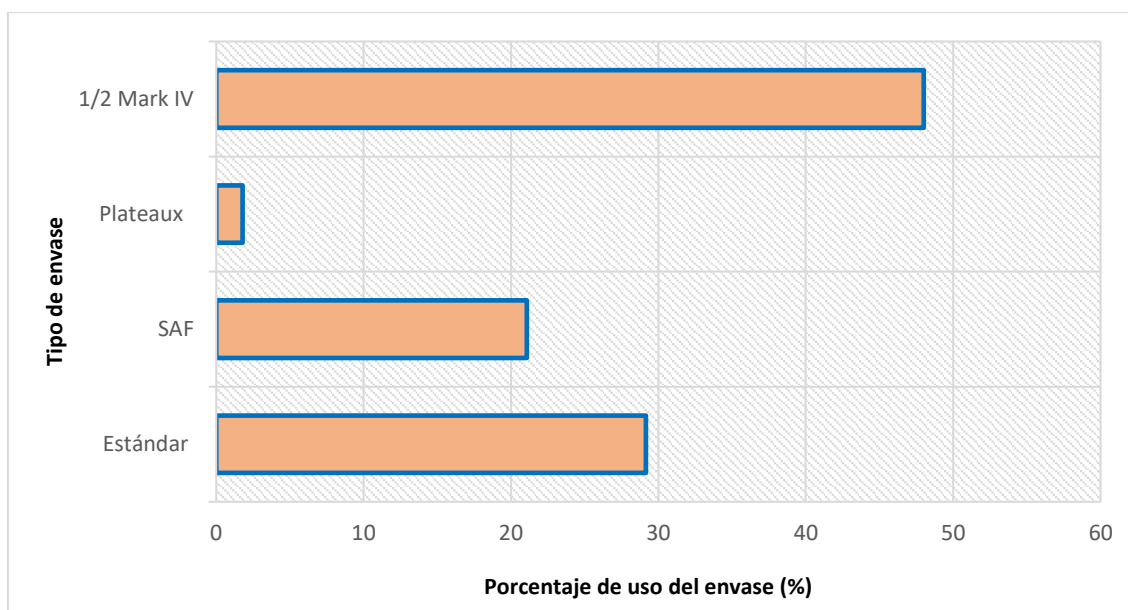


Figura 20. Porcentaje de uso según el envase durante el acondicionamiento de las peras orgánicas. ARG, 2019.

4.2.3 Participación del transporte en la HC

Las emisiones específicas de GEI y los datos relevantes para cada tipo de transporte considerado en este estudio se observan en la tabla 29 y los FE utilizados en los cálculos en el Anexo 3.

El CO₂ de los combustibles fósiles emitidos durante el transporte fue responsable casi en su totalidad del PCG de todos los procesos asociados con el traslado de la fruta (Figura 21).

Las mayores emisiones de GEI se observaron en el transporte internacional al puerto de Petersburgo (Rusia) con una HC de 381,86 g CO₂ eq/UF seguido del transporte internacional al puerto Filadelfia (Estados Unidos) con 312,10 g CO₂ eq/UF. La

distribución de la fruta a los mayoristas nacionales, provincia de Buenos Aires, produjo la menor emisión con 144,28 g CO₂ eq/UF.

Si se relacionan los g CO₂ eq/UF con los kilómetros recorridos en la ruta de producto puede verse que el transporte por camión refrigerado en la ruta emite más GEI que el transporte interoceánico por buque en contenedor refrigerado. Por ello, si las distancias del recorrido para la llegada al mayorista fueran iguales, el uso de buque podría conducir a una reducción significativa en los efectos ambientales, especialmente si se trata de largas distancias.

En la empresa donde se realizó el estudio, el destino de la fruta orgánica en fresco es principalmente el de exportación, y en el año 2019 se exportó 63,59% a Estados Unidos y el 26,15% a Rusia. Estos porcentajes de distribución del producto comercializado fueron tenidos en cuenta para estimar el aporte relativo de cada escenario modelado para el cálculo de la HC (Tabla 30). El transporte al puerto de Petersburgo (Rusia) aportó 198,5 g CO₂ eq/UF, el transporte internacional al puerto Filadelfia (Estados Unidos) aportó 99,9 g CO₂ eq/UF y el aporte del transporte nacional a la provincia de Buenos Aires fue de 14,8 g CO₂ eq/UF. La HC por el transporte de las peras embaladas a mayoristas se estimó en 313,1 g CO₂ eq/UF mientras que la HC para el transporte de las peras desde la chacra hasta la planta de empaque fue de 9,0 g CO₂ eq/UF.

Tabla 29. HC (g CO₂ eq) de 1 Kg de peras orgánicas frescas (UF) generada por el transporte local, nacional e internacional. ARG, 2019.

Transporte	Ruta de Producto	Km promedios	Carga transportada (tn)	HC (g CO ₂ eq/UF)
Local*	de la Chacra a la Planta de Empaque y Frigorífico	27	6,10	9,00
Nacional	de la Planta de Empaque y Frigorífico a Buenos Aires	1.081	23,04	144,28
Internacional	de la Planta de Empaque y Frigorífico al Puerto SAE	408	23,04	381,86
	del Puerto SAE al Puerto San Petersburgo (Rusia)	14.436		
	de la Planta de Empaque y Frigorífico al Puerto SAE	408	22,05	312,10
	del Puerto SAE al Puerto Filadelfia (Estados Unidos)	11.360		

Referencias: SAE = Puerto de San Antonio Este, Provincia de Río Negro, Argentina.

*Para el transporte local se ha considerado que el 37,52% del total de la fruta transportada se descarta en las sucesivas etapas de la cosecha.

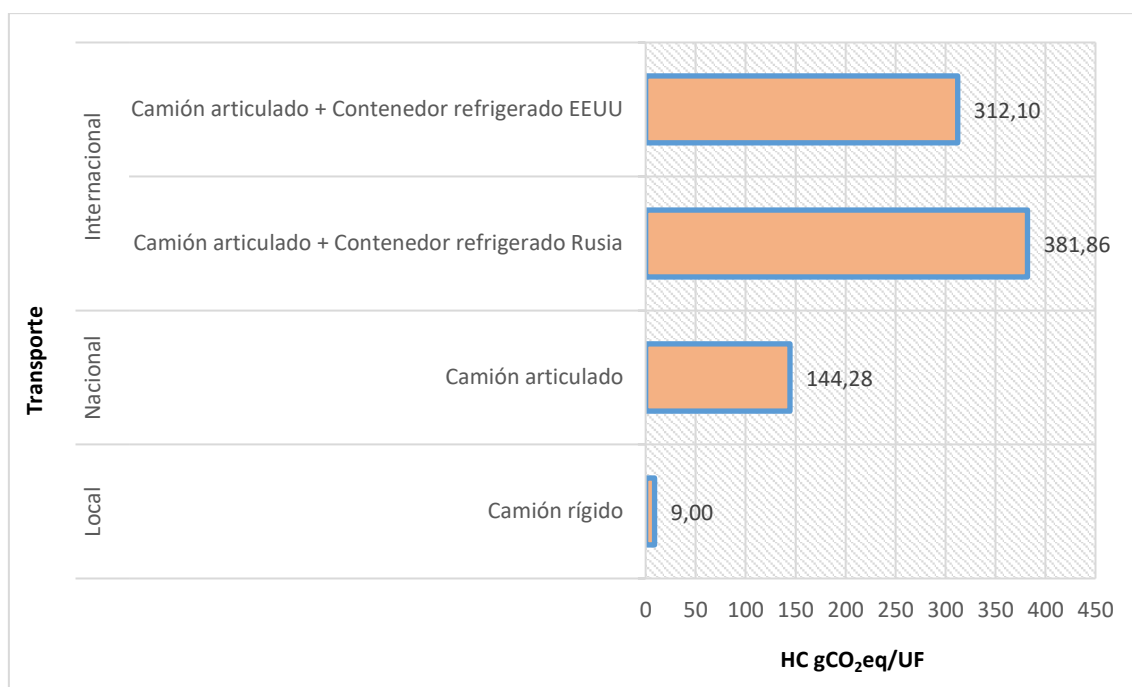


Figura 21. HC (g CO₂eq/UF) del transporte. El transporte local hace referencia al traslado de la fruta orgánica desde la chacra a la planta de empaque y frigorífico, el transporte nacional al traslado de la fruta embalada desde de la planta de empaque y frigorífico al mercado mayorista de Buenos Aires y el transporte internacional al traslado de la fruta embalada desde de la planta de empaque y frigorífico a los mayoristas de Estados Unidos y Rusia saliendo del puerto de San Antonio Este (SAE) en la provincia de Río Negro-Argentina. ARG, 2019.

Tabla 30. HC (g CO₂ eq) de 1 Kg de peras orgánicas frescas (UF) a través del aporte relativo del tipo de transporte y su correspondiente porcentaje para el traslado local de la materia prima y el transporte nacional e internacional de la fruta orgánica embalada a los mayoristas. ARG, 2019.

Transporte	Medio de transporte	Porcentaje (%)	HC (g CO ₂ eq/UF)	Aporte relativo (g CO ₂ eq/UF)	Total ponderado
Local	Camión rígido	100	9,00	9,0	9,0
Nacional	Camión articulado	10,26	144,28	14,8	
Internacional	Camión articulado + Contenedor refrigerado Rusia	26,15	381,86	99,9	313,1
	Camión articulado + Contenedor refrigerado Estados Unidos	63,59	312,10	198,5	

El transporte local hace referencia al traslado de la fruta orgánica desde la chacra a la planta de empaque y frigorífico, el transporte nacional al traslado de la fruta embalada desde de la planta de empaque y frigorífico al mercado mayorista de Buenos Aires y el transporte internacional al traslado de la fruta embalada desde de la planta de empaque y frigorífico a los mayoristas de Estados Unidos y Rusia saliendo del puerto de San Antonio Este (SAE) en la provincia de Río Negro-Argentina.

4.3 HC del sistema analizado

La HC en la etapa posterior a la cosecha de las peras fue de 534,98 g CO₂ eq/UF. Este valor corresponde al aporte relativo de cada uno de los escenarios modelados y al destino de exportación por ultramar. El mayor aporte a la HC fue el del transporte nacional e internacional de la fruta embalada hasta los mayoristas con 313,13 g CO₂ eq/UF que representa el 58% (Tabla 31 y Figura 22). Le sigue en importancia con un 25% el acondicionamiento y empaque cuyas emisiones fueron de 135,05 g CO₂ eq/UF las cuales corresponden principalmente a la utilización de envases y materiales para embalaje de la fruta.

Tabla 31. HC (g de CO₂ eq) de 1 Kg de peras orgánicas frescas (UF) en la etapa posterior a la cosecha de peras orgánicas, abarcando el transporte de la materia prima, la poscosecha (empaque y frigorífico) y el transporte de comercialización hasta mayoristas internacionales por exportación de ultramar. ARG, 2019.

Procesos unitarios	Insumo	HC (g CO ₂ eq/UF)	HC (g CO ₂ eq/UF) por proceso unitario
Transporte local (materia prima)	Transporte	9,0000	9,00
Recepción y manejo interno de bins y palés	GLP	0,2477	0,25
Frigorífico. Refrigeración inicial			
Pre-enfriamiento bins	Electricidad	11,1075	41,70
Conservación de bins	Electricidad	30,4840	
Circuito frigorífico	Lubricante	0,1116	
	R-717	0,0002	
Acondicionamiento y empaque			
desde Alimentación hasta Romaneo y estibado	Electricidad	7,9307	135,05
Envase y embalaje	Materiales	126,8890	
Planta de empaque	Agua	0,2313	
Frigorífico. Refrigeración para la fruta acondicionada y empacada			
Pre-enfriamiento palés	Electricidad	23,2708	35,85
Conservación de palés	Electricidad	12,5822	
Transporte Nacional e Internacional (embalado)	Transporte	313,1255	313,13
HC total de todos los procesos		534,98	

El uso de las instalaciones frigoríficas para el pre-enfriado y la conservación de la fruta produjo en total 77,80 g CO₂ eq/UF (41,70 de refrigeración inicial, 35,85 de refrigeración

de fruta orgánica empacada y 0,25 manejo interno de bines y palés) que corresponden al 15% de la HC total y se debe principalmente al uso de energía eléctrica.

En la figura 22 puede verse que el transporte local de la materia prima desde la chacra hasta la planta de empaque y frigorífico es el que contribuye, en menor proporción, con un 2% a la HC final obtenida, correspondiente a 9 g CO₂ eq/UF.

Si analizamos los resultados de la etapa de poscosecha (Tabla 32) donde se alcanzó una HC de 212,85 g CO₂ eq/UF, podemos señalar que el mayor PCG lo tuvo el consumo de materiales para el empaque y embalaje de las peras frescas con 59,61% de las emisiones de GEI y le continuó en relevancia el uso de la energía eléctrica para los procesos de pre-enfriado, conservación y línea de empaque con un 40,11% debido al alto consumo energético de los mismos.

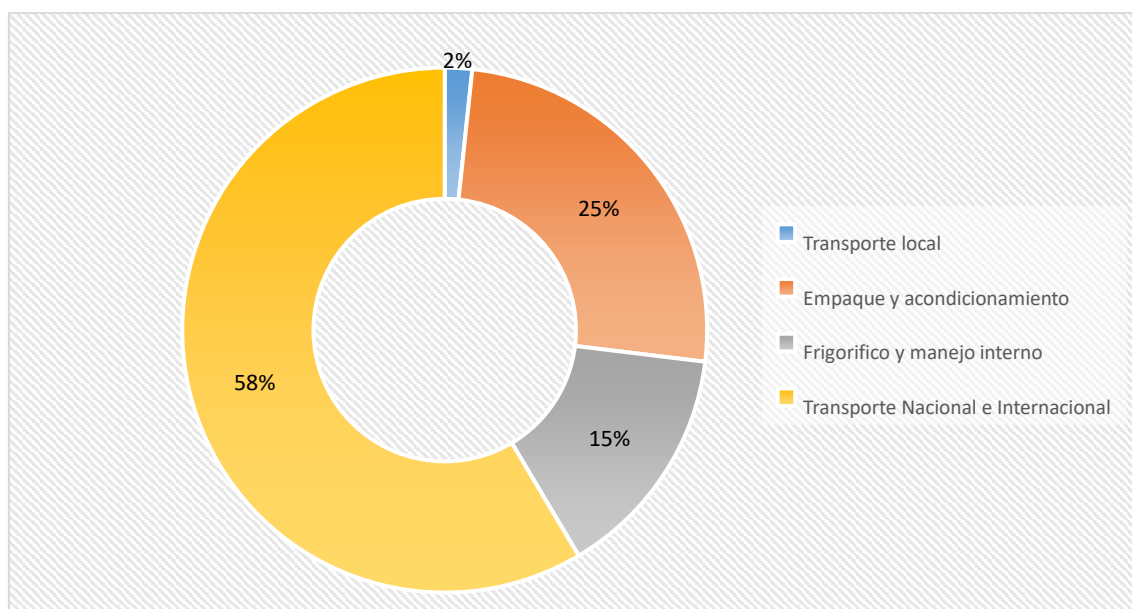


Figura 22. HC (%) de 1 Kg de peras orgánicas frescas (UF) abarcando el transporte de la materia prima, la poscosecha (empaque y frigorífico) y el transporte de comercialización hasta mayoristas. El transporte local hace referencia al traslado de la fruta orgánica desde la chacra a la planta de empaque y frigorífico, el transporte nacional al traslado de la fruta embalada desde de la planta de empaque y frigorífico al mercado mayorista de Buenos Aires y el transporte internacional al traslado de la fruta embalada desde de la planta de empaque y frigorífico a los mayoristas de Estados Unidos y Rusia. ARG, 2019.

Tabla 32. HC (g de CO₂ eq) de 1 Kg de peras orgánicas frescas (UF) en la planta de empaque y frigorífico. ARG, 2019.

Insumos	HC (g CO ₂ eq/UF)	Porcentaje (%)
GLP	0,2477	0,12
Electricidad	85,3752	40,11
Lubricante	0,1116	0,05
R-717	0,0002	0,00
Materiales: envase y embalaje	126,8890	59,61
Agua	0,2313	0,11
HC total del empaque y frigorífico	212,85	

La HC total, derivada del aporte relativo de cada uno de los escenarios modelados y del destino de exportación por ultramar, para la etapa posterior a la cosecha de la producción orgánica de peras durante 2019 fue de 534,98 g CO₂ eq/UF. La fase “transporte a mayorista” nacional e internacional aportó 313,13 g CO₂ eq/UF (el 58% de las emisiones de GEI), el enfriamiento y acondicionamiento y empaque 212,85 g CO₂ eq/UF (40%) y el “transporte local de la materia prima” de la chacra a la planta de empaque 9,00 g CO₂ eq/UF (2%).

Los escenarios de transporte modelados en esta investigación permitieron comprender cómo el modo y la distancia de transporte afecta el ciclo de vida de las peras. La comercialización de peras orgánicas frescas realizada por la empresa que se analiza en esta tesis es principalmente de exportación, representando en el año 2019 el 90% de sus ventas. El envío de la fruta para los mercados internacionales como Rusia y Estados Unidos se realiza exclusivamente en barcos y si bien las emisiones de GEI son altas, son más bajas que si la fruta fuera por transporte aéreo. En este sentido, Fernández *et al.* (2014) concluyeron que el transporte por avión produce 90% más de emisiones de GEI que el transporte por barco (1,577 g CO₂ eq/kg-km y 0,016 g CO₂ eq/kg-km respectivamente). Cuando estos investigadores analizaron el transporte terrestre por ferrocarril y por camión, el ferrocarril resultó ser menos contaminante en GEI y los valores fueron de 0,023 g CO₂ eq/kg-km para el transporte por ferrocarril y 0,160 g CO₂ eq/kg-km para el transporte por camión en ruta.

También para Frohmann *et al.* (2015) la cuantificación de las emisiones por medio de un ACV del producto permitió demostrar que el traslado internacional de bienes, realizado mayoritariamente por vía marítima, es una fuente de emisiones muy pequeña en relación con otras etapas de acondicionamiento y proceso. Los autores mencionaron el transporte aéreo y el terrestre por camión son los que más emiten, mientras que el transporte marítimo es el más eficiente. En esta misma línea, en un estudio realizado por la Organización Marítima Internacional (IMO, 2016) donde compararon las emisiones de CO₂ del transporte marítimo con otros medios de transporte concluyeron que un barco portacontenedores de 18.000 TEU emite 3 gramos CO₂ por cada tonelada y kilómetro frente a los 80 gramos que puede emitir un camión de unas 40 toneladas, o los 435 gramos de un avión de 113 toneladas. Con este estudio, se demuestra que el transporte marítimo

es una forma de transporte de mercancías mucho más eficiente que el transporte terrestre por camión o aéreo en cuanto a carbono se refiere.

Con respecto al envío de alimentos frescos, varios estudios indican que la refrigeración durante el transporte causa hasta el 40% de las emisiones totales durante el traslado. El transporte de alimentos refrigerados es aproximadamente 1,7 veces más intensivo en energía que el transporte de alimentos a temperatura ambiente (James y James, 2010; Baldwin, *et al.*, 2015).

En esta tesis, al relacionar los g CO₂ eq/UF-km en la ruta de producto pudo observarse que el transporte terrestre por camión refrigerado emitió más GEI que el transporte interoceánico por buque en container refrigerado. Los datos indicaron que al utilizar el transporte terrestre para el traslado del producto a mercados mayoristas nacionales como el mercado de la provincia de Buenos Aires se emitió 0,13 g CO₂ eq/UF-km mientras que para el traslado del producto a los mercados mayoristas internacionales como el mercado de San Petersburgo (Rusia) y Filadelfia (Estados Unidos) se emitió de 0,029 a 0,026 g CO₂ eq/UF-km respectivamente.

Boschiero *et al.* (2019) explicaron que el uso de barcos para el transporte de manzanas italianas condujo a una reducción significativa de los efectos ambientales con respecto al transporte terrestre por camión, especialmente para distancias superiores a 300 km. En su trabajo obtuvieron valores similares a los de esta investigación para el transporte terrestre por camión (0,16 g CO₂ eq/UF-km) pero las emisiones del transporte marítimo fueron inferiores (0,018 g CO₂ eq/UF-km). Los autores no especificaron los volúmenes de fruta transportados como tampoco el tipo de barco utilizado por lo que no se puede hacer una comparación minuciosa de los resultados aunque, podemos indicar que el nivel de emisiones de GEI está condicionado por el tipo de bien, el volumen comercializado, la distancia entre el lugar de producción y el mercado de destino, y el modo de transporte (Beccali *et al.*, 2009 y Frohmann *et al.*, 2015). Según Garnett *et al.* (2003) otro aspecto que condiciona el cálculo de la HC con respecto al transporte es la eficiencia de la cadena de suministro, que a su vez esta influenciada por el tamaño del vehículo, la eficiencia del combustible, si la carga es total o parcial y la forma en que se mantiene y opera.

La disminución de emisiones del transporte marítimo con respecto al terrestre también fue coincidente con los resultados de Keyes *et al.* (2015) donde ellos concluyeron que el transporte de manzanas en barco fue más favorable en términos de emisiones de GEI que el traslado por camión, cuando las distancias del recorrido eran mayores de 4000 km.

Yáñez Espinoza *et al.* (2010) estimaron que el transporte de manzanas chilenas desde el puerto de San Antonio (Chile) hasta el puerto de Filadelfia (Estados Unidos) representó el 25,6% de la HC total. El recorrido realizado fue de aproximadamente de 8.522 km y se emitieron 256,9 g CO₂ eq/UF. Por lo que el transporte marítimo produjo 0,030 g CO₂ eq/UF-km, valor que está en rango de magnitud a los obtenidos en esta tesis.

Para Lescano (2019) la fuente de emisión que más contribuye a la HC del limón exportado con un 70% es la distribución del producto hacia el exterior por transporte marítimo desde puerto argentino hasta los centros de distribución en puertos internacionales como Rotterdam (Países Bajos) y San Petersburgo (Rusia). Según la autora, este valor ronda los 400 g CO₂ eq/kg de limón fresco manteniéndose la tendencia de altas emisiones de GEI por el transporte marítimo de productos frescos desde nuestro país hacia el hemisferio norte.

Se sabe que el comercio de bienes implica por definición el transporte de mercancías desde el lugar de producción al lugar de consumo. Por ello, la expansión del comercio internacional provoca un aumento de la utilización de los servicios de transporte y, por ende, del consumo de combustibles fósiles y de las emisiones de GEI.

Desde la perspectiva de esta empresa exportadora radicada en la Patagonia argentina, sus mercados de consumo son lejanos por lo que el modo de transporte adquiere una relevancia que se ve reflejada en la HC obtenida. Ante este escenario, y debido a la ubicación geográfica desfavorable en la que se encuentra nuestro país con respecto al principal mercado para la venta de fruta fresca (hemisferio norte), a menos que se desarrollen estrategias de mitigación del cambio climático confiables por parte de las empresas frutícolas regionales, el actual sistema productivo se encontrará en un futuro no muy lejano en una situación desfavorable en términos de HC con respecto a sus principales competidores como Sudáfrica, Nueva Zelanda y Chile.

Por su parte, de las 3 fases que abarcó el límite del sistema estudiado en esta tesis, el traslado de la materia prima “transporte local” en camiones sin refrigeración desde las chacras hasta la planta de empaque (27 km promedio) aportó sólo 9,00 g CO₂ eq/UF siendo el 2% de la HC total. Este desplazamiento de la fruta orgánica en bins emitió 0,33 g CO₂ eq/UF-km representando la mayor emisión de GEI por kilómetro de todos los escenarios de transporte modelados en esta tesis, aunque su aporte a la HC total es bajo debido a los pocos kilómetros transitados. Valores de emisión de GEI de 10,64 CO₂ eq/UF fueron publicados por Boschiero *et al.* (2019) para el traslado de manzanas a una distancia de 50 km, indicando que los transportes a corta distancia generaron los menores efectos

ambientales. Por su parte, Lescano (2019) obtuvo valores similares en rango de magnitud con 8,00 g CO₂ eq/kg de limón fresco en la provincia de Tucumán, Argentina, con una distancia de 38 km desde la chacra hasta la planta de empaque.

La HC en la planta de empaque y frigorífico para 1 kg de peras orgánicas frescas (fase “Poscosecha”) obtenida en esta investigación fue de 212,85 g CO₂ eq. Los resultados de Boschiero *et al.* (2019) para 1 kg de manzana con similares características en el manejo poscosecha, a pesar de ser otra especie de fruta, fue de 164,5 g CO₂ eq/Kg; mientras que los resultados obtenidos por Longo *et al.* (2017) para una cadena de suministro de manzanas de producción orgánica fue de 256 g CO₂ eq/kg. Vinyes *et al.* (2017) reportaron una HC total (desde la producción hasta el consumidor) para manzana de 302 g CO₂ eq/Kg. El mayor aporte de las emisiones de GEI con el 39% correspondió a la etapa de acondicionamiento, conservación y distribución de la fruta con 117,24 g CO₂ eq/Kg. Los autores mencionaron que el principal impacto en la etapa posterior a la cosecha se debió al consumo de combustible para el transporte y a la energía eléctrica consumida en las cámaras frigoríficas.

En el año 2015, Keyes *et al.* reportaron una HC de 193 g CO₂ eq/kg para el almacenamiento y empaque de manzanas en Canadá sin hacer distinción de las emisiones de cada uno de los procesos. McLaren *et al.* (2010) empleando el método del ACV, calcularon que la etapa de enfriamiento y empaque de manzanas en Nueva Zelanda generó 57,6 g CO₂ eq/kg. Para Cerutti *et al.* (2011) el PCG para el almacenamiento, el envasado y el transporte de manzanas italianas puede ir desde 3,8 a 122 g CO₂ eq por kg, de acuerdo con las diferentes cadenas de suministro (es decir, venta directa, mercados frescos y centros de distribución regionales).

Yáñez Espinoza *et al.* (2010) estimaron que la HC en manzanos fue de 1006,1 g CO₂ eq/kg de fruta por año en Chile, bajo el sistema productivo convencional. En ese mismo estudio se determinó que el 67,3% de las emisiones totales correspondían a la etapa de empaque, el 25,6% al transporte y solo el 7,2% a la etapa de producción. El 67,3% de las emisiones totales equivalen a 676,9 g CO₂ eq/kg de manzana emitido durante la etapa poscosecha aunque no puede disgregarse este valor en función de los insumos directos utilizados durante la refrigeración, acondicionamiento y empaque, como tampoco especifican el tiempo de conservación de las manzanas en cámara frigorífica.

De las emisiones de GEI mencionadas hasta el momento para la fase poscosecha los resultados de Longo *et al.* (2017) y Yáñez Espinoza *et al.* (2010) fueron superiores a los computados en esta investigación, mientras que los resultados de Boschiero *et al.* (2019),

Vinyes *et al.* (2017), Keyes *et al.* (2015) y McLaren *et al.* (2010) fueron inferiores. Las diferencias podrían deberse, al menos en parte, a los diferentes límites del sistema evaluados, los procesos unitarios incluidos, los tiempos de permanencia en conservación frigorífica y las tecnologías de conservación modeladas, los tipos de materiales para el acondicionamiento de la fruta en la caja y palés, los porcentajes de fruta no comercializada (descarte) y las fuentes de datos utilizadas. Esta variabilidad en la HC durante la etapa de empaque y conservación con respecto a los obtenidos en esta tesis podría estar centradas en los insumos, por ejemplo el consumo de energía eléctrica y/o con la cantidad de materiales de embalaje utilizados. Aparte de tratarse de otra especie frutal ya que los estudios citados en su gran mayoría se realizaron en manzana, fruto con requerimientos distintos a los de las peras en cuanto a temperaturas de conservación y materiales de embalaje.

En este estudio, la planta de empaque y la conservación tuvo un descarte promedio de 37,52% considerando la fruta descartada en la clasificación “en frío” y “en caliente” más la fruta descartada directamente en el frigorífico. Al no poder asignar las cargas ambientales a este coproducto por su bajo valor comercial en el mercado hizo que el consumo de energía y las emisiones de GEI se atribuyeran completamente a las cantidades totales de peras orgánicas comercializadas, haciendo que la HC aumente. En los datos aportados por Boschiero *et al.* (2019) para 1 kilogramo de manzana este aspecto no se tuvo en cuenta y consideraron que las manzanas frescas fue la única salida del sistema, sin distinción de descarte. En esta misma línea, en los trabajos publicados por Longo *et al.* (2017), Keyes *et al.* (2015), Yáñez Espinoza *et al.* (2010) y McLaren *et al.* (2010) tampoco se realizaron procedimientos de asignación de cargas para el descarte de las manzanas, pero es importante indicar que en la cadena poscosecha siempre hay pérdidas de fruta por no cumplir con los estándares de calidad de los mercados y/o por presentar defectos o padecer alguna que otra patología. Este es un punto clave y al que debe prestarse especial atención al analizar la HC obtenida.

En la investigación de Vinyes *et al.* (2017) no se realizó asignación de carga para el descarte, aunque los autores señalan que las pérdidas de frutas durante la línea de empaque, conservación y transporte a mercados son de 15%, basados en datos experimentales del instituto IRTA, España. Representando una pérdida equivale a 0,17 kilogramos de fruta por cada kilo que llega al mercado y cuyas emisiones significan 18 g CO₂ eq. Haciendo una comparación con este estudio, donde el descarte de peras orgánicas fue estimado en 37,52% en la planta de empaque y frigorífico, las pérdidas equivalen a

0,625 kilogramos de fruta por cada kilo que llega al mercado mayorista, emitiendo en el proceso 79,8 g CO₂ eq. Esto permite indicar que el nivel de descarte de fruta orgánica en la empresa donde se realizó esta tesis es muy alto y eso incrementa la HC en la fase “poscosecha”. Por consiguiente, para reducirla sería fundamental disminuir los niveles de perdidas ocasionados desde la cosecha.

En este sentido, los estudios realizados por Garnett *et al.* (2003) afirman que la producción orgánica certificada de alimentos consume entre 30 a 50% menos energía debido al uso reducido o nulo de fertilizantes y fungicidas. Sin embargo, esta ventaja puede no ser válida por kilogramo de alimento debido a que las producciones orgánicas poseen una menor productividad por hectárea o mayores pérdidas (descarte) en comparación con las producciones intensivas convencionales.

En cuanto a la contribución de los procesos unitarios a la HC de la planta de empaque y frigorífico (212,85 g CO₂ eq/UF), el uso de envases y materiales para el embalaje fue el insumo que más participación tuvo con un 59,61% equivalente a 126,89 g CO₂ eq/UF como valor promedio de todos los escenarios planteados.

Aunque el envase y los materiales acompañantes desempeñan un papel clave en los efectos ambientales de la vida poscosecha de las peras orgánicas según los valores obtenido en esta investigación, relativamente pocos estudios han informado datos específicos en este aspecto. Por ejemplo, Longo *et al.* (2017) hallaron que el 71,5% de todas las emisiones de GEI correspondientes a la planta de empaque y frigorífico (256 g CO₂ eq/UF) fueron atribuidas al embalaje de las manzanas orgánicas, utilizando 120 g/UF de materiales entre plástico, cartón y papel. Estos datos son más elevados que los presentados en esta tesis, pero la tendencia se mantiene.

Un estudio más detallado en este aspecto fue el realizado por Boschiero *et al.* (2019) para las manzanas italianas. Ellos reportaron una HC promedio de 72,37 g CO₂ eq por kilogramo de manzanas para el embalaje, significando el segundo mayor aporte a las emisiones de GEI de toda la etapa poscosecha (con el 44%), después del consumo de energía eléctrica.

Para peras orgánicas los resultados obtenidos en esta tesis indican que cuanto mayor sea la cantidad de materiales de embalaje utilizados en la caja, mayor será el impacto por kilogramo de fruta en g CO₂ eq/UF. En consecuencia, la caja Plateaux de 7 kg de fruta emitió los valores más altos de GEI con 174,41 g CO₂ eq/UF y la caja SAF de 15 kg los valores más bajos con 98,93 g CO₂ eq/UF. Esto también fue concluyente en el trabajo de Boschiero *et al.* (2019) donde compararon los g/UF de los distintos embalajes con el PCG

en manzana. Los autores incluyeron en el análisis el bins plástico de 300 kg como unidad de carga y distribución, obteniendo el PCG más bajo (18,62 g CO₂ eq/UF) al ser un contenedor de gran capacidad sin necesidad de materiales acompañantes como bandejas, papel y bolsa. En contraposición hallaron que la caja de 20 kg de manzana emitió 68,10 g CO₂ eq/UF y la caja de 4 kg (Plateaux) emitió el PCG más alto con 94,66 g CO₂ eq/UF. Al tratarse de resultados en distintas especies de fruta no puede hacerse una comparación cuantitativa de las emisiones ya que las peras, en comparación con las manzanas, necesitan más materiales de embalaje debido a que son más susceptibles a la deshidratación, pero estos datos reflejan que mientras más materiales se utilice en el embalaje mayor será la HC de este insumo. Por esta razón, para reducir la HC durante la fase “Poscosecha”, sería primordial reducir la cantidad de materiales utilizados en el acondicionamiento y empaque o incluso eliminarlo por completo. Sin embargo, sin un embalaje adecuado, la calidad de la fruta podría disminuir durante el almacenamiento refrigerado en cámaras y en el transporte a mayoristas a larga distancia, lo que llevaría a la pérdida de alimentos (Corrado *et al.*, 2017). En este contexto, Verghese *et al.* (2015) afirman que el embalaje ayuda a disminuir las pérdidas de alimentos a lo largo de la cadena de suministro al reducir los daños en el transporte y la manipulación, así como a prolongar la vida útil. El embalaje ofrece varias funciones como protección, utilidad y comunicación con el entorno. Esto incluye la contención para evitar fugas y pérdidas, transporte seguro y eficiente, así como la conveniencia y atracción de los consumidores (Risch, 2009). Por lo tanto, es importante desarrollar soluciones de embalaje que usen menos material y que puedan reutilizarse varias veces antes de desecharse.

Siguiendo con la contribución de los procesos unitarios, la energía eléctrica utilizada en la planta de empaque y frigorífico (fase “Poscosecha”) fue el segundo insumo que más emisiones de GEI aportó a la HC en un 40,11% equivalente a 85,37 g CO₂ eq/UF, como valor promedio de todos los escenarios planteados. En promedio por kilogramo de pera orgánica lista para su consumo (UF), se necesitaron 0,1995 Kw h de energía eléctrica. Este dato abarca el aporte ponderado de los tres escenarios de pre-frío y conservación frigorífica aplicados en esta investigación. La refrigeración de bins y palés consumió 0,0806 Kw h/UF, la conservación en cámara frigorífica de aproximadamente 40 días (entre bins y palés) utilizó 0,1006 Kw h/UF y el acondicionamiento y empaque consumió 0,0185 Kw h/UF de energía eléctrica.

Boschiero *et al.* (2019) obtuvieron valores de consumo de energía eléctrica de 0,1738 Kw h/UF para las manzanas, representando el 50,58% de las emisiones de GEI de la HC

obtenida en su estudio. Este consumo incluye la refrigeración inicial, la mantención de la fruta en cámara frigorífica con un sistema de refrigeración indirecto utilizando como refrigerantes R-717 y Glicol, la preclasificación, la conservación de la fruta clasificada y el empaque. Dicho estudio presenta cifras de los requisitos de energía inferiores a los informados en esta tesis. Si bien no son datos comparables entre sí debido a las diferentes tecnologías utilizadas en la conservación, los periodos de almacenamiento modelado y por tratarse de otra especie frutal, proporcionan una idea aproximada de los consumos. Si se puede inferir, por la descripción del sistema analizado por Boschiero *et al.* (2019) que su manejo posterior a la cosecha de las manzanas es altamente tecnificado y más eficiente en el uso de la energía eléctrica que el que realiza la empresa bajo estudio en esta investigación.

Siguiendo con el análisis del consumo de energía eléctrica en poscosecha, Evans *et al.* (2014) indicaron que el volumen de la cámara es un factor dominante relacionado con la energía utilizada por las cámaras frigoríficas y Thompson *et al.* (2010) señalaron que los posibles métodos para reducir el uso de electricidad están relacionados a la utilización de contenedores de frutas con un área de ventilación adecuada y cantidades mínimas de material de empaque interno. Dichos autores identificaron varias opciones para mejorar la eficiencia del uso de la electricidad como aumentar el rendimiento del producto por unidad de área refrigerada.

Otros estudios como el de Mila i Canals *et al.* (2007) informaron que, para el almacenamiento de manzana, en diversos países europeos, utilizaban entre 0,069 y 0,556 Kw h/kg, dependiendo de la duración del almacenamiento; y Blanke y Burdick (2005) notificaron un resultado similar con valores de 0,250 Kw h/kg para cinco meses de almacenamiento.

De acuerdo con los hallazgos de otros estudios como los de Keyes *et al.* (2015) y Sim *et al.* (2007) la HC de la fase de poscosecha proviene principalmente de la generación y el uso de electricidad.

Carrillo Rojas *et al.* (2014) explican que durante la distribución principalmente se generan los impactos a partir de la utilización de energía eléctrica para conservar y prolongar la vida útil de los productos agropecuarios, es decir para el transporte y la refrigeración, entre otros aspectos. El uso de la energía eléctrica produce impactos ambientales derivados de su generación, transporte y distribución (Arena *et al.*, 2002), de los cuales la generación es el de mayor envergadura, y es dependiente de la estructura del sistema de producción, de la tecnología que emplea y del tipo de combustible que utiliza.

En el año 2019, los datos de la matriz energética argentina publicados por la Secretaría de Energía de la Nación Argentina (SE, 2021) indicaron que la generación de energía fue principalmente térmica, en un 60% (Anexo 3). Las centrales térmicas utilizan combustibles fósiles (gas natural, fuel oil, gas oil, carbón, entre otros) para generar la energía eléctrica mediante un ciclo termodinámico de agua-vapor. Este consumo de combustibles hace aumentar el FE nacional para el uso de energía eléctrica, acrecentando la HC al aumentar las emisiones de GEI.

El cambio de electricidad derivada de fósiles a fuentes de energía renovables podría traer beneficios ecológicos sustanciales, especialmente con respecto a los procesos de consumo de energía que se llevan a cabo en la planta de empaque. La empresa bajo estudio utiliza exclusivamente la red eléctrica argentina en todas sus instalaciones y su reemplazo por energías renovables podría ayudar a disminuir su HC. En este sentido, los resultados de Keyes *et al.* (2015) manifestaron que pasar de la generación de electricidad a base de carbón a la generación de electricidad con gas natural o energía renovable podría disminuir el PCG de las manzanas entre un 33 a un 12%. Siguiendo esta línea de pensamiento, los datos de Boschiero *et al.* (2019) demostraron que el uso de fuentes fotovoltaicas y fuentes hidroeléctricas disminuyeron la HC en aproximadamente un 50% cuando se comparó con la mezcla de la red eléctrica en Italia.

La utilización de otros insumos directos como agua, GLP, aceite lubricante y R-717 fueron considerados en el cálculo de la HC en la planta de empaque y frigorífico (fase “Poscosecha”) además de los insumos relacionados con el embalado y la energía eléctrica. Estos insumos originaron 0,59 g CO₂ eq/UF representando el 0,28% de las emisiones de GEI en esta fase. En promedio por kilogramo de pera orgánica lista para su consumo (UF), se necesitaron 0,0007 m³ de agua, 0,1062 g de GLP, 0,0379 g de aceite lubricante y 0,1607 de R-717. En el ICV realizado Boschiero *et al.* (2019) en manzana, obtuvieron valores de consumo similares a los alcanzados en esta tesis. Por kilo de fruta los autores mencionaron un consumo de 0,13 g para R-717 y 0,02 g para aceite lubricante. En cuanto al consumo de agua en la planta de empaque, Fagotti (2015) obtuvo valores parecidos en los volúmenes de agua utilizados durante el proceso de acondicionamiento de peras. La autora indicó un consumo de 0,0006 m³/kg de pera en una planta de empaque de producción convencional.

Uno de los aspectos relevantes, en la estimación de la HC, son las fuentes de variabilidad. Entre años, los impactos ambientales del procesamiento y acondicionamiento de las peras en poscosecha pueden variar debido a las diferencias en los rendimientos obtenidos

relacionados con condiciones climáticas variables. Finalmente, la variabilidad puede estar relacionada con las diferentes distancias de transporte en las actividades posteriores de procesamiento y los puntos de venta a mayoristas y minoristas. También existe la posibilidad de que surja una variabilidad significativa en otras etapas del ciclo de vida de los productos frescos, en particular esta variabilidad puede estar relacionada con el tiempo de almacenamiento, el envasado y los desperdicios (descarte).

Otro aspecto a considerar es la elección de los FE. Los conjuntos de datos secundarios que representan las cargas ambientales asociadas con diferentes productos y procesos son fundamentales para la práctica estándar de ACV y la HC (Plassmann *et al.*, 2010). Sin embargo, las variaciones entre diferentes bases de datos a menudo surgen debido al uso de diferentes fuentes de datos y suposiciones. Esta elección podría afectar significativamente los resultados para un producto.

Hubo pocos FE específicos a nivel país utilizado en esta investigación, por lo que se requirió el uso de FE de bases de datos que derivaron principalmente de los sistemas europeos como, por ejemplo, los FE de los materiales de empaque y del transporte internacional por buque de carga. Esto puede representar diferencias con respecto a la situación del país y de la región patagónica. Se desconoce si esto conduce a una subestimación o sobreestimación de las emisiones resultantes en este caso particular de las peras orgánicas frescas, pero en general este problema es un problema mayor para los países en desarrollo que los industrializados (Plassmann *et al.*, 2010). Es importante que las emisiones de GEI y la HC se estimen con la mayor precisión posible debido a las ventajas o desventajas comerciales que pueden resultar de una HC baja o alta, y se necesita más investigación para desarrollar FE específicos en nuestro país.

Debe tenerse en cuenta que el ACV realizado en esta tesis no fue un análisis completo de “cuna a tumba”. Sin embargo, para comprender el alcance de los efectos derivados del ciclo posterior a la cosecha y el transporte de productos a los mayoristas en una vista general de toda la cadena de suministro, sería útil ampliar los límites del sistema para incluir todo el ciclo de vida de peras, es decir, desde el cultivo hasta el consumo y la gestión de residuos. Como la mayoría de los estudios publicados referidos al tema están centrados en las emisiones de GEI de las producciones y proporcionan un resultado agregado para la fase poscosecha, es muy difícil distinguir la contribución de los procesos individuales (Vinyes *et al.*, 2017; Keyes *et al.*, 2015; McLaren *et al.*, 2010; Yañes Espinosa *et al.*, 2010; Longo *et al.*, 2017, Cerutti *et al.*, 2011). Por este motivo, en esta

tesis se hizo énfasis en la cuantificación de los procesos unitarios a la HC en la etapa posterior a la cosecha y a la generación de un ICV de los insumos utilizados.

Un estudio de ACV sobre la fase previa a la cosecha en manzanas (Fernández, 2017; Dussi *et al.*, 2018b), indicó que el manejo de la unidad productiva “chacra” en la región del Alto Valle del río Negro - Argentina, obtuvo una HC de 72 g CO₂ eq / kg de manzana. En esta misma línea, otros autores (Boschiero *et al.*, 2015; Sessa *et al.*, 2014) indicaron que el manejo de los huertos de manzanas en Italia produce una HC entre 40 a 87 g CO₂ eq / kg de manzana.

Como puede observarse el ciclo posterior a la cosecha claramente contribuye más a la HC que la fase de producción a campo; ya que emana más emisiones de GEI y por lo tanto produce un mayor impacto.

Por otro lado, debe considerarse que cantidades relativamente altas de CO₂ ingresan naturalmente a los agroecosistemas en el proceso de fotosíntesis, se asignan como carbono orgánico a sus compartimentos por encima y por debajo del suelo (Martinez *et al.*, 2016), y salen del sistema por la respiración (Scandellari *et al.*, 2015).

A nivel regional, la captura de CO₂ atmosférico utilizado durante la fotosíntesis de los árboles frutales no ha sido determinada. Pero el rol de los agroecosistemas frutícolas como sumidero al transferir CO₂ atmosférico a reservas en las plantas es una de las principales estrategias de mitigación, según lo señalado por Rojas *et al.* (2009) e Ibrahim *et al.* (2013).

El IPCC (2007) define la mitigación del cambio climático como una intervención antropogénica para reducir las emisiones de GEI, o bien aumentar sus sumideros. El concepto de mitigación apunta a las acciones tendientes a reducir el daño que el impacto ambiental negativo ha producido e incluye dos aspectos relevantes, uno de ellos es la compensación que hace referencia a las acciones que se producirían como resarcimiento por un daño que es irreversible pero que puede ser compensado con otra acción. Por ejemplo, la compra de capturas de carbono atmosférico que ocurren en otro lugar del planeta apelando a uno de los principios del Protocolo de Kyoto y/o en otra actividad a través de los llamados bonos de carbono. El otro aspecto relevante es la reducción, que se refiere a todas aquellas acciones realizadas dentro de la compañía que pudieran disminuir los consumos y las emisiones.

Pensando en la etapa poscosecha evaluada en esta investigación, algunos de estos cambios podrían estar relacionados con proyectos de eficiencia energética focalizados en un uso más racional de la energía eléctrica, cambios de hábitos, reducción en consumo de

combustibles e insumos, mejoras en la logística tendientes a reducir las pérdidas de fruta, entre otras estrategias que le permitieran a la empresa disminuir su HC.

Con las emisiones producidas a través del procesamiento de alimentos, la refrigeración, el envasado, el transporte y la eliminación de residuos, el IPCC (2007) consideró a este sector como una fuente importante de emisiones nacionales y mundiales. Por lo tanto, los datos aportados por esta investigación brindan los primeros antecedentes de las emisiones de carbono regionales en la etapa poscosecha para las peras y hace foco en aquellos procesos e insumos que más emisiones despliegan con el fin de desarrollar estrategias que puedan mitigar el efecto que estas tienen sobre el cambio climático.

A su vez, la obtención del ICV y un buen sistema de registro y organización de los procesos en la etapa posterior a la cosecha de las peras, así como un uso más racional de la energía eléctrica, conducirán a aumentar la productividad de la empresa, descender la HC y brindar mayor competitividad en el mercado internacional.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Recomendaciones

Como resultado del análisis de los datos, el uso de combustibles para el transporte a los mayoristas internacionales, los materiales para el acondicionamiento y embalaje de la pera orgánica fresca y el uso de energía eléctrica en la planta de empaque y frigorífico fueron los impulsores de las mayores emisiones de GEI y por lo tanto los procesos que más aportaron a la HC. Otro aspecto que condicionó el resultado fue la pérdida de la fruta durante el manejo de poscosecha, generando un descarte muy elevado de fruta, que impacto en la HC aumentando su cuantificación.

Identificados estos procesos se propone implementar estrategias de gestión con el objeto de generar acciones concretas de mitigación de emisiones de GEI para mejorar la sustentabilidad de la actividad y reducir la HC en las distintas etapas.

A continuación, se dan recomendaciones:

6.1.1 Pautas de trabajo para reducir las pérdidas: descarte

Para poder reducir el descarte de fruta primero debe evaluarse la causa de las pérdidas en las distintas etapas de la cadena productiva. Algunas de ellas pueden ser heridas, golpes, tamaño insuficiente, falta de pedúnculo y/o color insuficiente, presencia de defectos y estado sanitario inadecuado.

Las peras son productos perecederos que se degradan rápidamente después de su recolección por lo que, uno de los puntos a considerar es una adecuada planificación, organización y manejo de la cosecha. Esta es una operación compleja en la que debe tenerse en cuenta el estado fisiológico de los frutos, los factores comerciales como calibre y color y la capacitación de los trabajadores que realizarán esta operación (cosechadores). Una preselección a campo de fruta que no cumple con los estándares de calidad simplifica las tareas en la planta de empaque y frigorífico, disminuye las emisiones de GEI y la cuantificación de la HC, además de reducir los costos en poscosecha. También, el monitoreo del trabajo de los cosechadores, el control de la carga en los recolectores y bins y su desplazamiento dentro de la chacra, la utilización de camiones adecuados para el transporte a la planta de empaque y las condiciones en la que se traslada la materia

prima (fruta) son aspectos importantes para reducir los daños y en consecuencia reducir las pérdidas de fruta.

Durante el acondicionamiento en la planta de empaque, las principales causas de deterioro que provocan pérdida están relacionadas con los daños mecánicos. Los roces de la fruta contra partes metálicas, los impactos producidos en las zonas de transferencia de la línea de enjuague, selección y clasificación y las contusiones provocadas en el llenado y apilado de cajas son aspectos a considerar para reducir las pérdidas de fruto en esta etapa del proceso. Para poder optimizar los consumos directos durante el acondicionamiento y empaque de la fruta se debe lograr aumentar la productividad, es decir, procesar la mayor cantidad de fruta comercializable, disminuyendo las pérdidas, para que el sistema se vuelva más eficiente y produzca menores emisiones de GEI. También, se recomienda realizar una preclasificación de fruta en la sección de alimentación de la línea de empaque o directamente clasificarla antes de la sección de enjuague y secado porque esto permitirá optimizar los recursos y no procesar fruta que no posee la calidad mínima comercial.

Asimismo, hay que disminuir los descartes de la fruta durante conservación frigorífica. En este estudio, las mayores pérdidas de fruta se dieron después de almacenamiento refrigerado en bins por un periodo de 30 días, por lo que se recomienda disminuir los tiempos de conservación. Así se evitarán los daños por bajas temperaturas, los daños por condiciones inadecuadas de almacenamiento y las pérdidas por condiciones sanitarias inadecuadas debido al desarrollo de fisiopatías y patologías.

6.1.2 Eficiencia energética y uso responsable de la energía eléctrica

La matriz de consumo de energía en la empresa frutícola es una herramienta de análisis de los consumos energéticos clave para generar las bases para una adecuada eficiencia energética, cuyo principal foco es reducir los costos energéticos. Las plantas de empaque de frutas requieren de manera creciente definir lineamientos o estándares de operación rigurosos en lo que respecta a la eficiencia energética con el objetivo de reducir de manera importante los costos de operación que representa especialmente la energía eléctrica y con ello se logrará reducir las emisiones y descender la HC. De acuerdo con este estudio, se ha determinado que el principal factor a considerar desde el punto de eficiencia energética en el empaque y frigoríficos es la electricidad. También se ha determinado que el principal consumo de electricidad en el establecimiento corresponde mayormente a las cámaras de frío y pre-frío, por lo cual cualquier medida de eficiencia en relación a dichas

cámaras tendrá un alto impacto a favor de la eficiencia energética pudiendo reducirse la HC.

Para comenzar, se recomienda implementar un sistema de registro de consumos y gastos que reúna toda la información relacionada con el uso de la electricidad, ya que esto permitirá evaluar la eficiencia energética mediante algún indicador que permita medir “cuán bien” se utiliza la energía para producir una unidad de producto. Por ejemplo, se puede utilizar el Consumos eléctricos en kWh/Nro de Cajas/Tn o en Cámaras Frigoríficas $\text{m}^3/\text{Nro de Cajas}$ y/o kWh/m^3 . También se debe realizar un inventario de cargas y potencias eléctricas de cada uno de los sectores de la empresa, que se mantenga actualizado, ya que es fundamental para efectuar los cálculos de la HC.

En cuanto a la infraestructura de la planta de empaque y frigorífico se recomienda seguir cambiando las luminarias por fuentes lumínicas más eficientes como las lámparas led, instalar sistemas de desconexión automática y en el exterior usar timers electrónicos o celdas fotoeléctricas que se desconectan cuando la iluminación natural es adecuada. Llevar un registro específico y detallado por áreas y sectores de la potencia de consumo de todas las fuentes lumínicas. Acorde a ello, y según los requisitos de iluminación del trabajo a realizar, es recomendable elaborar un plan de mantenimiento y reemplazo en caso de que sea necesario mejorar la capacidad lumínica y bajar los consumos.

Apagar las luces encendidas en áreas sin operar es una buena práctica a implementar para reducir los consumos y en especial las luces de las cámaras de frío pues ellas contribuyen a un mayor trabajo del equipo de refrigeración.

Los motores eléctricos de las bombas utilizadas en la sección de alimentación y enjuague de la línea de empaque y en los condensadores del sistema frigorífico constituyen una importante fuente de uso de la energía por lo que, un aspecto de relevancia desde el punto de vista de la eficiencia energética es no sobredimensionar la bomba en cuanto a su potencia y por lo tanto en el consumo de electricidad. Por ello, se debe determinar concretamente la potencia de los equipos de bombeo ya que bombas de mayor potencia consumen más energía eléctrica y contribuyen a aumentar la HC. También se deben analizar los diseños del sistema para detectar contrapresiones o pérdidas que requieran un mayor funcionamiento de los equipos.

En cuanto al abastecimiento de agua potable en la planta de empaque hay que tomar medidas más estrictas para disminuir su utilización ya que no debe ser sobre utilizada extrayendo más agua de la necesaria. El volumen de agua a utilizar en el hidromensurador, en la sección de enjuague y el canal con agua que traslada el descarte de la fruta debe ser

correctamente dimensionado en cuanto a las necesidades de bombeo y el sistema de transporte para evitar mayores consumos eléctricos del que realmente es necesario. Siempre revisar fugas y filtraciones de las cañerías y el sistema en su conjunto porque si ocurren hacen que las bombas y los motores eléctricos trabajen más de lo necesario afectando así al consumo.

En las secciones de clasificación, tamañado, embalado, romaneo y estibado, de la línea de empaque, las cintas transportadoras y los rieles terrestres y aéreos son los elementos principales desde el punto de vista del consumo eléctrico. Es importante que estén diseñados de acuerdo al tonelaje a transportar en cada proceso y que los motores utilizados tengan la potencia necesaria sin sobredimensionamiento. Además, se debe buscar elementos de transición más eficiente como las transiciones directas con equipos de reductores sin-fin corona y evitar las transiciones de correas y cadenas por que consumen más energía para el mismo trabajo. También se recomienda instalar sistemas automáticos que detengan la operación de los transportadores y otros equipos cuando no hay fruta. Normalmente se trata de sensores que se instalan en un punto previo al equipo y que al no detectar movimiento de fruta, detienen los equipos.

De los resultados de esta tesis puede verse que el principal consumo de electricidad en el establecimiento corresponde al proceso de refrigeración y enfriamiento de la fruta. Hay muchas oportunidades para mejorar los factores que controlan el consumo eléctrico en la refrigeración y por consecuencia las emisiones de GEI y HC. Entre los factores a considerar esta la carga de frío, la eficiencia del compresor, la temperatura de evaporación, la temperatura de condensación y la potencia de los equipos auxiliares. Se recomienda elaborar un programa para realizar inspecciones y testeos regulares en la instalación para el sistema de refrigeración. Este debe incluir una revisión de los sistemas de control y set-points para las temperaturas de los evaporadores y condensadores. También es necesario inventariar y conocer la potencia térmica de cada equipo del circuito (Kcal/h; Btu/h; kW o HP) y verificar si se evalúa periódicamente el coeficiente de rendimiento (COP) y el Sistema de Eficiencia Total (SCOP) de los Compresores.

En cuanto al refrigerante, se debe reducir su pérdida y eliminar las filtraciones, la cual pueden deberse a problemas en las conexiones de los circuitos o en los equipos, ya que eso hace que el circuito consuma más energía de la necesaria.

Otro aspecto a considerar es la revisión del diseño y el manejo de las cámaras frigoríficas para actualizarlas y utilizar, si es posible, nuevos equipos de refrigeración con

menor consumo. Por otro lado, la estiba correcta según el producto y envase mejora la eficiencia de enfriado y reduce el consumo de energía eléctrica.

Basados en la necesidad de reducir la HC de la empresa y disminuir las emisiones de GEI en todas las unidades de la planta de empaque, se debe definir una política de gestión energética basada en los aspectos a mejorar que se mencionaron anteriormente, cuyo objetivo fundamental sea aumentar la eficiencia energética, optimizando su consumo y minimizando su pérdida.

En cuanto a las mejoras a realizar en los próximos años en pos de reducir las emisiones, la empresa debe invertir en la producción de energías renovables como la instalación de producción fotovoltaica con el objetivo de reducir la dependencia de fuentes fósiles. Por supuesto, la modernización de instalaciones y maquinarias más eficientes en el consumo de energía eléctrica ayudará a reducir aún más su HC.

6.1.3 Disminución en la cantidad de materiales para el envase y embalaje

La reducción de las emisiones de GEI que generan el uso de cajas y los materiales acompañantes en el embalaje de la fruta no es algo que la empresa puede realizar unilateralmente, ya que el embalaje estándar es lo que permite que la cadena de suministro, funcione sin problemas desde la explotación hasta los puntos de venta. Las innovaciones en el embalaje deben funcionar en todas las etapas de la cadena de suministro y la empresa puede fomentar y colaborar con las cadenas de suministros de embalajes que tratan de innovar para crear embalajes con menor HC.

Sin embargo, los resultados de esta tesis demuestran que, si se reduce la cantidad de materiales por kilogramo de fruta embalada, menor será la HC. Por eso la empresa debe priorizar el uso de envases con menor cantidad de cartón (más livianos) y que contengan la mayor cantidad de fruta (peso neto) y fomentar el uso de bins para la exportación.

Las medidas de reducción de emisiones de GEI y disminución de la HC a considerar están relacionadas a revisar el diseño de envases y embalajes para determinar las posibilidades de reducción de tamaño, peso o componentes. Esto es importante ya que toda reducción en uso de materiales reduce las emisiones de GEI. Y por otro lado se debe estudiar el proceso de embalaje para detectar situaciones de deterioro, o de mal uso del material por parte del personal embalador. Esto es importante ya que toda merma involucra la

necesidad de usar material adicional.

6.1.4 Reducciones asociadas a incrementar la eficiencia en la fase de transporte

En cuanto al transporte de la pera orgánica fresca, las recomendaciones tendientes a reducir la HC y las emisiones de GEI están relacionadas con la eficiencia en el uso de combustibles y la planificación de estrategias que optimicen la logística a través de la integración intermodal.

Se recomienda priorizar el uso de barcos y camiones que utilicen combustibles alternativos como los biocombustibles y/o combustibles de mejor calidad. Para reducir las emisiones de CO₂ por cada tonelada de combustible utilizado, es recomendable que los transportes elegidos utilicen combustibles con FE más bajos, como pueden ser el gas natural licuado u otros más bajos todavía como el metanol y etanol. Al mismo tiempo, en el transporte internacional por vía marítima para ahorrar en combustible se debe priorizar el uso de embarcaciones más grandes que tiendan a reducir la velocidad de navegación y que utilicen motores de menor potencia porque ello favorece a producir menores emisiones de CO₂ en el trayecto. También que sean más eficientes desde el punto de vista energético en el uso de equipos y maquinaria. Es por esto que, a la hora de elegir el buque de carga para el transporte internacional de la fruta, hay que considerar la edad media de la embarcación porque esto afecta a las emisiones de CO₂ y por lo tanto a la HC, debido a que los buques más antiguos son energéticamente menos eficientes que los de nueva construcción.

Por otro lado, la utilización del ferrocarril eléctrico y/o con diesel sería una alternativa primordial para reducir la HC asociada al transporte ya que el mismo es más sustentable desde el punto de vista ambiental que el empleo de camiones por ruta terrestre. Lamentablemente, por la precariedad del sistema ferroviario argentino de cargas, son limitadas las posibilidades de hacer un mayor uso de este sistema. Aunque la utilización del ferrocarril para movilizar los palés de fruta desde la región del Alto Valle del río Negro hasta el Puerto de San Antonio Este reduciría considerablemente la HC de esta etapa con respecto a la situación actual a través de camiones.

Otro aspecto a considerar es la utilización de vehículos de dimensiones adecuadas a las reales necesidades de la carga de fruta que se quiere transportar ya que, a mayor tamaño del medio de transporte, mayor será su consumo y su HC. También se debe considerar la

optimización del trayecto desde la planta de empaque hasta los mayoristas, desde el punto de vista logístico. Evaluando el trayecto origen-destino más corto, paradas intermedias, aprovechamiento de los viajes de vuelta, conocimiento de las horas pico de tráfico para el transporte terrestre y mal estado de ciertas rutas, entre otros. Es muy importante evitar trayectos de retorno con camiones vacíos. Una buena gestión de las operaciones logísticas puede contribuir a aprovechar, en la medida de lo posible, estos trayectos con la ventaja de ahorro de combustible y disminución de emisiones de GEI.

6.1.5 Agroecosistemas frutales con sumideros de carbono

La empresa debe duplicar sus esfuerzos para poder estimar la captura de CO₂ atmosférico de sus agroecosistemas frutícolas ya que los GEI podrían reducirse a través de dos procesos: mediante la disminución de las emisiones antropogénicas de CO₂ o la creación y/o mejoramiento del secuestro de carbono en la biosfera por parte de los agroecosistemas.

El CO₂ secuestrado por las plantas es el resultado de las diferencias entre el CO₂ atmosférico absorbido durante el proceso de la fotosíntesis y el CO₂ emitido por la atmósfera durante la respiración. Esta diferencia es convertida en biomasa por lo tanto, la vegetación natural y los cultivos agrícolas se convierten en los sumideros de carbono. Teniendo esto en cuenta, los agroecosistemas frutícolas productivos de la empresa se pueden convertir en un mecanismo efectivo para mitigar el incremento del CO₂ atmosférico y reducir su HC.

6.2 Conclusiones

Existe una necesidad urgente de reducir las emisiones de GEI debido a su impacto ambiental asociado al cambio climático global. Los procesos de la cadena poscosecha de peras contribuyen con una cantidad considerable de emisiones de GEI. Basado en la regla de que “lo que no se mide, no se gestiona”, este estudio responde a la demanda del sector frutícola en la región del Alto Valle del río Negro, y aporta los primeros resultados de la HC en la poscosecha de las peras como un indicador que asegure que el sistema sea cada vez más eficiente en materia y energía reduciendo así los impactos ambientales que produce.

El ACV es parte de una evaluación rigurosa de sustentabilidad. Por lo que los resultados del ACV y la HC pueden ayudar a reducir los impactos agroecológicos de las cadenas de suministro de peras frescas mediante la identificación de puntos críticos en la etapa poscosecha y el desarrollo de recomendaciones, que finalmente podrían ayudar a establecer sistemas que sean más productivos.

Esta estimación de la HC a través del ACV investigó el desempeño ambiental en la etapa posterior a la cosecha de las peras orgánicas en la Norpatagonia argentina para comprender cómo los subsistemas del ciclo de vida contribuyen a la HC.

La HC total derivada de la etapa posterior a la cosecha, para el año 2019, fue de 534,98 g CO₂ eq /UF. Los resultados indican que el uso de combustibles para el transporte a los mayoristas del mercado internacional, los materiales para el acondicionamiento y embalaje de la fruta y el uso de energía eléctrica fueron los impulsores de las mayores emisiones de GEI y por lo tanto los mayores impactos ambientales. Por lo tanto, el transporte entre la producción y el consumo fue un factor importante para determinar la sustentabilidad ambiental de las cadenas de suministro de peras. La electricidad consumida para las operaciones de almacenamiento y empaque también fue significativa, y el impacto ambiental asociado podrá reducirse haciendo un uso más responsable de la energía eléctrica por parte de la empresa y con el cambio de la matriz energética nacional a partir de fuentes renovables. Desde el punto de vista del calentamiento global, sería deseable una reestructuración de las fuentes de energía argentina, incrementando la participación de fuentes más “limpias” en cuanto a emisiones provenientes de fuentes renovables como la energía hidráulica, solar, geotérmica, eólica, de gran potencial de desarrollo en nuestro país.

En el transcurso del proceso de recolección de datos para el ICV, se detectaron ineficiencias de diverso tipo en los procesos productivos y logísticos, como por ejemplo, en el consumo de energía de los pre-fríos y los elevados porcentajes de fruta destinada a la industria, que afectaron negativamente la HC. El cálculo y la reducción de la HC en cada planta de empaque puede ser no solo un factor diferenciador de agregación de valor a los productos o una respuesta a requerimientos de los mercados, sino también una poderosa herramienta de análisis de los procesos productivos, de eficiencia energética y control de costos.

Los resultados que se han obtenido en esta tesis sugieren que hay gran variabilidad en los datos cuando cambian la cantidad de fruta ingresada y procesada al establecimiento, la duración del almacenamiento refrigerado y/o el porcentaje de fruta con destino industrial.

Por otro lado, los sistemas examinados en este estudio demuestran que la mayoría de los impactos se dan más allá de la tranquera de la unidad productiva, lo que resulta en cargas ambientales que no se tienen en cuenta cuando el ACV se detiene en la puerta de la chacra. Este hallazgo resalta la importancia de tener en cuenta los pasos del ciclo de vida después del proceso de cultivo, especialmente para los alimentos que no se consumen de inmediato y que deben almacenarse.

Un problema relacionado con el cálculo de la HC fue la falta de FE específicos del país o de la región patagónica por lo que se requirió el uso de FE desarrollados básicamente en países industrializados, lo que podría reducir la precisión del análisis. Para que la HC sea una herramienta significativa que permita análisis comparativos o guíe a los consumidores hacia productos más amigables con el clima a través de etiquetas de carbono que indiquen cifras precisas, es vital que se desarrollen más FE que reflejen mejor los sistemas de producción del país.

Por el lado de las políticas públicas, es necesario mejorar la red vial, la red ferroviaria y los incentivos al uso de tecnologías limpias, entre otros aspectos. Asimismo, el Estado, en estrecha coordinación con el sector académico, debe promover la estimación de FE nacionales. Estos son importantes, ya que permiten calcular la HC de diversas actividades y sectores teniendo en cuenta las especificidades del país, sin tener que utilizar FE internacionales por defecto.

Otro aspecto relevante es que estos resultados deben evaluarse en el contexto de la gestión de intereses de sustentabilidad más amplios, que debe incluir los problemas sociales y económicos de las decisiones de abastecimiento de alimentos como lo son las frutas frescas, para lo cual se requiere más investigación.

El resultado más importante de esta investigación es la obtención de la línea base de efecto ambiental que indica cuáles son las contribuciones de cada etapa de la poscosecha de peras orgánicas. Esta base permitirá generar comparaciones a nivel cualitativo y cuantitativo de posibles soluciones y deberá ser ajustada de forma dinámica año a año para comparar procesos y/o tecnologías en función del efecto ambiental que producen. La implementación de un plan de mejora ambiental basado en la HC es posible, ya que la empresa puede tomar decisiones que pueden generar grandes impactos si se trabaja sobre aquellos aspectos que se identificaron como las principales fuentes de generación de emisiones. Si se aplican las recomendaciones brindadas en esta tesis se podrá disminuir la HC del producto y las emisiones de GEI en el proceso, logrando un manejo poscosecha de la pera orgánica más sustentable ambientalmente.

- Ablin, A., 2011. El mercado del jugo concentrado de manzana. Informe técnico, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca -MAGyP.
- Adger, W., 2000. Social and ecological resilience: are they related? *Progress in human geography*, 24(3), 347-364.
- AGO - Australian Greenhouse Office, 2007. National Greenhouse Gas Inventory 2005. Canberra, Australia: Australian Greenhouse Office.
- Akdemir, S., Akcaoz, H., y Kizilay, H., 2012. An analysis of energy use and input costs for apple production in Turkey. *J. Food Agric. Environ.* 10, 473-479.
- Alaphilippe, A., Simon, S., Brun, L., Hayer, F., y Gaillard, G., 2013. Life cycle analysis reveals higher agroecological benefits of organic and low-input apple production. *Agron. Sustain. Dev.* 33, 581-592.
- Alcover, M., y Quintela Cornaglia, D., 2018. Caracterización de túnel y cámara de congelación para producción de masas de pizza a escala industrial (Bachelor's thesis).
- Alfonso Corredor, M., 2015. Formulación de estrategias de mitigación y compensación de emisiones de gases efecto invernadero de Norton Rose Fulbright a partir del cálculo de la huella de carbono.
- Aliotte, B., y Ramos de Oliveira, A., 2022. Multicriteria decision analysis for fruits and vegetables routes based on the food miles concept. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 54(1): 97-108.
- Altieri, M., y Nicholls, C., 2012. Agroecología: única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Agroecología*, 7(2), 65-83.
- Altieri, M., y Nicholls, C., 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8(1), 7-20.
- Altieri, M., y Toledo V., 2010. La Revolución agroecológica de América Latina. Rescatar la naturaleza. Asegurar la soberanía alimentaria y empoderar al campesino. *El Otro Derecho* (42): 163-202.
- Amer Pou, P., y Vallespir Marqués, T., 2017. Estudio y comparación de generación de frío industrial en Ghana (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Antón Vallejo, M., 2004. Utilización del análisis de ciclo de vida en la evaluación de impacto ambiental del cultivo bajo invernadero bajo invernadero mediterráneo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Arena, A., Canizo, J., y Sanchez, B., 2002. Perfil ambiental de la generación termoeléctrica en la Argentina en el cuatrienio 1997-2000. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 6(2), 7-12.
- Armijo, A., 2012. Marco general para la Medición de la Huella de Carbono del arándano en la Región de los Ríos, Chile. Estudio de caso. Universidad Austral de Chile, 44.
- Arrese, D., 2016. Estrategias asociativas en empresas red en el complejo productivo del Alto Valle de Río Negro (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Río Negro).
- ASHRAE, 2002. Handbook - Refrigeration. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers. (Atlanta, 2006).
- Asociación Española para la Calidad -AEC-, 2012. Introducción a la gestión ambiental. Madrid.
- Baldwin, C., 2015. The 10 Principles of Food Industry Sustainability. John Wiley and Sons, Ltd, Chichester, UK.
- Barnett, A., Barraclough, R. W., Becerra, V., y Nasuto, S., 2013. A history of product carbon footprinting. *Technologies for Sustainable Built Environments -TSBE.*
- Basso, L., C. Pascale Medina, E. S. de Obschatko, y Preciado Patiño, J., 2013. Agricultura Inteligente: la iniciativa de la Argentina para la sustentabilidad en la producción de alimentos y energía. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación -MAGyP.
- Baumann, H., y Tillman, A., 2004. The hitch hiker's guide to LCA: an orientation in life cycle assessment methodology and application. *Studentlitteratur*. Lund, Suecia.
- Beccali, M., Cellura, M., Iudicello, M., y Mistretta, M., 2009. Resource consumption and environmental impacts of the agrofood sector: life cycle assessment of Italian citrus-based products. *Environ. Manag.* 43, 707-724.
- Beccali, M., Cellura, M., Iudicello, M., y Mistretta, M., 2010. Life cycle assessment of Italian citrus-based products. Sensitivity analysis and improvement scenarios. *J. Environ. Manag.* 91, 1415-1428.
- Benítez C., Castro H., Ricca A., y Vaudagna S., 2005. Peras y manzanas: Factores que afectan la calidad de los frutos. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. 396 pp.

- Bermúdez, F., Sarria, F., García, C., Laguna, E., y Rogel, Y., 2004. La huella ecológica del cultivo del olivo en España y su aplicabilidad como indicador de agricultura sostenible. *Papeles de geografía*, (39), 141-155.
- Best, A., Giljum, S., Simmons, C., Blobel, D., Lewis, K., Hammer, y M., Maguire, C., 2008. Potential of the Ecol. Footprint for monitoring environmental impacts from natural resource use: analysis of the potential of the Ecol. Footprint and related assessment tools for use in the EU's Thematic Strategy on the Sustainable Use of Nat. Resources. DG Environment - Report to the European Commission.
- Bevilacqua, M. y Storti, L., 2011. Complejo Frutícola: Manzana y Pera. Informe técnico, Secretaría de Política Económica, Subsecretaría de Programación Económica, Ministerio de Economía y Finanzas Públicas.
- Bieler, P.S., Fischer, U., y Hungerbühler, K., 2004. Modeling de energy consumption of chemicals batch plants: Bottom-up approach. *Ind. Eng-Chem. Res.* 43 (24), 7785-7795.
- Blanke, M., y Burdick, B., 2005. Food (miles) for thought. Energy balance for locally-grown versus imported apple fruit. *Environmental Sci. Pollut. Res.* 12, 125-127.
- Bongiovanni, R., y Hilbert, J. A., 2019. Plataforma análisis de ciclo de vida y huellas ambientales del INTA.
- Boschiero, M., Zanotelli, D., Ciarapica, F. E., Fadanelli, L., y Tagliavini, M., 2019. Greenhouse gas emissions and energy consumption during the post-harvest life of apples as affected by storage type, packaging and transport. *Journal of Cleaner Production*, 220, 45-56.
- Brentrup F., Küsters J., Kuhlmann H., y Lammel J., 2004, Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production". *European Journal of Agronomy*, 20(3), 247-264.
- Brovia Cortel, L., 2015. Evaluación ambiental del tratamiento poscosecha de clementina- huella de carbono. 8 de junio del 2020, Recuperado de <http://hdl.handle.net/10251/56743>
- Browne, N., Eckard, R., Behrendt, R., y Kingwell, R., 2011. A comparative analysis of on-farm greenhouse gas emissions from agricultural enterprises in south eastern Australia. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 641-652.
- Bruzzone, I., 2010. Cadenas Alimentarias. Manzana y pera. *Alimentos Argentinos*, 47, pp. 18–24.
- Bustamante Alsina, J., 1995. Derecho Ambiental: fundamentación y normativa. Abeledo Perrot ediciones.
- CAFI - Cámara Argentina de Fruticultores Integrados, 2008. Impacto actual de la crisis mundial en la fruticultura del Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Informe técnico.
- Cajo Yumisaca, F., y Yucta Montero, S., 2012. Elaboración de un Manual de Mantenimiento y Procedimientos para el Arranque, Operación y Parada de Equipos de Refrigeración Industrial con Amoníaco, en el Área Avícola (Bachelor's thesis). Recuperado de <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/1643>
- Calvo, G., Candan, A., Gomila, T., y Colodner, A., 2018. Tecnología de poscosecha de fruta de pepita. Ediciones INTA.
- Calvo, G., Candan, A., y Colodner, A., 2012. Cosecha y poscosecha de frutales de pepita Ediciones INTA.
- Campos Lopes, C., 2017. Condiciones para la aplicación de la huella de carbono y huella ecológica: análisis de su eficacia como mecanismos de transmisión de información respecto del nivel de ecoeficiencia en contextos de asimetría informativa. Buenos Aires: UTDT.
- Caporal, F., y Costabeber, J., 2002. Agroecología: enfoque científico y estratégico. *Agroecología e desarrollo rural sustentável*, 3(2), 13-16.
- Caputo, V., Nayga Jr, R., Scarpa, R., 2013. Food miles or carbon emissions? Exploring labelling preference for food transport footprint with a stated choice study. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 57(4), 465-482.
- CarbonTrust., 2008. Carbon Footprinting guide. 11 marzo del 2019, Recuperado de <http://www.carbontrust.com/resources/guides/carbon-footprinting-and-reporting/carbon-footprinting>
- CarbonTrust., 2010. Product Carbon footprint. 6 octubre del 2019, Recuperado de <http://www.carbontrust.co.uk/cut-carbon-reduce-costs/calculate/carbon-footprinting/Pages/product-carbon-footprint.aspx>
- Carrillo Rojas, G., Andrade Rodas, J., Barragán Escandón, A., y Astudillo Alemán, A., 2014. Impact of electrical energy efficiency programs, case study: Food processing companies in Cuenca, Ecuador. *Dyna*, 81(184), 41-48.
- Cellura, M., Longo, S., y Mistretta, M., 2011. Sensitivity analysis to quantify uncertainty in Life Cycle Assessment: the case study of an Italian tile. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15, 4697-4705.
- CEPAL - Comisión económica para América Latina y El Caribe, 2011. Metodologías de Cálculo de la Huella de Carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina. 3 mayo del 2019, Recuperado de http://www.cepal.org/dmaah/noticias/noticias/9/40559/Metodolog%C3%ADas_de_c%C3%A1lculo_HC_y_implicaciones_AL.pdf

- CEPAL - Comisión económica para América Latina y El Caribe, 2013. Huella ambiental de las exportaciones de alimentos de América Latina: Normativa Internacional y Prácticas Empresariales. Naciones Unidas, Santiago de Chile. 3 mayo del 2019, Recuperado de <http://www19.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2013/12339.pdf>
- Cerda A., García L., Ilufi N., y Opazo V., 2010. Carbon Foot Print in the Chilean Wine Industry. *Interamerican Journal of Environment and Tourism*. 6: 9-27.
- Cerutti, A., Beccaro, G., Bosco, S., De Luca, A., Falcone, G., Fiore, A., Iofrida, N., Lo Giudice, A., y Strano, A., 2015. Life cycle assessment in the fruit sector. In: Notarnicola, B., Salomone, R., Petti, L., Renzulli, P.A., Roma, R., Cerutti, A.K. (Eds.), *Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector Case Studies. Methodological Issues and Best Practices*. Springer International Publishing.
- Cerutti, A., Galizia, D., Bruun, S., Mellano, G., y Beccaro, G., 2011. Assessing environmental sustainability of different apple supply chains in northern Italy. In: Finkbeiner, Matthias (Ed.), *Toward Life Cycle Sustain. Manag.* Springer, pp. 341-348.
- Charles, H., Godfray, J., Beddington, J., y Crute, I., 2010. Food security: The challenge of feeding 9 billion people (Review). *Science* 327: 812-818.
- Chocano Vañó, 2015. Sostenibilidad de sistema agrarios en ambientes semiáridos: uso controlado de enmiendas orgánicas de calidad. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena.
- CIEMAT - Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, 2017. 11 marzo del 2019, Recuperado de www.ciemat.es.
- Civit B, Arena P., y Curadelli Piastrelini R., 2012. Indicadores de Sostenibilidad. Huella de Carbono y huella hídrica de las Naciones Unidas viñedo considerando distintos sistemas de riego en Mendoza, Argentina. *Revista Enoviticultura*, Ed. Editorial Tècnica Quatrebcn, SLL.
- Clément C., y Lenne P., 2010. Metodologías de cálculo de la Huella de Carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina, documentos de trabajo, Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Common, M., y Stagl, S., 2005. *Ecological Economics: An Introduction*. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, São Paulo: Cambridge University Press.
- Consoli, F. Deninson, R., Dickson, K., Mohin, T., y Vigon, B., 1993. A conceptual framework for life-cycle impact assesment. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry).
- Corrado, S., Ardente, F., Sala, S., y Saouter, E., 2017. Modelling of food loss within life cycle assessment: from current practice towards a systematisation. *J. Clean. Prod.* 140, 847-859.
- Crisanto Flores, W., 2018. Estudio comparativo de los costos de operación del túnel de enfriamiento continuo y el túnel de enfriamiento californiano para optimizar el proceso de empaqueo de la uva, en la agrícola Zeit Organisch SAC. Recuperado de <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1376>
- Curadelli S., Civit B., Arena A.P., y Morales A., 2011. Huella de Carbono de la producción de vino en el oasis norte de la provincia de Mendoza. V Congreso Iberoamericano sobre Desarrollo y Ambiente, Provincia de Santa Fe.
- De La Torre, A., Fajnzylber, P. y Nash, J., 2009. Desarrollo con menos carbono: respuestas latinoamericanas al desafío del cambio climático. Banco Central, Washington D.C., USA.
- Decreto Ley N° 9244/63 y su Resolución de Actualización N° 554/83 de la República Argentina. 18 octubre del 2020, Recuperado de http://magya.cba.gov.ar/upload/Compendio_Normas.pdf
- DEFRA - Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Medio Rural, Inglaterra; DECC (Departamento de Energía y Cambio Climático), Inglaterra. 2013. Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting. 26 febrero del 2021, Recuperado de https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/224437/pb13988-emission-factor-methodology-130719.pdf
- Diaz Rossello R., Duran H., 2011. Secuestro de carbono en suelos de sistemas agrícola lecheros mixtos en Uruguay. *Agrociencia Uruguay*. 15 (2): 109-119. ISSN 1510-0839.
- Díaz Rossello, R., Díaz, R., INIA, M. U., Salton, J. C., Hernani, L. C., Espinoza, W.,y García Pacheco, F., 2013. Agricultura inteligente: la iniciativa de la Argentina para la sustentabilidad en la producción de alimentos y energía (No. IICA E14-619). IICA, Buenos Aires (Argentina). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Buenos Aires (Argentina).
- Dincer, İ., 2011. *Refrigeration systems and applications*. John Wiley y Sons (Vol. 1).
- Dussi, C., Fernández, C., y Flores, L., 2018b. Huella de carbono en agroecosistemas de hoja caduca. Congreso SOCLA. Brasilia. Anais do VI Congresso Latino-americano de Agroecología; X Congresso Brasileiro de Agroecología; V Seminário de Agroecología do Distrito Federal e Entorno; 12 a 15 de setembro de 2017, Brasília/DF v. 13 n. 1. *Revista Cadernos de Agroecología*. Publicação da Associação Brasileira de Agroecología (ABA-Agroecología). Brasil. ISSN é 2236-7934. Recuperado de <http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/index.php/cadernos/article/view/1634/1048>

- Dussi, C., Flores, L., Machuca, J., y Barrionuevo, M., 2012. Utilización de indicadores para evaluar sustentabilidad en agroecosistemas frutícolas. I Congreso Santafecino de Agroecología.
- Dussi, C., y Flores, L., 2017. Visión multidimensional de la agroecología como estrategia ante el cambio climático. *INTERdisciplina* 6 (14), 129-153.
- Dussi, C., y Flores, L., 2018a. Visión multidimensional de la agroecología como estrategia ante el cambio climático. *Inter disciplina*, 6(14), 129-153.
- Ecoinvent, 2019. About Ecoinvent. Ecoinvent Centre. 8 marzo del 2021, Recuperado de <https://www.ecoinvent.org/about/about.html>
- Elrington, J., 2003. Cambio climático y salud humana-Riesgos y respuestas: Resumen (Ecoinvent núm. ISBN 92 4 359081 2). 10 noviembre del 2019, Recuperado de www.who.int/globalchange/publications/en/Spanishsummary.pdf
- Evans, J., Foster, A., Huet, J., Reinholdt, L., Fikiin, K., Zilio, C.,..... y Van Sambeek, M., 2014. Specific energy consumption values for various refrigerated food cold stores. *Energy and Buildings*, 74, 141-151.
- Ewing, B., Hawkins, T., Wiedmann, O., Galli, A., Ercin, A., Weinzettel, J., y Steen Olsen, K., 2012. Integrating ecological and water footprint accounting in a multi-regional input-output framework. *Ecological Indicators*, 23, 1-8.
- Fagotti, P., 2015. Empaque de Peras del Alto Valle de Río Negro. Volúmenes de Agua utilizada en el proceso de acondicionamiento. VIII Jornadas Argentinas de Biología y Tecnología Postcosecha 2015. 124-126. Balcarce, Buenos Aires.
- FAO - Food and Agriculture Organization, 2003. Agricultura Orgánica, Ambiente y Seguridad Alimentaria. Edited by Nadia El-Hage and Caroline Hattam. 6 marzo del 2019, Recuperado de <http://www.fao.org/3/y4137s/y4137s00.htm>.
- FAO - Food and Agriculture Organization, 2009. Global Agriculture towards 2050. Report from the High-Level Expert Forum 'How to Feed the World 2050'. 4 mayo del 2018, Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/HLEF2050_Global_Agriculture.pdf
- FAO - Food and Agriculture Organization, 2011. Global Food Losses and Food Waste - extent, causes and prevention. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO - Food and Agriculture Organization, 2015. Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership available. 15 febrero del 2020, Recuperado de <http://www.fao.org/partnerships/leap/en/>
- FAO - Food and Agriculture Organization, 2019. Food and Agriculture Organization of Unites Nations 15 diciembre del 2019, Recuperado de www.fao.org.
- FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of Unites Nations, 2019. 15 diciembre del 2019, Recuperado de www.fao.org/faostat.
- Fernández Vítora, V., 2003. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. Madrid, Barcelona, México: Ediciones Mundi-Prensa.
- Fernández, C., 2017. Determinación de la Huella de Carbono en la producción de manzana del Alto Valle del río Negro. Universidad Nacional del Comahue. 230 p.
- Fernández, S., Rodríguez, C., Neira, P., Cabeza, D., y Montiel, S., 2014. Alimentos kilométricos y gases de efecto invernadero: Análisis del transporte de las importaciones de alimentos en el Estado español (1995-2007). *Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica*, 22, 1-16.
- Finkbeiner, M., 2009. Carbon footprinting-opportunities and threats. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(2), 91-94.
- Flores, L., Azpilicueta, C., Dussi, M. C., Fernández, C., Aruani, C., y Sugar, D., 2015a. Impact of alleyway management and vegetation diversity on nematode abundance in pear agroecosystems. *Proc. XII International Pear Symposium. Acta Hort*, 1094: 341-349.
- Flores, L., Dussi, C., y Fernández, C., 2015b. Análisis del flujo energético en agroecosistemas frutícolas. VII Jornadas de la Asociación Argentino-Uruguay de Economía Ecológica. ASAUEE.
- Foladori, G. 2005. Una tipología del pensamiento ambientalista. *Sustentabilidad*, 83-136.
- Frohmann, A., Herreros, S., Mulder, N., y Olmos, X., 2015. Sostenibilidad ambiental y competitividad internacional: La huella de carbono de las exportaciones de alimentos (Sostenibilidad ambiental y competitividad internacional). Naciones Unidas, Santiago de Chile. 18 julio del 2019, Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/38985/1/S1500638_es.pdf
- Frohmann, A., y Olmos, X., 2013. Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático.
- Gaia. Carbon footprint: new challenges and opportunities for the business sector - Huella de Carbono. Nuevos desafíos y oportunidades para el sector empresarial. 11 agosto del 2020, Recuperado de <http://www.gaia.fi/news/columns/carbon-footprint-new-challenges-and-opportunities-for-the-busin>

- Galbusera S., y Hilbert J., 2011. Análisis de emisiones de gases de efecto invernadero de la producción agrícola extensiva y estudio de la “huella de carbono” de los productos derivados de la soja en la República Argentina. N° Doc BC-INF-06-11
- García Martínez, P., 2019. Análisis de ciclo de vida aplicado a la producción de tomate bajo abrigo en Almería.
- García Ramos, J., Ortiz Cañavate J., y Ruiz Altisent M., 2004. Handling machinery and damage inflicted to the product. Production practices and quality assessment of food crops. Vol 3: Quality handling and evaluation, 199-231.
- Garduño, R., 2004. ¿Qué es el efecto invernadero? En Martínez, J. y Fernández-Bremauntz, A. Cambio Climático: Una visión desde México: 29-40. México. Instituto Nacional de Ecología.
- Garnett, T., 2011. Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in the food system (including the food chain)? Food Policy 36, S23-S32.
- Garnett, T., Carnegy, V., Ellen, N., Fox, T., Healy, S., Oram, J., Rowley, J., y Cox, S., 2003. Wise Moves: Exploring the Relationships between Food, Transport and Carbon Dioxide, Transport 2000 Trust. London.
- Gatica Sánchez, J.; Vásquez Benavides, J., y Jara Polanco, N., 2013. Cálculo de una cámara de frío para conservación de hielo, hortalizas y frutas congeladas.
- Godfray, J., Beddington, R., Crute, I., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, F., y Toulmin, C., 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. Science, 327(5967), 812-818.
- González, M., y Guzmán, G., 2017. Agroecology and ecological intensification. A discussion from a metabolic point of view. Sustainability, 9(1), 86.
- Goswami, Y., Kreith, F., y Kreider, J. F., 2000. Principles of solar engineering. CRC Press.
- GRAIN. 2011. Alimentos y Cambio Climático: el eslabón olvidado. 10 noviembre del 2019, Recuperado de <https://bit.ly/2TPjgG1>
- Grupo, E. T. C., 2017. ¿Quién nos alimentara. La red campesina alimentaria o la cadena agroindustrial?
- Guinée, B., 2002. Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards. The international journal of life cycle assessment, 7(5), 311-313.
- Herrero, A.; y Guardia, J. 1992. Conservación de Frutos. Manual técnico. Madrid: Mundi Prensa, 409 p.
- Hoekstra, Y., y Chapagain, K., 2007. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. Water resources management, 21(1), 35-48.
- Huamán Cruz, A., 2020. Elección óptima de arranque de motores eléctricos trifásicos asíncronos según su uso en la industria.
- Huijbregts, J., 1998. Application of uncertainty and variability in LCA. Int. J. Life Cycle Assess. 3, 273-280.
- Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., y Rojas, J., 2013. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. Agroforestería en las Américas, 45, 27-36.
- Idígoras, G., 2014. Producción y procesamiento de productos frutihortícolas. Documento de referencia. Ministerio de Ciencia tecnología e Innovación Productiva.
- Ihobe S.A., 2009. Análisis de ciclo de vida y huella de carbono. Gobierno Vasco, España: ihobe.
- IMO, 2016. IMO Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation (Module 2). wwwcdn.imo.org. 12 de septiembre del 2020, Recuperado de <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/M2%20EE%20regulations%20and%20guidelines%20final.pdf>.
- Incropera, F., 2013. Fundamentos de Transferencia de Calor y Masa. Hoboken, NJ: Wiley.
- INDEC - Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2019. Argentina- informes técnicos. Recuperado de <https://www.indec.gob.ar/informesdeprensa.asp>
- IPCC - Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, 2006. Directrices del IPCC 2006a para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 2 Energía. 19 de julio del 2021, Recuperado de <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol2.html>
- IPCC - Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, 2006. Directrices del IPCC 2006b para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 3 Procesos industriales y uso de productos Energía. 22 de julio del 2021, Recuperado de <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html>
- IPCC - Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, 2007. Cambio Climático 2007. Informe de Síntesis: Contribución de los Grupos de trabajo I, II, III, al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza, 114 p. Cuarto Informe de Evaluación. 9 Notarnicola, B., Sala, S., Anton, A., McLaren, S.J., Saouter, E., Sonesson, U.,

2017. The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: a review of the challenges. *J. Clean. Prod.* 140, 399-409.
- IPCC - Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, 2015. Cambio climático 2014: informe de síntesis/resumen para responsables de políticas. Ginebra: OMM.
- IPCC - Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, 2020. *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Suiza: OMM. 1 de octubre del 2021, Recuperado de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/02/SPM_Updated-Jan20.pdf
- IPCC - Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, 2021. Sexto Informe del grupo de trabajo I, Cambio Climático 2021: Bases físicas". 7 de septiembre del 2021, Recuperado de <https://www.unep.org/es/resources/informe/cambio-climatico-2021-bases-fisicas-contribucion-del-grupo-de-trabajo-i-al-sexto>
- IRTA, n.d. Catalan Research Institute of Food and Agriculture Technology.
- ISO, 2006a. ISO 14040:2006 - Environmental Management e Life Cycle Assessment eprinciples and Framework. International Standards Organization, Geneva.
- ISO, 2006b. ISO 14044:2006 - Environmental Managementdlife Cycle Assessmentd Requirements and Guidelines (Geneva, Switzerland).
- James, S., y James, C., 2010. The food cold-chain and climate change. *Food Res. Int.* 43, 1944-1956.
- Jones, A., 2001. *Eating Oil. Food Supply in a Changing Climate*. Sustain, London.
- Keyes, S., Tyedmers, P., y Beazley, K., 2015. Evaluating the environmental impacts of conventional and organic apple production in Nova Scotia, Canada, through life cycle assessment. *J. Clean. Prod.* 104, 40-51.
- Klöpfer, W., 2006. "The role of SETAC in the development of LCA". *International Journal of LCA* 11, 116-122.
- Labandera, X., León, C., y Vázquez, M., 2007. *Economía ambiental*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Lal, R., 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment international*, 30(7), 981-990.
- Lechón, Y., Herrera, I., Lago, C. Sánchez, J., y Romero, L., 2011. Evaluación del balance de gases de efecto invernadero en la producción de biocarburantes. Documento de apoyo al estudio técnico PER 2011-2020. Instituto de diversificación y ahorro energético. Madrid (España).
- Leff, E., 2012. Pensamiento ambiental latinoamericano: patrimonio de un saber para la sustentabilidad. *Environmental Ethics: The Centre for Environmental Philosophy*, 4, 97-112.
- Lescano, N. V., 2019. Plan de gestión ambiental para la reducción de la huella carbono en la producción y exportación de limón en Tucumán (Argentina).
- Leskovar, M., 2006. Rentabilidad económica de las decisiones de almacenamiento frigorífico de manzana y pera en Argentina. Tesis doctoral, Universitat de Lleida.
- Li, M., Jia, N., Lenzen, M., Malik, A., Wei, L., Jin, Y., y Raubenheimer, D., 2022. Global food-miles account for nearly 20% of total food-systems emissions. *Nature Food*, 3(6), 445-453.
- Liu, Y., Langer, V., Høgh Jensen, H., y Egelyng, H., 2010. Life Cycle Assessment of fossil energy use and greenhouse gas emissions in Chinese pear production. *The International Journal of Cleaner Production* 18: 1423-1430.
- Llistosella, J., y Sánchez Cuxart, A., 2019. Polisemias de la alimentación. Salud, desperdicio, hambre y patrimonio. Edicions Universitat Barcelona.
- Lombardía, G., 2017. Greenwashing: ser o no ser verde. *Harvard Deusto Márketing y Ventas*, (141), 30-35.
- Longo, S., Mistretta, M., Guarino, F., y Cellura, M., 2017. Life Cycle Assessment of organic and conventional apple supply chains in the North of Italy. *J. Clean. Prod.* 140, 654-663.
- López, D. y Mireia L., 2010. *La agroecología: hacia un nuevo modelo agrario*. Madrid: Ecologistas en Acción.
- Luffiego García, M. y Rabadán Vergara, M., 2000. La evolución del concepto de sostenibilidad y su introducción en la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias*, 18 (3): 473-486.
- Marizza, S., Rapacioli, R., y Vives, L., 2010. La problemática aluvional en el Alto Valle del Río Negro, Argentina. *Tecnología y ciencias del agua*, 1(1), 21-34.
- Martinez Alier, J., 2021. Circularity, entropy, ecological conflicts and LFFU. *Local Environment*, 1-26.
- Martinez, C., Alberti, G., Cotrufo, F., Magnani, F., Zanutelli, D., Camin, F., Gianelle, D., Cescatti, A., y Rodeghiero, M., 2016. Belowground carbon allocation patterns as determined by the in-growth soil core 13C technique across different ecosystem types. *Geoderma* 263, 140-150.
- MAyDS - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable Argentina, 2020. Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional de la República Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo

- Sostenible, República Argentina. 12 de septiembre del 2020, Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/contribucion-nacional>
- MAYDS - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable Argentina, 2019. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y Monitoreo de Medidas de Mitigación año 2016. 4 de agosto del 2020, Recuperado de <https://inventariogei.ambiente.gob.ar/resultados#>
- McLaren, S., Hume, A., y Mitraratne, N., 2010. Carbon management for the primary agricultural sector in New Zealand: case studies for the pipfruit and kiwifruit industries. Proc. VII Int. Conf. Food LCA 1, 293-298.
- McMichael, A., Powles, W., Butler, D., y Uauy, R., 2007. Food, livestock production, energy, climate change, and health. *Lancet* 370 (9594), 1253-1263.
- Mila i Canals, L., Burnip, M., y Cowell, J., 2006. Evaluation of the environmental impacts of apple production using Life Cycle Assessment (LCA): case study in New Zealand. *Agric. Ecosyst. Environ.* 114, 226-238.
- Mila i Canals, L., Cowell, J., Sim, S., y Basson, L., 2007. Comparing domestic versus imported apples: a focus on energy use. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 14, 338-344.
- Ministerio de Hacienda, 2017. Cadena de valor Manzanas y Peras AÑO 2 - N° 23 - diciembre 2017. 23 abril del 2020, Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspmicro_cadenas_de_valor_manzana_y_pera_0.pdf
- Mòdol, F., 2010. Cálculo y diseño de una instalación de conservación de fruta. Zaragoza.
- Montagut, X. y Gascón, J., 2014. Alimentos Desperdiciados; Icaria, Ed.; Barcelona: Quito, Ecuador. ISBN 9788498886184.
- Mouron, P., Scholz, W., Nemecek, T., y Weber, O., 2006. Life cycle management on Swiss fruit farms: relating environmental and income indicators for apple growing. *Ecol. Econ.* 58, 561-578.
- MTERD y OECC, 2020. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y Oficina Española de Cambio Climático (OECC). Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización. Factores de emisión. Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono. 19 de noviembre del 2020, Recuperado de https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf
- NEC - National Environment Commission, 2011. Environmental Management Tools and Techniques: National Capacity Self Assessment Project. Thimphu, Bhutan: National Environment Commission - Royal Government of Bhutan.
- Notarnicola, B., Sala, S., Anton, A., McLaren, S.J., Saouter, E., y Sonesson, U., 2017. The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: a review of the challenges. *J. Clean. Prod.* 140, 399-409.
- Orea, G., y Villarino, T., 2013. Evaluación de impacto ambiental. Madrid: Mundi-Prensa Libros.
- Organisation for Economic Cooperation and Development -OECD-, 1993. OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews: A synthesis report by the Group on the State of the Environment. Paris.
- Papendieck, S. 2010. La Huella de Carbono como Nuevo Estándar Ambiental en el Comercio Internacional de Agroalimentos: Informe Final. ATN/ME-9565-RG BIDFOMIN. 82 pp.
- Parada Puig, G., 2012. El agua virtual: conceptos e implicaciones. *Orinoquia*, 16(1), 69-76.
- Parker, J., Bakkes, J., Born, v. G., Helder, J., Swart, R., y Hope, C., 1994. An Overview of Environmental Indicators: State of the art and perspectives. Nairobi, Kenya.: UNEP/RIVM.
- PAS 2050 - Publically Available Specification, 2008. BSI, 2008a. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. British standards. Gran Bretaña. United Kingdom.
- PAS 2050 - Publically Available Specification, 2008. BSI, 2008b. How to Assess the Carbon Footprint of Goods and Services. British standards. Gran Bretaña. United Kingdom.
- PAS 2050 - Publically Available Specification, 2011. The Guide to PAS 2050:2011. How to carbon footprint your products, identify hotspots and reduce emissions in your supply chain. Defra (Department for Environment, Food and Rural Affairs), DECC (Dept. of Energy and Climate Change), BIS (Department for Business, Innovation and Skills). BSI London, British Library Cataloguing in Publication Data, 74.
- Pathak, H., y Wassmann, R., 2007. Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: I. Generation of technical coefficients. *Agricultural Systems*, 94(3), 807-825.
- Pengue, W., 2006. Agua virtual, agronegocio sojero y cuestiones económicas ambientales futuras. *Revista Fronteras* 5:14-26. Buenos Aires. Gepama. Fadu. UBA

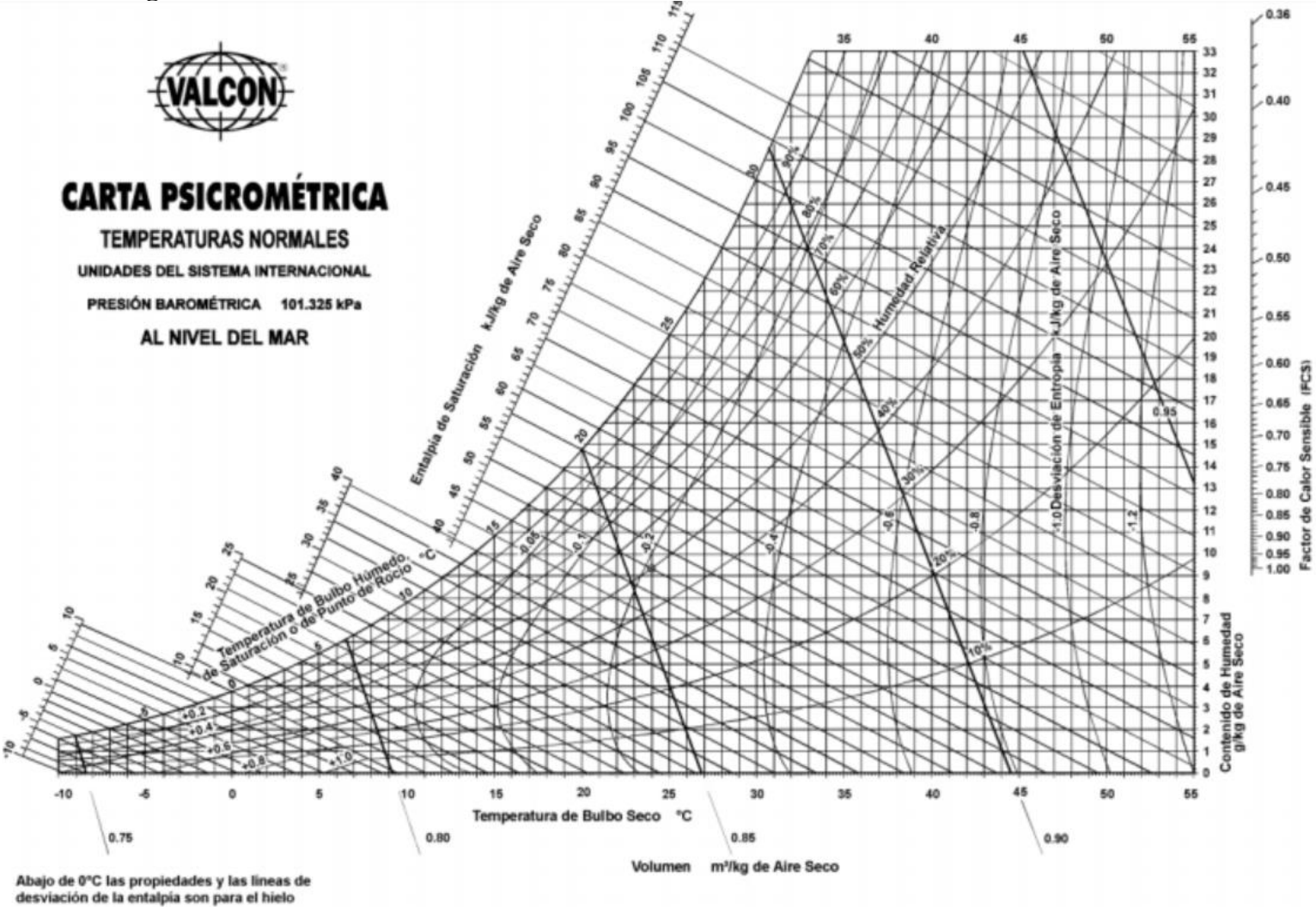
- Pengue, W., y Feinstein, H., 2013. Nuevos enfoques de la Economía Ecológica. Una perspectiva latinoamericana sobre el desarrollo. (Editores). Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Lugar Editorial, 336 p.
- Peterson, P., 1997. Sustainable development indicators for rapidly industrialising countries, From Concepts to Actions. Kuala Lumpur: Lestari.
- Pimentel, D., 2009. Energy inputs in food crop production in developing and developed nations. *Energies*, 2(1), 1-24.
- Pirog, R., van Pelt, T., Enshayan, K. y E. Cook., 2001. Food, Fuel and Freeways. Leopold Center for Sustainable Agriculture. Iowa State University, Ames.
- Plassmann, K., Norton, A., Attarzadeh, N., Jensen, M. P., Brenton, P., y Edwards-Jones, G., 2010. Methodological complexities of product carbon footprinting: a sensitivity analysis of key variables in a developing country context. *Environmental Science y Policy*, 13(5), 393-404.
- PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2012. Perspectivas del Medio Ambiente Mundial (GEO-5).
- Prakash, B. y Singh, R. Paul., 2008. Energy Benchmarking of Warehouses for Frozen Foods. Public Interest Energy Research (PIER) Program Contract and Research Project Reports. California Energy Commission, PIER Program. 11 noviembre del 2020, Recuperado de <http://ucce.ucdavis.edu/files/datastore/234-1194.pdf>.
- Preiss O., 2006. El complejo de fruta de pepita en Río Negro y Neuquén, en Viego V. y Gorestein S. Complejos productivos basados en recursos naturales y desarrollo territorial, Universidad Nacional del Sur.
- Ramírez Mora, N., 2021. ¿Medio ambiente o un solo ambiente? 11 octubre del 2020, Recuperado de <https://www.eha.cl/noticia/opinion/opinion-medio-ambiente-o-un-solo-ambiente-10699>.
- Ramos Fernández, 2015. "Ecodiseño de alimentos mediante el análisis de ciclo de vida". Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco.
- Rees, D., Farrell, G., Orchard, J., 2012. Crop Post-Harvest: Science and Technology. Blackwell Publishing Ltd.
- Rees, W., 1996. Indicadores territoriales de sustentabilidad. *Ecología política*, 27-41.
- Rees, W., y Wackernagel, M., 1996. Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability. *Environmental impact assessment review*, 16(4), 223-248.
- Restrepo, J., y Prager, M., 2000. Agroecología. Santo Domingo. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal -CEDAF-. 25 julio del 2020, Recuperado de <https://bit.ly/3gpwkt>
- Rieradevall, J., y Pere F., 1995. Análisis de ciclo de vida del producto, ACV, nueva herramienta de gestión ambiental. Universidad de Barcelona.
- Risch, J., 2009. Food packaging history and innovations. *J. Agric. Food Chem.* 57, 8089-8092.
- Rivela, B., Guayanlema, V., Corral, Á., y Quintana, P., 2014. Líneas estratégicas de acción en el sector transporte para la mitigación del cambio climático en Ecuador. *LÍNEASUR* 7, 90.
- Robalino López, A., y Díaz Ayala, P., 2017. Diseño de una cámara de tratamiento térmico para palés de madera (Bachelor's thesis, Espol). Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/41570>
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., y Shiina, T., 2009. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of food engineering*, 90(1), 1-10.
- Rosset, M., y Altieri, M., 1997. Agroecology versus input substitution: A fundamental contradiction of sustainable agriculture. *Society & Natural Resources*, 10(3), 283-295.
- Romero Díaz, M., 2007. Análisis de ciclo de vida, ACV. Herramienta de gestión ambiental. EOI. Escuela de Negocios.
- Rojas, J., Ibrahim, M., y Andrade, J., 2009. Secuestro de carbono y uso de agua en sistemas silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica. *Revista Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10(2), 214-223.
- Sabbatella, I., 2010. Crisis ecológica y subsunción real de la naturaleza al capital. *Iconos. Revista de Ciencias Sociales*, (36), 69-80.
- Sala, S., Anton, A., McLaren, S.J., Notarnicola, B., Saouter, E., y Sonesson, U., 2017. In quest of reducing the environmental impacts of food production and consumption. *J. Clean. Prod.* 140, 387-398.
- Sánchez, E., 2020. Programa Nacional Frutales. Superficie ocupada por plantaciones frutales en el país y cambios en su estructura productiva. Ediciones INTA. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12123/7906>
- Sanchez, E.; Calvo, G.; Candan, P.; Gomila, T.; Colodner, A. y Otros., 2010. Pera Williams: Manual para el productor y el empacador. Primera edición. 168 p. Editado en el marco del Proyecto CoFeCyt Respuesta a las limitantes tecnológicas que amenazan la competitividad de la pera Williams Argentina. Capítulo 12: Manejo de Poscosecha. 124-136 p. ISBN 978-987-25872-0-8.

- Sanjuán, N.; Stoessel, F.; y Hellweg, S., 2014. Closing data gaps for LCA of food products: estimating the energy demand of food processing. *Environ Sci Tech* 48(2):1132-1140.
- Sarandón, S., 2002. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. *Agroecología: El camino para una agricultura sustentable*, 20, 393-414.
- Scandellari, F., Zanutelli, D., Ceccon, C., Bolognesi, M., Montagnani, L., Cassol, P., Melo, W., y Tagliavini, M., 2015. Enhancing prediction accuracy of soil respiration in an apple orchard by integrating photosynthetic activity into a temperature-related model. *Eur. J. Soil Biol.* 70, 77-87.
- Schneider, H., y Samaniego, J. L., 2009. La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios, documentos de proyectos, N° 298, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL.
- SE - Secretaría de Energía de la Nación Argentina, 2021. Cálculo del Factor de Emisión de CO₂, de la Red Argentina de Energía Eléctrica 2019. 3 mayo del 2021, Recuperado de <http://datos.minem.gob.ar/dataset/calculo-del-factor-de-emision-de-co2-de-la-red-argentina-de-energia-electrica>
- Selin, E., 2010. Carbon footprint. *Encyclopedia Britannica*, Invalid Date, <https://www.britannica.com/science/carbon-footprint>. Accessed 2 March 2021.
- SEMARNAT - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, World Business Council for Sustainable Development and World Resources Institute -WBCSD- y World Resources Institute -WRI-, 2005. Protocolo de Gases de Efecto Invernadero: Estandar corporativo de contabilidad y reporte. México D.F. 9 de septiembre del 2019, Recuperado de https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/protocolo_spanish.pdf
- Senasa - Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, 2016. Situación de la Producción Orgánica en la Argentina durante el año 2015. Recuperado de http://www.mapo.org.ar/web_2007/wp
- Senasa - Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, 2020. Anuario Estadístico 2019 - Centro Regional Patagonia Norte. Argentina. Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anuario_estadistico_2019_crpn_senasa.pdf
- Senasa - Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, 2014. Anuario Estadístico 2013 - Centro Regional Patagonia Norte. Argentina. Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/03/anuario_2013.pdf
- Sessa, F., Marino, M., Montanaro, G., Piaz, A.D., Zanutelli, D., Mazzetto, y Tagliavini, M., 2014. Life Cycle Assessment of apples at a country level: the casestudy of Italy. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector Life*, pp. 1244-1248.
- Sim, S., Barry, M., Clift, R., y Cowell, J., 2007. The relative importance of transport in determining an appropriate sustainability strategy for food sourcing. *Int. J. Life Cycle Assess.* 12, 422-431.
- Sinden, G., 2009. The contribution of PAS 2050 to the evolution of international greenhouse gas emission standards. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(3), 195-203.
- Singh, P., y Heldman, R., 2001. *Introduction to food engineering*. Gulf Professional Publishing ISBN 0-12-646384-0.
- SM - Servicio Meteorológico de la ciudad de Río Negro, 2021. Clima General Roca Argentina datos históricos. 11 noviembre del 2020, Recuperado de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/argentina/rio-negro/general-roca-1945/>
- Sozzi, G., 2007. Tecnología de postcosecha de frutos de especies leñosas, 769-805 p. En: Sozzi, G.O. (Ed.), *Árboles Frutales: Ecofisiología, Cultivo y Aprovechamiento*. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina, 805 p. ISBN 950-29-0974-7.
- Steiner, R., 1988. *Curso sobre agricultura biológico-dinámica* (No. 631.584 S822c). Madrid, ES: Edit. Steiner.
- Stemshorn, B., Tiessen, H., y Myeong You, S., 2012. Articulación agricultura, salud pública y medio ambiente para la gestión de riesgos asociados a la producción de alimentos en las Américas: Experiencias institucionales para la gestión de riesgos ambientales en el marco de la producción de alimentos. 16ª Reunión Interamericana a nivel ministerial en salud y agricultura (RIMSA 16). RIMSA16/2.3.
- Thomassen, A., Dalgaard, R., Heijungs, R., y De Boer, I., 2008. Attributional and consequential LCA of milk production. *Int. J. LCA* 339-349.
- Thompson, J., Mejia, C., y Singh, P., 2010. Energy use of commercial forced-air coolers for fruit. *Applied Engineering in Agriculture*, 26(5), 919-924.
- Thompson, J.; Mitchell, G.; Rumsey, R.; Ekasmire, R. y Crisosto, H., 1998. Commercial cooling of fruits, vegetable and flowers. Oakland: Univ. Calif. Div. of A and Nat. Res. Pub.21567. 61 pp.
- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., Schindler, D., Schlesinger, H., Simberloff, D., y Swackhamer, D., 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science* 292, 281-284.

- Tzilivakis, J., Warner, J., May, M., Lewis, K. A., y Jaggard, K., 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems*, 85(2), 101-119.
- UN, 2015. Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Recuperado de <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>.
- UNE-EN ISO 13031-1, 2002. Invernaderos. Proyecto y construcción. AENOR.
- UNE-EN ISO 12241, 2010. Aislamiento térmico para equipos de edificación e instalaciones industriales. Método de cálculo.
- UNE-EN ISO 14040, 2006a. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia. AENOR.
- UNE-EN ISO 14044, 2006b. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices. AENOR.
- USDA (Servicio Exterior de Agricultura, Departamento de los Estados Unidos), 2010. Manzanas y Peras: producción, abastecimiento y distribución en determinados países. www.usda.com
- Valderrama, O., Espíndola, C., y Quezada, R., 2011. Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar Ausente en Cursos de Ingeniería y Ciencias. *Formación universitaria*, 4(3), 3-12.
- van der Ploeg, J. D., 2019. Imperios alimentarios, soberanía alimentaria y luchas sociales. *Revista Latinoamericana de Estudios Rurales*, 4(7).
- Venegas, R., 1998. Agricultura Sustentable e Investigación Agroecológica. *Revista Agroecología y Desarrollo*. 13: 11-16.
- Verghese, K., Lewis, H., Lockrey, S., y Williams, H., 2015. Packaging's role in minimizing food loss and waste across the supply chain. *Packag. Technol. Sci.* 28,603-620.
- Viglizzo, E., 2010. Huella de carbono, ambiente y agricultura en el Cono Sur de Suramérica. IICA.
- Viglizzo, E., 2018. Cambio climático y seguridad alimentaria global: Oportunidades y amenazas para el sector rural argentino. *Anales de la ANAV*, 69.
- Viglizzo, E., Frank, F., Bernardos, J., Buschiazzi, E., y Cabo, S., 2006. 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.
- Villarreal, P., Leskovar, M., López, A., Malaspina, L., Zubeldia, H., Boltshauser, V., Avella, B., y Bondoni, M., 2011. Balance Frutícola. Temporada 2009-2010. Complejo Manzanas-Peras. Río Negro y Neuquén. Informe técnico, Convenio: Secretaría de Fruticultura de Río Negro, Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional del Comahue, Ministerio de Desarrollo Territorial - Provincia de Neuquén, EEA INTA Alto Valle.
- Villarreal, P., Teixe, M., y Illescas, L., 2020. Producción orgánica de frutales en la Norpatagonia. EEA Alto Valle, INTA.
- Vinyes, E., Asin, L., Alegre, S., Muñoz, P., Boschmonart, J., y Gasol, C. M., 2017. Life Cycle Assessment of apple and peach production, distribution and consumption in Mediterranean fruit sector. *Journal of Cleaner Production*, 149, 313-320.
- Viñas, I.; Recasens, I.; Usall, J.; y Graell, J., 2013. *Poscosecha de pera, manzana y melocotón*. Mundiprensa. Madrid- España. 335 p.
- von Schirmding, Y., 2002. *Health in Sustainable Development Planning: The Role of Indicators*. Geneva: World Health Organization (WHO).
- Wackernagel, M., Schulz, B., Deumling, D., Linares, C., Jenkins, M., Kapos, V.,..... y Randers, J., 2002. Tracking the ecological overshoot of the human economy. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, 99(14), 9266-9271.
- Weber, C. L., Matthews, H. S., 2008. Food-miles and the relative climate impacts of food choices in the United States.
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., y Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *Int. J. Life Cycle Assess.* 9, 1218-1230.
- Wiedmann, T., y Minx, J., 2008. A Definition of Carbon Footprint In: C. C. Pertsova, *Ecological Economics Research Trends: Chapter 1*, 1-11 p., Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA. Recuperado de https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=5999.
- Witneben, B., y Kiyar, D., 2009. Climate change basics for managers. *Management Decision*, 47(7), 1122-1132.
- Woodward, R., Hammond, A., Adriaanse, A., Rodenburg, E., y Bryant, D., 1995. *Environmental Indicators: A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development*. Washington D.C.: World Resources Institute.
- WRI y WBCSD - World Resources Institute y World Business Council for Sustainable Development and World Resources Institute, 2004. *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting*

- Standard - Revised Edition. USA: World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development.
- Wright, A., Kemp, S., y Williams, I., 2011. Carbon footprinting: towards a universally accepted definition. Carbon management, 2(1), 61-72.
- WWF - Fondo Mundial para la Naturaleza, 2010. Living Planet Report. Gland, Switzerland.
- Yañes Espinoza, P., Villalobos Mateluna, P., y Iriarte Garcia, A., 2010. Gestión de la huella de carbono. Caso de estudio en la industria de manzana, 47. Recuperado de <http://dspace.utalca.cl/handle/1950/8468>
- Zervas, G., y Tsiplakou, E., 2012. An assessment of GHG emissions from small ruminants in comparison with GHG emissions from large ruminants and monogastric livestock. Atmospheric Environment, 49, 13-23.
- Zon, K., Dussi, C., Flores, L., López, A., 2011. Comercio justo: ¿una alternativa diferente para la comercialización de peras?. V Congreso de Gestión Ambiental. Memorias. Cuba. GA-152 p.
- Zubeldía, H., 2007. Breve Comentario sobre el sector frutícola regional. Informe técnico, Secretaría de Fruticultura de Río Negro -SFRN.

Anexo 1: Diagrama Psicrométrico



Anexo 2: Diagrama Presión-Entalpía del Amoníaco R-717

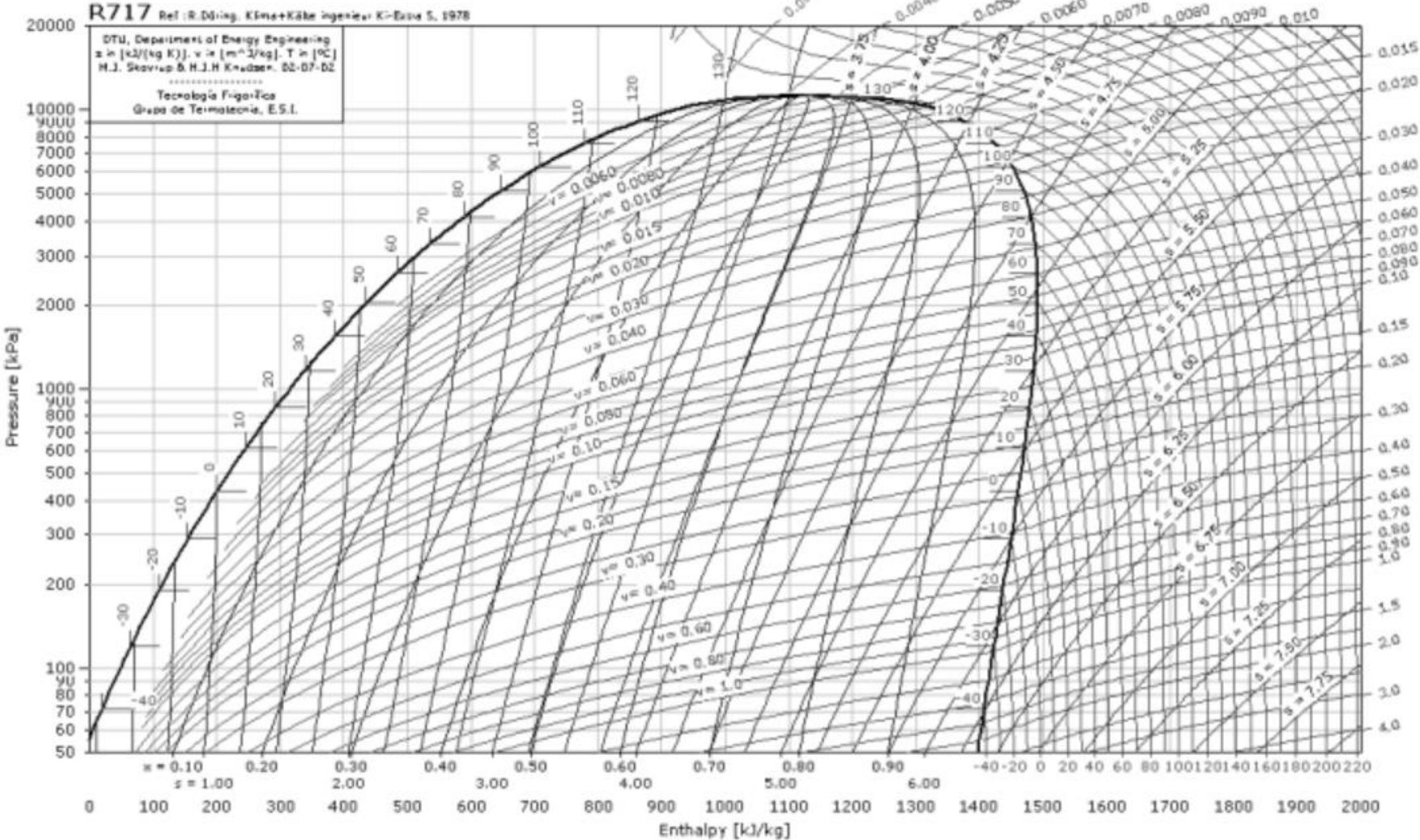


Tabla 2.A: Datos de entalpía para el refrigerante R-717 en un circuito frigorífico de compresión mecánica.

Puntos		Presión (kPa)	Entalpía (KJ/Kg)	Temperatura (°C)
Salida del evaporador (vapor)	h1	215,75	1450	-6,0
Salida del compresor (vapor sobrecalentado)	h2	1225,8	1620	80
Salida condensador (líquido)	h3	1225,8	365	35
Salida de válvula (líquido)	h4	215,75	365	-6,0

Anexo 3: Factores de emisión (FE) utilizados para los cálculos de HC

Tabla 3.A: Factores de emisión en tonelada*MWh para el consumo de energía eléctrica en argentina durante el año 2019.

Generación (GWh)	Año 2019
Térmica	80.691
Hidráulica	36.832
Nuclear	7.927
Renovable	5.796
Importación	2.746

Consumo de Combustible	Año 2019	Emisiones tCO ₂	Factor de Emisión	
			Valor	Unidad
Gas Natural [mdam3]	17.211	33.529.930		
Fuel Oil [kTon]	186	588.751		
Gas Oil [mm3]	404	1.089.330	0,43	tCO ₂ /MWh
Carbón [kTon]	222	518.059		
Biodiesel [kTon]	0			
Total		35.726.070		

Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaria de Energía de la Nación Argentina 2021.

Tabla 3. B: Valores de densidad, calor calorífico neto y factores de emisión para otros insumos directos.

Concepto	Densidad	Valor calorífico neto	Factor de Emisión	
	Kg/L	GJ/Kg	Valor	Unidad
GLP (Combustible)*	0,542	0,0473	63,16	Kg CO ₂ eq/GJ
Lubricante (Aceite)	0,853	0,0402	73,30	Kg CO ₂ eq/GJ
Amoníaco (NH ₃)			1,50	Kg CO ₂ eq/tn
Agua potable			0,34	Kg CO ₂ eq/m3

* Los valores representan el 100% de oxidación del contenido de carbono del combustible.

Fuente: Elaboración propia con datos del IPCC, 2006 a y b; DEFRA, 2013; Pava *et al.*, 2016 y MTERD y OECC, 2020.

Tabla 3. C: Factores de emisión utilizados para el cálculo de la HC en los materiales de empaque y embalaje.

Material	Factor de emisión	
	Valor	Unidad
Papeles y Cartón	1,79	Kg CO _{2eq} /Kg
Polietileno de baja densidad (PEBD)	1,48	Kg CO _{2eq} /Kg
Polietileno de alta densidad (PEAD)	1,70	Kg CO _{2eq} /Kg
Acero	2,90	Kg CO _{2eq} /Kg
Madera Palés	0,68	Kg CO _{2eq} /Kg
Maderas Jaula	0,50	Kg CO _{2eq} /Kg
Tereftalato de polietileno (PET)	3,40	Kg CO _{2eq} /Kg

Fuente: Elaboración propia con datos de AGO, 2007; IPCC, 2006 a y b; Wernet *et al.*, 2016 y Ecoinvent, 2019.

Tabla 3. D: Factores de emisión en tonelada*km para el transporte de fruta (ruta de los productos).

Medio de transporte	Ruta de Productos	Vía	Peso Bruto	Carga (%)	Factor de Emisión	
					Valor	Unidad
Camión rígido (Diésel)	Unidad productiva al Empaque/Frigorífico	Terrestre	>7,5-17 tn	85	392,3	g CO _{2eq} /tn*Km
Camión articulado (Diésel)	Frigorífico al puerto SAE, Bs.As. o países limítrofes	Terrestre	> 3,5 - 33 tn	90	148,3	g CO _{2eq} /tn*Km
Contenedor refrigerado	Puerto a Puerto	Marítima	1000-1999 TEU*	70	32,4	g CO _{2eq} /tn*Km

* Unidad Equivalente a Veinte Pies

Fuente: Elaboración propia con datos de DEFRA, 2013.