



INFORME



CONSULTORÍA

Estimación del Factor de Emisión para neumáticos nuevos y recauchados

Solicitado por: *Asociación de Recauchadores y Renovadores de Neumáticos de Chile A.G.*

Agosto 2019

ÍNDICE

ÍNDICE	2
1 SUSTREND.....	4
2 OBJETIVO.....	4
3 ANTECEDENTES.....	5
3.1 NEUMÁTICO COMO BIEN ADQUIRIDO.....	5
3.2 NEUMÁTICO COMO RECICLAJE.....	6
3.3 DELIMITACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE EMISIÓN PARA NEUMÁTICOS NUEVOS Y RECAUCHADOS.	9
4 METODOLOGÍA.....	10
5 RESULTADOS.....	13
5.1 RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE EMISIÓN PARA NEUMÁTICOS NUEVOS.....	13
5.1.1 EXTRACCIÓN, EXPLOTACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE MATERIALES	13
5.1.2 DISTRIBUCIÓN DE MATERIALES	14
5.1.3 DISTRIBUCIÓN	16
5.1.4 FACTOR DE EMISIÓN DE NEUMÁTICOS NUEVOS	16
5.2 RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE EMISIÓN PARA NEUMÁTICOS RECAUCHADOS	17
5.2.1 5.1.1 EXTRACCIÓN, EXPLOTACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE MATERIALES	17
5.2.2 FABRICACIÓN DE BANDAS DE NEUMÁTICO NUEVAS	18
5.2.3 DISTRIBUCIÓN DE LAS BANDAS DE NEUMÁTICO HACIA CHILE	19
5.2.4 RECAUCHAJE DE NEUMÁTICOS	20
5.2.5 FACTOR DE EMISIÓN DE NEUMÁTICOS RECAUCHADOS	20
6 INCERTIDUMBRES.....	22
7 DISCUSIONES	25
8 ANEXO 1 NEUMÁTICO NUEVO	27
9 ANEXO 2 ESTADÍSTICAS ARNEC.....	29
10 ANEXO 3 INFORMACIÓN DE LAS BANDAS DE NEUMÁTICO	30
11 ANEXO 4 FACTORES DE EMISIÓN	31
12 ANEXO 5 INCERTIDUMBRE	33

1 SUSTREND

SUSTREND es una consultora técnica que cuenta con un equipo de profesionales multidisciplinarios reconocidos en el mercado, dedicada a buscar soluciones que permitan generar competitividad y diferenciación en nuestros clientes, en el marco de la sustentabilidad.

SUSTREND desarrolla proyectos de innovación (I+D+i), transferencia tecnológica, gestión energética, cálculo de Huella de Carbono y Huella Hídrica, Educación Ambiental, generación de herramientas de Mercado de Carbono y Economía Circular.

Dentro de la experiencia de SUSTREND, a continuación, se presenta los proyectos realizados con relación a la Huella de Carbono:

- Evento de término del **Programa de Transferencia Tecnológica Chileno-Alemana** realizado en Recauchaje Insamar con la participación de Universidad Técnico Federico Santa María, Efa-Leipzig, TÜV-Rheiland y Sustrend. Cuantificación de la Huella de Carbono del Evento, encuestando a 85.
- Evento **Reparalab**: Creado por la empresa Modulab junto al patrocinio de Almacenes Paris y el Ministerio de Medio Ambiente, ejecutados en Santiago y Viña del Mar 2019. La Consultora Técnica Sustrend realiza la Cuantificación de Huella de Carbono del evento y la medición de impactos sociales, bajo una matriz de indicadores alineados en los ODS (Objetivos Sostenibles de Desarrollo). A la fecha se han realizado 4 eventos con una participación promedio de 40 asistentes cada uno.
- **Encuentro de Colabores B**: Cuantificación de la Huella de Carbono del Evento, desarrollado el 7 de junio 2019, Santiago. Asistentes encuestados: 250.
- **Primera Jornada de Reciclaje de Neumáticos** organizado por la Sociedad Latinoamericana del Caucho: Cuantificación de Huella de Carbono del evento. 19 y 20 Junio 2019. Asistentes encuestados: 110.
- **Cuantificación de Huella de Carbono del Ministerio de Medio Ambiente y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)**: Actualmente asesoría en Ejecución.
- **Verificación para el programa HuellaChile**: Asesoría en ejecución, donde se esta verificando las emisiones de 30 municipalidades.

2 OBJETIVO

El objetivo del presente informe es entregar los resultados de la consultoría ejecutada para determinar el factor de emisión de gases de efecto invernadero para la adquisición de neumáticos nuevos y por el proceso de recauchajes.

3 ANTECEDENTES

El alcance y contexto de esta asesoría parte de la necesidad de la Asociación de Recauchadores y Renovadores de Chile (ARNEC) por cuantificar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero de sus procesos y compararlos frente a la producción de neumáticos nuevos.

Actualmente para calcular la huella de carbono se utiliza la plataforma de cálculo que proporciona el programa Huella Chile del Ministerio de Medio Ambiente de Chile. Este programa cuenta con una diversidad de factores de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) que permiten determinar de manera sencilla las emisiones de dióxido de carbono equivalente por las actividades realizadas por las instituciones que realizan el cálculo y de esta forma declarar la huella de carbono.

Para el caso puntual de neumáticos, existen dos factores de emisión de GEI que incluyen el concepto de neumáticos. Estos factores (ver Tabla 1) corresponden al alcance 3 de la huella de carbono en la categoría "Bienes y/o servicios adquiridos" y "Tratamiento y/o disposición de residuos". Para ambos factores, el nivel de incertidumbre asociado al cálculo es "Alto".

Tabla 1. Factores de emisión para "Neumáticos" en el programa Huella Chile año 2017.

Alcance	Categoría	Subcategoría	Valor	Unidad	Fuente
3	Bienes y/o servicios adquiridos	Bienes adquiridos	3.410	[kgCO _{2eq} /t]	DEFRA ¹
3	Tratamiento y/o disposición de residuos	Reciclaje	21	[kgCO _{2eq} /t]	DEFRA ¹

3.1 Neumático como bien adquirido

DEFRA es una institución del Reino Unido encargada de asuntos rurales, alimenticios y medioambientales. En este rol, todos los años producen una base de datos con factores de emisión de GEI para diferentes actividades que pueden generar emisiones de GEI.

DEFRA para el caso de bienes adquiridos, el factor de emisión para neumáticos considera la extracción, la transformación primaria, la fabricación y el transporte de los materiales hasta el punto de venta (considerando que el cálculo se hace hacia los puntos de venta de Reino Unido).

La fabricación de neumáticos es un proceso industrial que involucra una gran cadena de proveedores y diversos productos que dan ciertas características al neumático. Debido a esto existe una gran cantidad de recetas para la fabricación de neumáticos con diferentes tipos de caucho (natural y sintético), negro de humo, acero, textil, acelerantes, antioxidantes y otros químicos. De acuerdo a ARNEC en su Acuerdo de Producción Limpia, en Chile el neumático de camión más recauchado es el de medidas 295/80R22,5 con un 46,7% de neumáticos recauchados, seguido por el 11R22,5 con un 20,5% de neumáticos recauchados a nivel nacional. En base a estas medidas se determinarán los valores de la composición de acuerdo a la distribución de sus compuestos según el análisis bibliográfico.

Para la fabricación de un neumático de camión las proporciones en su composición se pueden ver en la Tabla 2 y se puede apreciar que la principal diferencia entre los neumáticos de origen europea y estadounidense es el contenido de negro de humo y acero. En el caso de la producción europea,

¹ Department for Environment Food & Rural Affairs (2013), UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting

tienen una mayor cantidad de acero y en el caso estadounidense un mayor contenido de negro de humo.

3.2 Neumático como reciclaje

DEFRA en el caso de reciclaje, el factor de emisión de 21 es el mismo para el reciclaje en un mismo producto, diferentes productos y re-uso del material. Sin embargo, el factor utilizado por Huella Chile no informa del tipo de alternativa a considerar, por lo tanto, no se podría considerar como un factor de emisión para el recauchaje de manera directa.

El recauchaje es un proceso que permite reutilizar un neumático usado con una banda de neumático nueva. La banda del neumático es la parte del neumático que está en contacto con el suelo y sufre por la fricción producida durante la rodadura del neumático, al terminar el límite de uso de la banda esta es preparada en una planta de recauchaje para que sea adherida una nueva banda de rodamiento por medio de un proceso de vulcanización. Estas bandas pueden tener diferentes características técnicas que afectan su composición, por lo tanto, se debe definir un promedio para la estimación del factor de emisión. De acuerdo a información comercial de un proveedor de bandas en Chile, en promedio una banda pesa 3.9 [kg] por metro, por lo que para un neumático 295/80R22,5 se necesitaría aproximadamente 13 kg de banda, lo que equivale a un 20% del peso de un neumático nuevo de las mismas medidas.

La fabricación de bandas para neumáticos considera una mezcla en diferentes proporciones de caucho natural, caucho sintético, carbon black y otros químicos y aditivos. El contenido principal de una banda de neumático es un 50% caucho, 30% negro de humo (carbon black en inglés) y 20% en aditivos acelerantes y antioxidantes. El detalle de la composición de una banda de neumático se puede ver en detalle en la Tabla 3.

Tabla 2. Distribución de la composición de los principales compuestos involucrados en la fabricación de neumáticos de camión.

Materiales		Boateng 2016 ²	Pehlken & Essadiqi, (2005). ³	Sharma, et al (2000) ⁴	Sienkiewicz, M. et al (2012) ⁵	Feraldi et al (2012) ⁶	Presti, D. L. (2013) ⁷	Williams, P. T. (2013) ⁸	Evans A., Evans R., (2006) ⁹	
Elastómero	Total	37%	41%	45%	41%	45%	41%	43%	45%	45%
	Caucho natural	25%	27%	-	27%	30%	27%	-	-	16
	Caucho Sintético	13%	14%	-	14%	15%	14%	-	-	31
Negro de humo		25%	28%	22%	28%	20%	28%	21%	22%	22%
Acero		17%	14-15	25%	14-15	25%	15%	27%	25,00%	25%
Textiles		15%				3%				4
Aditivos	Total	5%	16-17	9,20%	16-17	10%	13,68%	9,00%	8,00%	8,00%
	Oxido de Zinc	n.d.	0,43%	2,20%	0,43%	2,00%	0,43%	2,00%	2,00%	2,00%
	Sulfuro	n.d.	0,25%	1,00%	0,25%	1,00%	0,25%	1,00%	1,00%	1,00%
	Otros aditivos y aceites	n.d.	16,32%	6,00%	16,32%	7,00%	13,00%	6,00%	5,00%	5,00%
Peso [kg]			54	-	54	65	54	-	-	-
Origen			EE.UU.	Europa	EE.UU.	Europa	EE.UU.	Europa	Europa	Europa

² A. A Boateng, in Rotary Kilns (Second Edition), 2016³ Pehlken, Alexandra & Essadiqi, Elhachmi. (2005). Scrap Tire Recycling in Canada. 10.13140/2.1.1941.8400.⁴ Sharma, V. K., F, Mincarini, M., Berillo, M., & Cornacchia, G. (2000). Disposal of waste tyres for energy recovery and safe environment. *Applied Energy*, 65(1-4), 381-394.⁵ Sienkiewicz, M., Kucinska-Lipka, J., Janik, H., & Balas, A. (2012). Progress in used tyres management in the European Union: a review. *Waste management*, 32(10), 1742-1751.⁶ Feraldi, Rebe & Cashman, Sarah & Huff, Melissa & Raahauge, Lars. (2012). Comparative LCA of treatment options for US scrap tires: Material recycling and tire-derived fuel combustion. The International Journal of Life Cycle Assessment. 18. 10.1007/s11367-012-0514-8.⁷ Presti, D. L. (2013). Recycled tyre rubber modified bitumens for road asphalt mixtures: A literature review. *Construction and Building Materials*, 49, 863-881.⁸ Williams, P. T. (2013). Pyrolysis of waste tyres: a review. *Waste management*, 33(8), 1714-1728.⁹ Evans A., Evans R., 2006. The composition of a tyre: Typical components, Waste & Resources Action Programme, Banbury Oxford, UK.

Tabla 3. Distribución de la composición de los principales compuestos involucrados en la fabricación de bandas de neumáticos de camión.

Materiales	Zafarmehrabian, et al. (2012).¹⁰	Rajan, et al (2006)¹¹.
Caucho natural	41,04%	40,77%
Caucho sintético	13,68%	17,47%
Carbon Black	32,83%	30,29%
Aceite	5,47%	4,95%
Oxido de Zinc	2,19%	2,62%
Acido esteárico	1,09%	1,16%
Sulfuro	0,82%	1,28%
Otros aditivos	2,87%	1,46%

¹⁰ Zafarmehrabian, R., Gangali, S. T., Ghoreishy, M. H. R., & Davallu, M. (2012). The effects of silica/carbon black ratio on the dynamic properties of the tread compounds in truck tires. *Journal of Chemistry*, 9(3), 1102-1112.

¹¹ Rajan, V. V., Dierkes, W. K., Joseph, R., & Noordermeer, J. W. M. (2006). Recycling of NR based cured latex material reclaimed with 2,2'-dibenzamidodiphenyldisulphide in a truck tire tread compound. *Journal of Applied Polymer Science*, 102(5), 4194-4206. doi:10.1002/app.24563

3.3 Delimitación de la estimación del factor de emisión para neumáticos nuevos y recauchados.

El enfoque de trabajo utilizado en el presente informe para determinar un factor de emisión es analizar el ciclo de vida del proceso involucrado en la producción de neumáticos nuevos y bandas de rodamiento. Para determinar el factor de la adquisición de neumáticos nuevos fueron considerados procesos de Estados Unidos y Europa siguiendo el siguiente diagrama del proceso (Ver Figura 1). La producción de neumáticos en China considera las formulaciones de neumáticos tipo "EE.UU." y tipo "Europa" utilizando factores propios de la producción en China.

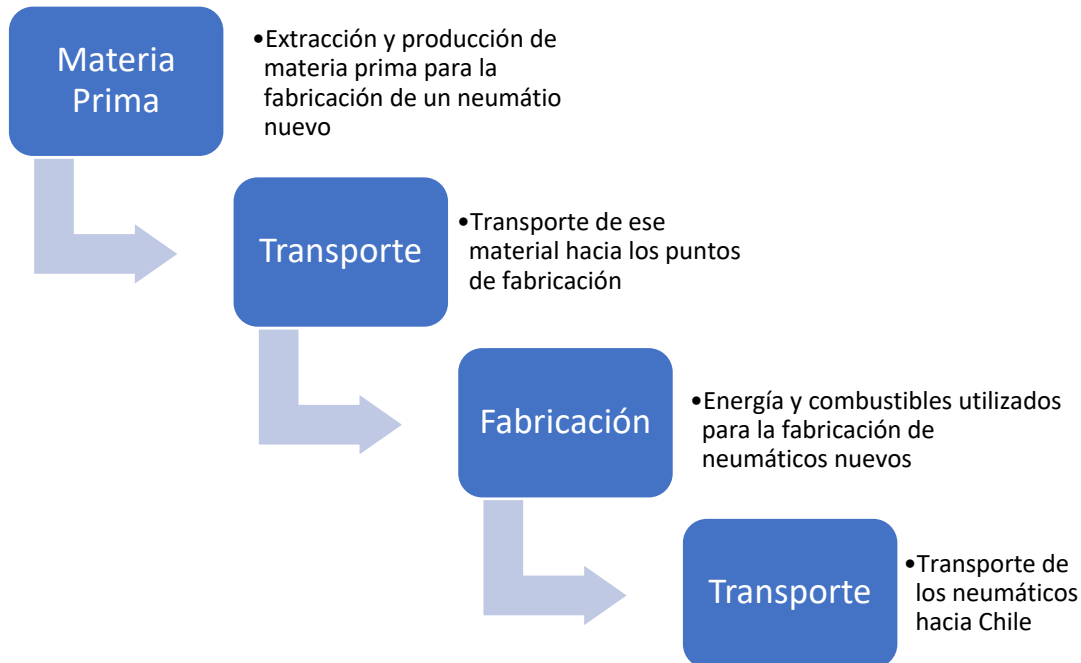


Figura 1. Alcance del análisis para la determinación del factor de emisión de GEI en la producción de un neumático nuevo.

Para la determinación del factor de emisión de GEI por el recauchaje se han considerado dos procesos. La fabricación de una banda de rodamiento y el proceso de recauchaje en sí, como se puede ver en la Figura 2, fabricación de banda de rodamiento es un insumo en el proceso de recauchaje de neumáticos.

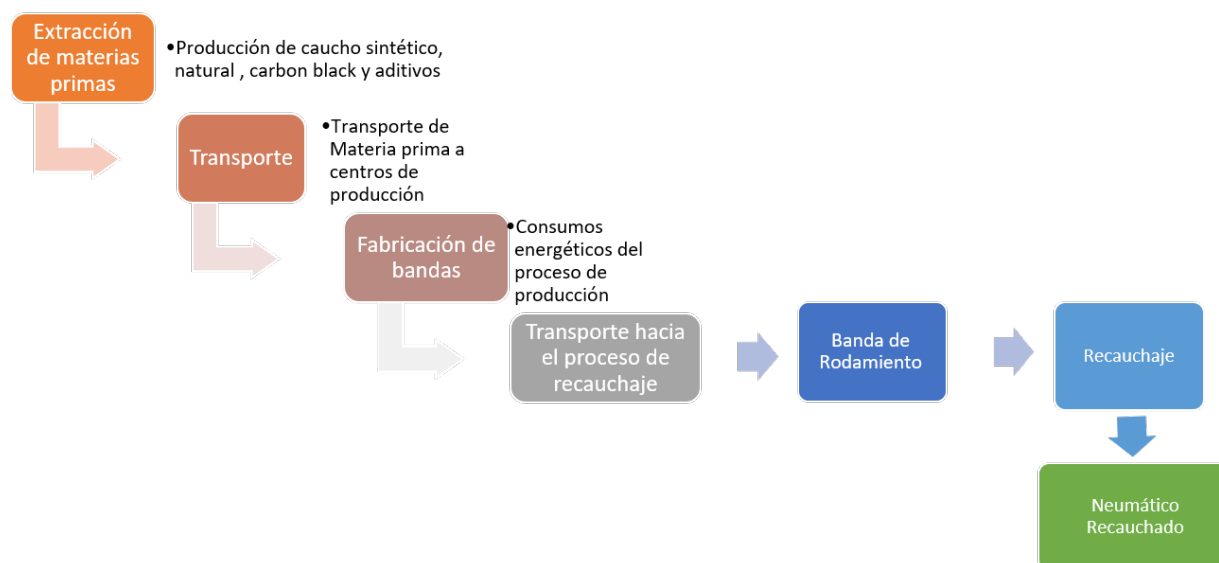


Figura 2. Alcance del análisis para la determinación del factor de emisión de GEI en la producción de un neumático recauchado.

La fabricación de la banda de rodamiento implica la extracción o producción de materiales como caucho natural, caucho sintético, negro de humo y otros aditivos. Además, el transporte necesario hacia los puntos de fabricación. El proceso de fabricación es considerado como una porción del proceso de fabricación de un neumático nuevo (aproximadamente un 20%) y finalmente el transporte hacia Chile desde los puntos de fabricación. En el proceso de recauchaje se considera los consumos energéticos por neumático recauchado informados por ARNEC durante el desarrollo de su acuerdo de producción limpia.

4 METODOLOGÍA

Para la estimación del cálculo se ha utilizado un enfoque de ciclo de vida del proceso analizado considerando los puntos de emisiones de gases de efecto invernadero. Un análisis de ciclo de vida puede considerar diferentes ámbitos desde la extracción y explotación de recursos hasta la disposición final del producto. Para el desarrollo del análisis de ciclo de vida de un neumático nuevo y uno recauchado se usó un alcance de la cuna a la puerta.

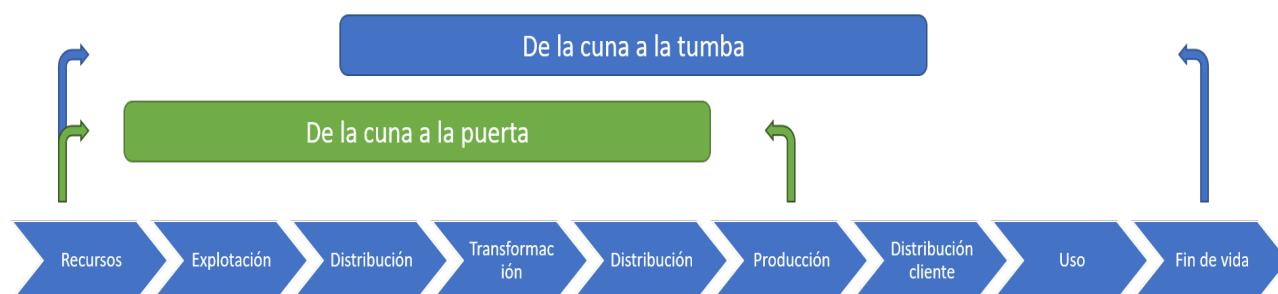


Figura 3. Terminología relacionada al alcance en el análisis de ciclo de vida

Como se puede ver en la Figura 3, y de acuerdo al alcance considerado para el análisis, se consideran las emisiones de dióxido de carbono equivalente asociadas de acuerdo a cada punto del ciclo.

Para el análisis de la producción de un neumático nuevo los puntos considerados son:

- Recursos y Transformación:
 - Producción de caucho natural
 - Producción de caucho sintético: Goma estireno-butadieno
 - Producción de negro de humo (carbon black)
 - Producción de acero: Acero de baja aleación
 - Producción de aditivos (para este análisis se consideró solo la producción de aceite pesado)
- Distribución
 - Transporte hacia las plantas de producción en EE.UU., Europa y China (basado en información entregada por la OECD).
- Fabricación
 - Energía: Costo energético de la fabricación de neumáticos (electricidad y combustible fósil).
- Distribución
 - Transporte en barco desde EE.UU. y Europa hacia Chile (Para EEUU desde el puerto de Miami y para Europa desde el puerto de Rotterdam hacia el puerto de San Antonio en Chile).

Para el análisis de la producción de neumáticos recauchados se han tomado dos líneas de proceso diferentes, como se detalla a continuación:

- Producción de banda de rodamiento
 - Recursos y Transformación
 - Producción de caucho natural
 - Producción de caucho sintético

- Producción de carbon black
- Producción de aditivos
- Distribución
 - Transporte: desde los puntos de extracción, explotación y transformación (igualmente considerando la información entregada por la OCDE).
- Fabricación:
 - Energía: Como una parte (20% aproximadamente) del costo energético de la fabricación de neumáticos (electricidad y combustible fósil).
- Distribución
 - Transporte en barco desde EE.UU. y Europa hacia Chile (Para EE.UU. desde el puerto de Miami y para Europa desde el puerto de Rotterdam hacia el puerto de San Antonio en Chile).
- Producción de Neumático Recauchado
 - Fabricación
 - Energía: Costo energético de la producción de neumáticos recauchados (electricidad y combustible fósil).

5 RESULTADOS

Los resultados serán presentados en una primera parte para los neumáticos nuevos y luego para los neumáticos recauchados.

5.1 Resultados de la estimación del factor de emisión para neumáticos nuevos

A continuación, se presenta en resumen los valores utilizados para la estimación de un factor de emisión de GEI para neumáticos nuevos considerando a Chile como destinatario. El detalle se puede analizar en el anexo 1.

5.1.1 Extracción, explotación y transformación de materiales

Los cálculos de emisiones consideran el contenido y peso de un neumático utilizando la información presentada en la Tabla 4 a continuación.

Tabla 4. Contenido de los principales componentes de un neumático nuevo de camión según el origen.

Materiales	EE.UU.	Europa
Peso [kg]	54	65
Caucho natural	25%	30%
Caucho Sintético	13%	15%
Negro de humo	25%	22%
Acero	17%	25%
Textil	15%	-
Oxido de Zinc	0,4%	2,0%
Sulfuro	0,3%	1,0%
Otros aditivos y aceites	4,3%	5%

De acuerdo a la tabla 4, los materiales necesarios para la fabricación de neumáticos es la siguiente

Tabla 5. Cantidad de material [kg] para la fabricación de un neumático nuevo según su origen.

Materiales [kg]	EEUU	Europa
Caucho natural	13,38	19,50
Caucho sintético	6,94	9,75
Negro de humo	13,87	14,30
Acero	9,47	16,25
Textil	8,08	-
Oxido de Zinc	0,23	1,33
Sulfuro	0,14	0,65
Otros aditivos y aceites	2,32	3,25
TOTAL	54,09	65,23

5.1.2 Distribución de materiales

Los factores de transporte se han adaptado del informe “Nanotecnología y neumáticos: Industria y transporte verdes” de la OCDE¹². Este informe presenta una evaluación de ciclo de vida para neumáticos nuevos comparando frente a la producción con nuevos materiales nanotecnológicos. Los datos utilizados para el transporte se pueden ver en la Tabla 6 y muestran el valor de toneladas por kilómetro recorrido para cada material necesario para producción de neumáticos y contemplando el uso de camión y barco hacia los puntos de fabricación.

Tabla 6. Valores de transporte de materiales utilizados para la producción de neumáticos nuevos según origen y tipo de transporte

Materiales	EE.UU.		Europa		Unidad
	Camión	Barco	Camión	Barco	
Caucho sintético	1,0078	10,4314	1,0047	10,4206	[t-km/kg]
Caucho Natural	0,3843	11,7255	0,3832	11,7290	[t-km/kg]
Negro de humo	0,9843	0,2392	0,9299	0,2243	[t-km/kg]
Sulfuro	0,0357	0,0980	0,0355	0,0981	[t-km/kg]
Oxido de Zinc	0,0510	0,0027	0,0514	0,0028	[t-km/kg]
Otros aditivos	0,0380	0,1412	0,0383	0,1402	[t-km/kg]
Acero	0,5216	0,9608	0,6075	1,1121	[t-km/kg]

Además, las emisiones por tipo de transporte se han obtenido Capítulo 8 del informe del grupo de trabajo III para el Quinto Reporte de Evaluación del IPCC¹³, que trabajo sobre la temática de transporte. En este informe se pueden obtener los siguientes valores para la estimación de emisiones para los tipos de transporte:

Tabla 7. Valores mínimos y máximo de emisión de CO₂ equivalente directo por tipo de transporte.

Emisiones de CO ₂ equivalente directas por transporte		
Camiones	0,076	[kgCO _{2e} /t-km]
	0,0867 ¹⁴	[kgCO _{2e} /t-km]
	0,178	[kgCO _{2e} /t-km]
Barco	0,002	[kgCO _{2e} /t-km]
	0,016 ¹⁵	[kgCO _{2e} /t-km]
	0,04	[kgCO _{2e} /t-km]

¹² OECD (2014), Nanotechnology and Tyres: Greening Industry and Transport, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264209152-en>.

¹³ Sims R., R. Schaeffer, F. Creutzig, X. Cruz-Núñez, M. D’Agosto, D. Dimitriu, M.J. Figueroa Meza, L. Fulton, S. Kobayashi, O. Lah, A. McKinnon, P. Newman, M. Ouyang, J.J. Schauer, D. Sperling, and G. Tiwari, 2014: Transport. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

¹⁴ Programa Huella Chile, Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno de Chile.

¹⁵ Programa Huella Chile, Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno de Chile.

La fabricación de neumáticos no cuenta con una gran cantidad de información bibliográfica disponible para realizar este tipo de análisis, pero se han podido obtener algunos datos que han sido utilizados y se muestran a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 8. Valores de la energía utilizada en la fabricación de neumáticos

Fuente	Descripción	Valor	Unidad	Nota
Environment Australia (2001) ¹⁶	Energía (no indica diferencias entre energía térmica y eléctrica) utilizada para la producción de un kilogramo de neumáticos	3,24	[kWh/kg]	Información obtenida del sector de producción de neumáticos en Australia
Shanbag & Manjare (2019) ¹⁷	Energía total utilizada para la producción de un kilogramo de neumáticos	2,35	[kWh/kg]	Información estimada de los valores descritos en el artículo
	Energía eléctrica utilizada para la producción de un neumático	37,9	[kWh]	Energía eléctrica utilizada por la planta productiva; Se considera un neumático de peso de 50 kilogramos
	Energía contenida en el fuel oil utilizado para consumo energético	75,98	[kWh]	Fuel oil utilizado por la planta productiva; Se considera un neumático de peso de 50 kilogramos
	Energía contenida en el diésel utilizado para consumo energético	3,61	[kWh]	Diesel utilizado por la planta productiva; Se considera un neumático de peso de 50 kilogramos
España	Energía utilizada para la producción de un neumático nuevo	3,19	[kWh/kg] eléctrico	Información
		4,42	[kWh/kg] térmico	
Reschner (2008) ¹⁸	Energía utilizada para la producción de un kilogramo de neumáticos	32	[kWh/kg]	No establece el origen de la información.

El análisis realizado por Shanbag & Manjare (2019) cuenta con mayor rigurosidad en el desglose de la información para la determinación del consumo energético del proceso de fabricación de neumáticos, por lo que ese es el dato utilizado en el presente análisis.

¹⁶ Australia. Environment Australia. & Atech Group. (2001). A national approach to waste tyres. [Canberra] : Environment Australia, <http://www.ea.gov.au/industry/waste/awr/tyres/>

¹⁷ Shanbag, Amit & Manjare, Sampatrao. (2019). Life Cycle Assessment of Tyre Manufacturing Process. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. 10.13044/j.sdewes.d7.0260.

¹⁸ Reschner, K. (2008). Scrap tire recycling. A summary of prevalent disposal and recycling methods. Entire-Engineering, Berlin.

Los factores de emisión de cada una de las redes eléctricas se presentan a continuación en la siguiente tabla.

Origen	Valor	Unidad	Fuente
Estados Unidos	0,498	[kgCO _{2e} /kWh]	Valor estimado usando información de la Agencia de Información Energética de Estados Unidos (https://www.eia.gov/electricity/data/state/)
Europa	0,3144	[kgCO _{2e} /kWh]	https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-2/assessment-4
China	0,9869	[kgCO _{2e} /kWh]	Institute for Global Environmental Strategies (2019). List of Grid Emission Factors, version 10.4. Available at: https://pub.iges.or.jp/pub/iges-list-grid-emission-factors

5.1.3 Distribución

Finalmente, el transporte desde los puntos de producción hacia Chile considera los siguientes supuestos:

- El tipo de transporte considerado es por barco, dado su mayor presencia en el mercado.
- El punto de inicio del transporte desde EE.UU. es en Miami y el punto de inicio desde Europa es desde Rotterdam. Las distancias utilizadas han sido obtenidas del Programa Huella Chile.
- El puerto de destino es el puerto de San Antonio en la región de Valparaíso.

5.1.4 Factor de emisión de neumáticos nuevos

El valor de emisión para cada etapa del análisis se puede ver en la Tabla 9 considerando diferencias entre neumático desde Estados Unidos y Europa. Considerando que el valor es similar para cada uno de los neumáticos, se puede determinar que el valor más alto debe ser considerado como el factor de emisión bajo el principio de la conservatividad en la estimación de gases de efecto invernadero.

Tabla 9. Valores obtenidos para la fabricación de un neumático nuevo de acuerdo a su origen.

Fuente	Valor [Neumático de EEUU]	Valor [Neumático de Europa]	Valor [Neumático Chino - tipo EEUU]	Valor [Neumático Chino - tipo Europa]	Unidad
Materia Prima	179,14	179,90	96,95	121,83	[kgCO _{2e}]
Fabricación	63,73	155,61	129,27	154,34	[kgCO _{2e}]
Transporte	7,09	9,27	7,18	9,26	[kgCO _{2e}]
Transporte hacia Chile	6,30	14,59	16,36	19,54	[kgCO _{2e}]
Total, por neumático	256,26	359,36	249,76	304,97	[kgCO_{2e}/neumático]
Total, por Kg¹⁹	4,71	5,53	4,59	4,69	[kgCO_{2e}/kg]

¹⁹ El valor por kilogramo fue obtenido utilizando el mismo peso de un neumático para obtener el porcentaje de peso en banda y tiene un valor de 65 kilogramos.

Por lo tanto, el valor a utilizar para ser propuesto al programa Huella Chile debe ser **5,53 kilogramos de CO2 equivalentes por kilogramo de neumático nuevo.**

5.2 Resultados de la estimación del factor de emisión para neumáticos recauchados

A continuación, se presenta en resumen los valores utilizados para la estimación de un factor de emisión de GEI para neumáticos recauchados producidos por instalaciones de recauchaje en Chile.

5.2.1 Extracción, explotación y transformación de materiales

La estimación de peso de la banda se realiza considerando un 20% del peso promedio de neumáticos nuevos de medidas 295/80R22,5 y 11R22,5, estos pesos se pueden ver en la Tabla 10 y el peso de la banda sería de 12,94 [kg].

Tabla 10. Valores mínimos y máximos en peso de neumáticos nuevos en medidas más usadas en Chile.

Medida	Peso [kg]
295/80R22,5	55,99 – 71,35
11R22,5	56,55 – 62,52
12R22,5	66,54 – 69,98
Peso promedio	63,82

Los cálculos de emisiones en la extracción y transformación de materia prima consideran los factores de emisión de los neumáticos nuevos y el contenido por lo tanto de materia prima se describe a continuación para el procesamiento de una banda nueva de rodamiento en la Tabla 11.

Tabla 11. Valores de peso por material en la banda de rodamiento de acuerdo a diferentes autores revisados.

Materiales		Zafarmehrabian et al (2012) ²⁰ .	Rajan et al (2006) ²¹
Elastómero	Total	7,083	7,539
	Caucho natural	5,312	5,277
	Caucho Sintético	1,771	2,262
Negro de humo		4,250	3,920
Aditivos	Total	1,611	1,485
	Oxido de Zinc	0,283	0,339
	Sulfuro	0,106	0,166
	Otros aditivos y aceites	1,222	0,980
TOTAL		12,944	12,944

²⁰ Zafarmehrabian, R., Gangali, S. T., Ghoreishy, M. H. R., & Davallu, M. (2012). The effects of silica/carbon black ratio on the dynamic properties of the tread compounds in truck tires. *Journal of Chemistry*, 9(3), 1102-1112.

²¹ Rajan, V. V., Dierkes, W. K., Joseph, R., & Noordermeer, J. W. M. (2006). Recycling of NR based cured latex material reclaimed with 2,2'-dibenzamidodiphenyldisulphide in a truck tire tread compound. *Journal of Applied Polymer Science*, 102(5), 4194-4206. doi:10.1002/app.24563

Con la información de la Tabla 11 y los factores de emisión de materias primas utilizados en el cálculo de neumáticos nuevos (Anexo 1) se obtendrá las emisiones en la etapa de extracción y transformación de materia prima para la producción de bandas de rodamiento.

Tabla 12. Emisiones de CO₂ equivalente en la etapa de extracción y transformación de materiales

Materiales		Zafarmehrabian et al (2012) ²²	Rajan et al (2006) ²³
Elastómero	Total	7,968	9,122
	Caucho natural	3,719	3,694
	Caucho Sintético	4,250	5,428
Negro de humo		15,300	16,489
Aditivos		22,512	14,938
TOTAL		39,395	38,100

Tabla 13. Emisiones de CO₂ equivalente por transporte terrestre y marítimo del material de banda desde dos puntos de producción

Materiales	Emisiones		Unidad
	EE.UU.	Europa	
Caucho Natural	1,103	1,103	[kgCO _{2e}]
Caucho Sintético	1,009	1,009	[kgCO _{2e}]
Negro de humo	1,151	1,151	[kgCO _{2e}]
Sulfuro	0,091	0,091	[kgCO _{2e}]
Oxido de Zinc	0,028	0,028	[kgCO _{2e}]
Otros aditivos	0,701	0,701	[kgCO _{2e}]
Acero	1,103	1,103	[kgCO _{2e}]

Los valores obtenidos en la Tabla 13 se han realizado utilizando la misma metodología de cálculo realizada en la Tabla 7.

5.2.2 Fabricación de bandas de neumático nuevas

La fabricación de bandas de neumáticos cuenta con muy poca información por lo que se ha decidido utilizar la información disponible de la producción de neumáticos nuevos. Dada la similitud de los procesos, esta suposición no está alejada de la realidad, sin embargo, un mayor esfuerzo desde las productoras de bandas debe hacerse para obtener esta información.

Para determinar el porcentaje de banda se utilizaron valores promedio del producto comercializado por el fabricante de bandas de neumáticos con mayor participación en el mercado chileno, aproximadamente un 48%. Además, para determinar el perímetro del neumático se utilizó la

²² Zafarmehrabian, R., Gangali, S. T., Ghoreishy, M. H. R., & Davallu, M. (2012). The effects of silica/carbon black ratio on the dynamic properties of the tread compounds in truck tires. *Journal of Chemistry*, 9(3), 1102-1112.

²³ Rajan, V. V., Dierkes, W. K., Joseph, R., & Noordermeer, J. W. M. (2006). Recycling of NR based cured latex material reclaimed with 2,2'-dibenzamidodiphenyldisulphide in a truck tire tread compound. *Journal of Applied Polymer Science*, 102(5), 4194-4206. doi:10.1002/app.24563

información de un neumático 295/80R22,5, esta medida de neumático es una de las más utilizadas en el mercado nacional. Los valores utilizados se pueden ver en la Tabla 14.

Tabla 14. Peso estimado de la banda de neumático nueva aplicada

Información	Cantidad	Unidad
Peso de banda por metro	3,97	[kg/m]
Perímetro externo aproximado de un neumático promedio	3,261	[m]
Peso aproximado de la banda aplicada	12,94	[Kg]

La información entregada en la Tabla 8 se ha utilizado para calcular el costo energético de producir un kilo de banda de neumático y el resultado es el porcentaje en peso de banda en un neumático nuevo por la energía utilizada para producir el neumático, esta información es presentada en la Tabla 15. La relación de peso entre la banda y el peso total del neumático se obtiene del valor obtenido en la Tabla 14 y el peso promedio de un neumático de medidas 295/80R22,5, que tiene un peso promedio de 63,82 kilogramos.

Tabla 15. Energía utilizada para la producción de banda de rodamiento nueva para neumáticos.

Información	Cantidad	Unidad
Energía utilizada para producir un kilo de neumático nuevo	2.350	[kWh/kg]
Emisiones de CO ₂ equivalente por fabricación de banda de neumático nueva	15,15 [EE.UU.]	[kgCO _{2e}]
	9,56 [Europa]	[kgCO _{2e}]

El porcentaje de banda en un neumático nuevo puede variar respecto a las recomendaciones del fabricante de banda y a lo aplicado por las plantas de recauchaje. En un rango entregado por las plantas de recauchaje el porcentaje va entre un 24% a un 25%²⁴. La dificultad en la producción radica en que existen diferentes tipos de bandas de neumáticos dependiendo de su aplicación y medida.

5.2.3 Distribución de las bandas de neumático hacia Chile

Finalmente, el transporte desde los puntos de producción hacia Chile considera los siguientes supuestos y el valor final se puede analizar en la Tabla 16:

- El tipo de transporte considerado es por barco, dado su mayor presencia en el mercado.
- El punto de inicio del transporte desde EE.UU. es en Miami y el punto de inicio desde Europa es desde Rotterdam. Las distancias utilizadas han sido obtenidas del Programa Huella Chile.
- El puerto de destino es el puerto de San Antonio en la región de Valparaíso.

²⁴ Esto considerando un neumático 295/80R22.5 de un peso aproximado de 64 kilogramos.

Tabla 16. Estimación de GEI [kgCO₂e] por transporte de banda terminada hacia Chile

Ítem	Valor desde EEUU	Valor desde Europa
Transporte a Chile	1,49	2,90

5.2.4 Recauchaje de neumáticos

Una vez las bandas han arribado al país están son comercializadas a las plantas de recauchaje del país. ARNEC es la Asociación de Recauchadores y Renovadores de Neumáticos de Chile y aglomeran más del 80% de la industria de recauchaje en su asociación.

Durante los años 2016 al 2018 se realizó un Acuerdo de Producción Limpia con el objetivo de aumentar los niveles de calidad productiva en diferentes ámbitos. Parte de este trabajo consistió en realizar una evaluación de la eficiencia productiva de la asociación y se lograron obtener datos de la producción total de neumáticos, consumo de energía y consumo de energía específico por neumático. Esta información (ver Tabla 17) será utilizada para estimar el consumo de energía específico de recauchaje por neumático y finalmente su aporte al ciclo de vida del neumático.

Tabla 17. Consumo específico de energía en las plantas de ARNEC por kilogramo de neumático recauchado durante el año 2016 - 2017

Información	Cantidad	Unidad
Neumáticos recauchados en total	6.263	[t]
Consumo de energía total	2.241.526	[kWh/año]
Consumo específico de energía por kilogramo de neumático recauchado	0,36	[kWh/kgNR]

Por lo tanto, las emisiones de CO₂ equivalente para el peso promedio de banda de neumático utilizado para un neumático 295/80R22,5 se pueden analizar a continuación en la Tabla 18.

Tabla 18. Estimaciones para la determinación de la emisión de GEI por el recauchaje de neumáticos

Información	Cantidad	Unidad
Consumo específico de energía por kilogramo de neumático recauchado	0,36	[kWh/kg]
Peso promedio de la banda para un neumático 295/80R22,5	12,94	[kg]
Factor de emisión de la red SIC	0,346	[kgCO ₂ e/kWh]
Emisiones de CO ₂ equivalente por recauchaje	1,6	[kgCO ₂ e]

5.2.5 Factor de emisión de neumáticos recauchados

El valor de emisión para cada etapa del análisis se puede ver en la Tabla 19 considerando diferencias entre banda de neumático desde Estados Unidos y Europa. Dado que el valor es similar para cada una de las bandas de neumáticos, se puede determinar que el valor más alto debe ser considerado como

el factor de emisión bajo el principio de la conservatividad en la estimación de gases de efecto invernadero.

Tabla 19. Valores de emisiones de GEI obtenidos para la fabricación de un neumático nuevo de acuerdo a su origen

Valor	Origen	Cantidad	Unidad
Cantidad de emisiones de CO ₂ e por neumático recauchado	EEUU	95,12±4,015	[kgCO ₂ e/NR]
	Europa	88,85±4,015	[kgCO ₂ e/NR]
Cantidad de emisiones de CO ₂ e por kilogramo de neumático recauchado	EEUU	1,490±0,063	[kgCO ₂ e/kgNR]
	Europa	1,392±0,063	[kgCO ₂ e/kgNR]

Por lo tanto, el valor a utilizar para ser propuesto al programa Huella Chile debe ser **1,179 kilogramos de CO₂ equivalentes por kilogramo de neumático recauchado.**

6 INCERTIDUMBRES

De acuerdo a la CMNUCCC, la incertidumbre es la falta de conocimiento del verdadero valor de una variable y que puede ser descrita como la función de densidad de probabilidad, que describe el rango y la probabilidad relativa de los posibles valores.

Los beneficios de estimar la incertidumbre en el cálculo de emisiones de GEI son:

- Credibilidad: Se reconoce la información conocida y la información desconocida.
- Utilidad: El uso de la información entregada es más robusta.
- Requerimiento: La incertidumbre es un requerimiento de buenas prácticas

Existen diversas maneras de determinar la incertidumbre (incertidumbre medida, indicadores de calidad de datos, información de literatura) y para el presente estudio se ha optado por utilizar los indicadores de calidad de datos generados por la GHG protocol y basado en las guías metodológicas de Ecoinvent para el control de calidad de sus datos e inventarios.

La generación de indicadores de calidad se hace a través de un matriz que facilita la determinación de los valores de calidad y permite asignar de forma cuantitativa valores a la incertidumbre. Estos parámetros de calidad y sus valores se pueden analizar a continuación.

Tabla 20. Matriz de puntaje de indicadores de calidad para la determinación de incertidumbre.

Puntaje de indicadores	Muy bueno	Bueno	Justo	Pobre
Precisión	1	1,1	1,2	1,5
Integridad	1	1,05	1,1	1,2
Representatividad Temporal	1	1,1	1,2	1,5
Representatividad Geográfica	1	1,02	1,05	1,1
Representatividad Tecnológica	1	1,2	1,5	2

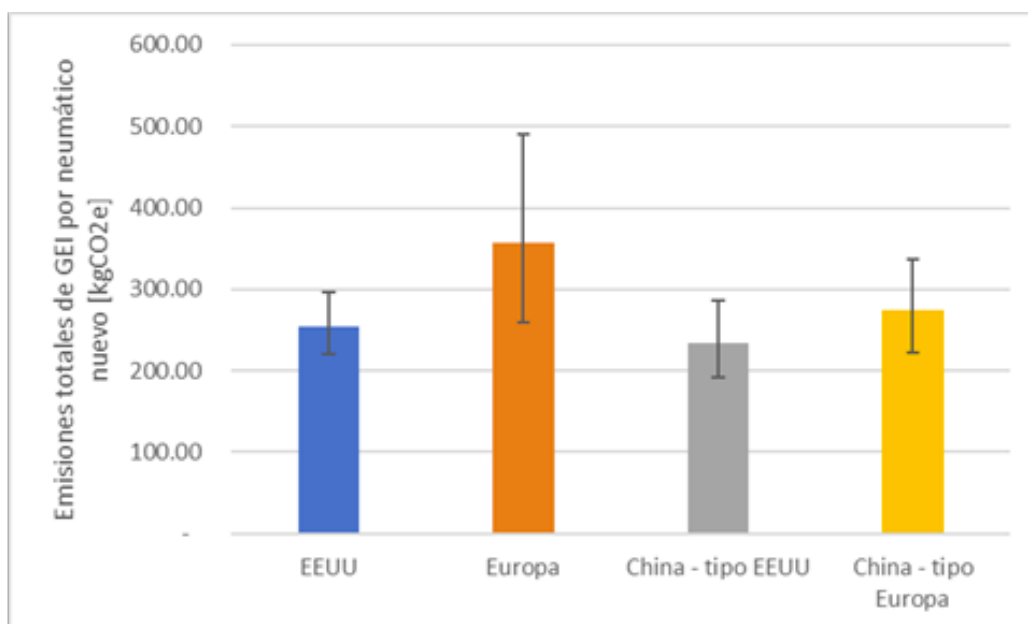
Para la determinación de la incertidumbre se selecciona la calidad estimada del dato para cada uno de los indicadores. De esta forma se determina un puntaje para cada dato que permite estimar la desviación estándar geométrica de cada dato y finalmente determinar los valores inferiores y superiores de probabilidad del dato analizado. La divulgación de los valores determinados para cada dato presente en el cálculo se presentará en el anexo 5.

La determinación final de la incertidumbre para los neumáticos nuevos se consideraron los casos de producción en EE.UU., Europa y China. Los valores de incertidumbre rondan desde un 13% a un 40% y estos pueden ser analizados en la Tabla 21.

Tabla 21. Porcentaje de valores inferiores y superiores de incertidumbre de la estimación de GEI según origen.

Origen	Valor inferior	Valor superior
EE.UU.	13,83%	16,05%
Europa	27,28%	37,52%
China - tipo EE.UU.	18,22%	22,28%
China - tipo Europa	18,70%	23,00%

El valor de la emisión de GEI por origen de cada neumático y su respectiva incertidumbre está representada en la Figura 4 a continuación.

**Figura 4. Emisiones totales de GEI por origen del neumático nuevo y su incertidumbre.**

La determinación final de la incertidumbre para los neumáticos recauchados se considera un caso de producción de banda sumado al recauchaje del neumático en Chile. El valor final ronda entre el 14% al 18% y estos pueden ser analizados en la Porcentaje de valores inferiores y superiores de incertidumbre de la estimación de GEI para neumáticos recauchados. a continuación en la Tabla 22.

Tabla 22. Porcentaje de valores inferiores y superiores de incertidumbre de la estimación de GEI para neumáticos recauchados.

	Valor inferior	Valor superior
Neumático recauchado	14,65%	17,16%

El valor de la emisión de GEI para el neumático recauchado y su respectiva incertidumbre está representada en la Figura 5 a continuación.

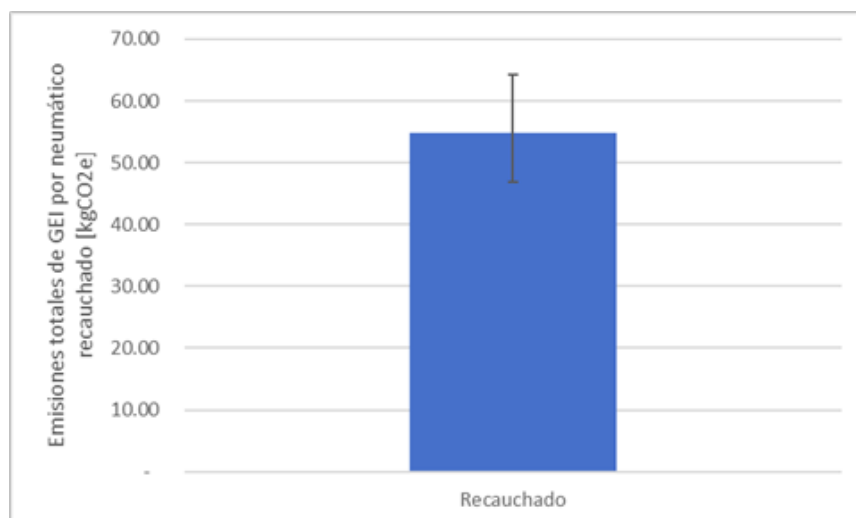


Figura 5. Emisiones totales de GEI para el neumático recauchado y su incertidumbre.

7 DISCUSIONES

Las emisiones generadas por la manufactura de neumáticos estimadas en el presente informe se comparan a continuación con lo informado en bibliografía en la Figura 6.

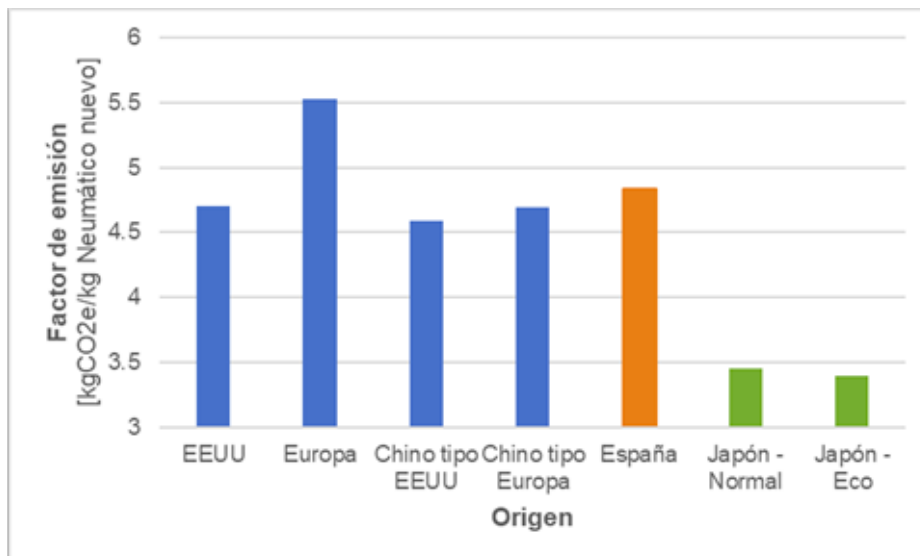


Figura 6. Comparación de emisiones por kilogramo de neumático producido en diferentes orígenes.

En la Figura 6. Comparación de emisiones por kilogramo de neumático producido en diferentes orígenes., las primeras 4 columnas indican los factores de emisión estimados durante la presente investigación. Esto nos muestra un rango entre 3 a 6 kg de CO₂ equivalente por kg de neumático producido en diferentes instalaciones productivas de acuerdo al país de origen. Existe muy poca información para comparar las emisiones de un neumático de camión en China, existen dos estudios de ACV para neumáticos de vehículos livianos²⁵, pero no son comparables debido a las diferentes formulaciones, medidas y usos para los neumáticos de camión o buses.

Las mayores diferencias se producen en el ítem de materias primas para el neumático producido en China y para Estados Unidos el proceso de fabricación requiere menor gasto energético debido a la producción de un neumático de menor peso, por lo tanto, menos energía utilizada en su procesamiento. El transporte hacia Chile también tiene diferencias de acuerdo del punto de origen del neumático, sin embargo, para el total del cálculo no es cuantitativamente relevante. El detalle de las diferencias en la estimación realizada en el presente informe se puede ver en la Figura 7:

²⁵ Sun, X., Zheng, J. H., Zhang, P., Zhao, M. N., Wu, H. X., & Yan, Y. T. (2017). Comparative Life Cycle Assessment of Chinese Radial Passenger Vehicle Tire. *Materials Science Forum*, 898, 2432–2445

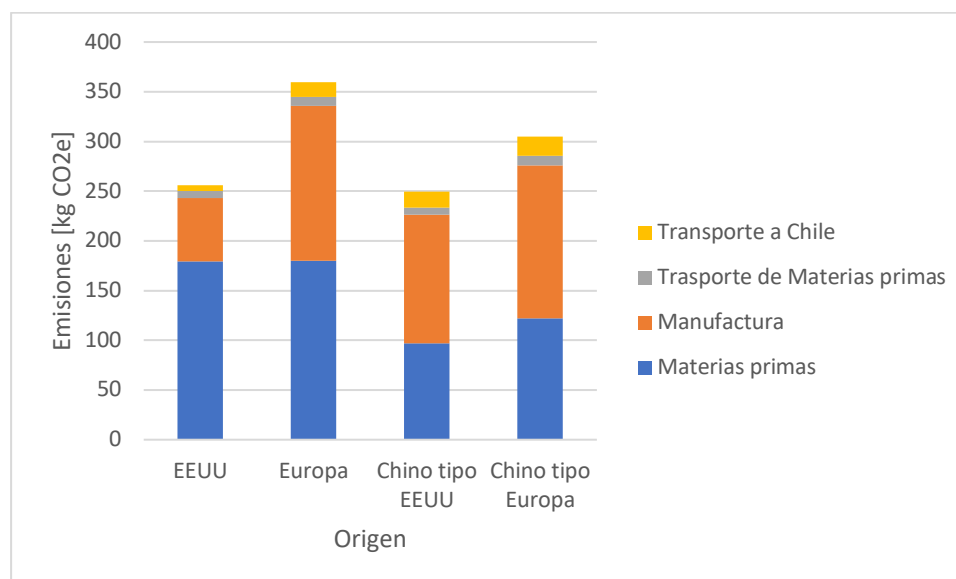


Figura 7. Distribución de las emisiones por etapa en diferentes orígenes.

En cuanto al recauchaje de neumáticos, los datos de comparación obtenidos son de un estudio realizado en España²⁶ que indica que el proceso de recauchaje tiene una emisión por kilogramo de neumático de 0,232 kg de CO₂ equivalente. En Chile, el recauchaje ha generado estadísticas que nos indican que el costo energético es de 0,36 kWh, considerando que la mayor parte de las recauchadoras asociadas a ARNEC usan electricidad como principal fuente de energía podemos decir que el factor de emisión del recauchaje en Chile es de 0,124 kg de CO₂ equivalente. Esto equivale a un 53% de la energía utilizada en Europa para el proceso de recauchaje, esto se puede explicar por factores como la diversidad energética de la red eléctrica española frente a la chilena o la diversidad de fuentes energéticas de las plantas de recauchaje en España comparado con Chile.

Sin embargo, el factor de emisión total por kilogramo de neumático estimado para el recauchaje fue de entre 1,490 a 1,392 kg de CO₂ por kilogramo de neumático recauchado lo que se acerca bastante al factor de emisión del estudio español que indica un factor de 1,493 kg de CO₂ equivalente por kg de neumático recauchado.

²⁶ Sánchez, M., & Guzmán, M. (2018). Análisis de la eficiencia medioambiental del recauchutado de neumáticos. Universidad Miguel Hernández.

8 ANEXO 1 NEUMÁTICO NUEVO

Emisiones de extracción, transformación y manufactura de materias primas constituyentes del caucho.

Origen	EE.UU.	Europa	China tipo EE.UU.	China tipo Europa
Total, de Caucho	26,01	37,05	44,43	63,82
Caucho Natural	9,36	13,65	26,07	38,01
Caucho sintético	16,65	23,40	18,36	25,81
Negro de humo	53,82	55,48	3,29	3,39
Otros aditivos	22,83	39,16	3,74	6,42
Textil	51,50	-	20,51	-
Acero	24,98	48,20	24,98	48,20
Total	179,14	179,90	96,95	121,83

Emisiones de CO₂ por la manufactura del neumático nuevo según origen

Emisiones por la manufactura	Valor	Unidad
EE.UU.	63,73	kgCO ₂ e
Europa	155,61	kgCO ₂ e
China tipo EE.UU.	129,27	kgCO ₂ e
China tipo Europe	154,34	kgCO ₂ e

Emisiones por transporte de materia prima hacia los puntos de fabricación de neumático nuevo

Origen	EEUU	Europa	China tipo EEUU	China tipo Europa
Total, de Caucho	4,72	6,78	4,71	6,78
Caucho Natural	2,96	4,31	2,95	4,30
Caucho sintético	1,76	2,47	1,76	2,47
Negro de humo	1,24	1,20	1,17	1,20
Otros aditivos	0,57	1,15	0,67	1,14
Textil	0,49	-	0,57	-
Acero	0,07	0,14	0,07	0,14
Total	7,09	9,27	7,18	9,26

Emisiones por transporte desde el origen del neumático nuevo hacia Chile.

Emisiones por transporte hacia Chile	Valor	Unidad
EE.UU.	6,30	kgCO ₂ e
Europa	14,59	kgCO ₂ e
China - tipo EE.UU.	16,36	kgCO ₂ e
China - tipo Europa	19,54	kgCO ₂ e

9 ANEXO 2 ESTADÍSTICAS ARNEC

Datos (Año 2016 - 2017)	
Neumático Recauchado [Unidades]	117.022
Neumático Recauchado [ton]	6.263
Energía [kWh/año]	2.241.526
Consumo [kWh/ton NR]	358
Consumo [kWh/NR]	19,2
Consumo [kWh/kgNR]	0,36

Unidades recauchadas	Porcentaje	Medidas
34.598	46,7%	295/80R22,5
15.178	20,5%	11R22,5
7.336	9,9%	11R22.5 - 295/80
6.524	8,8%	12R22,5

10 ANEXO 3 INFORMACIÓN DE LAS BANDAS DE NEUMÁTICO

Información promedio de bandas de neumático					
Área [m ²]		Peso por metro [kg/m]		Ancho [mm]	
Promedio	2,47	Promedio	3,97	Promedio	220
Máximo	3,304	Máximo	6,38	Máximo	295
Mínimo	0,28	Mínimo	1,62	Mínimo	25

Perímetro promedio: 3.261 [mm]

11 ANEXO 4 FACTORES DE EMISIÓN

■ Materias primas

Materia	Valor	Fuente
Caucho Natural	0,7	Jawjit, Warit & Kroeze, C & Rattanapan, Suwat. (2010). Greenhouse Gas Emissions from Rubber Industry in Thailand. Journal of Cleaner Production. 18. 403-411. 10.1016/j.jclepro.2009.12.003.
Caucho sintético	2,4	JATMA, 2012. Tyre LCCO2 Calculation Guidelines. Ver. 2.0. [Online] Available at: http://www.jatma.or.jp/english/tyrerecycling/pdf/lcco2guideline_en.pdf [Visto 14 agosto 2019].
Negro de humo	3,88	IPCC 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
Otros aditivos	9,27	JATMA, 2012. Tyre LCCO2 Calculation Guidelines. Ver. 2.0. [Online] Available at: http://www.jatma.or.jp/english/tyrerecycling/pdf/lcco2guideline_en.pdf [Visto 14 agosto 2019].
Textil	6,37	JATMA, 2012. Tyre LCCO2 Calculation Guidelines. Ver. 2.0. [Online] Available at: http://www.jatma.or.jp/english/tyrerecycling/pdf/lcco2guideline_en.pdf [Visto 14 agosto 2019].
Acero	2,41	Kokko, L. (2017). Greenhouse Gas Emissions from Tyre Production-Case Nokian Tyres (Master's thesis).

■ Transporte

Origen	EEUU		Europa		China		Unidad
	Camión	Barco	Camión	Barco	Camión	Barco	
Caucho sintético	1,0078	10,4314	1,0047	10,4206	1,0052	10,4145	[tkm/kg]
Caucho Natural	0,3843	11,7255	0,3832	11,7290	0,3834	11,7098	[tkm/kg]
Negro de Humo	0,9843	0,2392	0,9299	0,2243	0,9275	0,2280	[tkm/kg]
Acero	0,5216	0,9608	0,6075	1,1121	0,6062	1,1088	[tkm/kg]
Textil	0,0251	0,0031	0,0234	0,0029	0,0233	0,0028	[tkm/kg]
Otros aditivos	0,2784	0,1490	0,2757	0,1495	0,2746	0,1503	[tkm/kg]

▪ **Manufactura**

Origen	Valor	Unidad	Fuente
India	2,35	[kWh/kg]	Shanbag, Amit & Manjare, Sampatrao. (2019). Life Cycle Assessment of Tyre Manufacturing Process. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. 10.13044/j.sdewes.d7.0260.
España	7,61	[kWh/kg]	Sánchez, M., & Guzmán, M. (2018). <i>Análisis de la eficiencia medioambiental del recauchutado de neumáticos</i> . Universidad Miguel Hernández.
China	2,41	[kWh/kg]	Sun, X., Zheng, J. H., Zhang, P., Zhao, M. N., Wu, H. X., & Yan, Y. T. (2017). Comparative Life Cycle Assessment of Chinese Radial Passenger Vehicle Tire. Materials Science Forum, 898, 2432-2445
Australia	3,41	[kWh/kg]	Australia. Environment Australia. & Atech Group. (2001). <i>A national approach to waste tyres</i> . [Canberra]: Environment Australia, http://www.ea.gov.au/industry/waste/awr/tyres/

12 ANEXO 5 INCERTIDUMBRE

EE.UU.		Dato de Actividad	Unidad	FE ²⁷	Unidad	Emisión [kgCO ₂ e]	Contribución	GSD ² Dato de Actividad ²⁸	GSD ² FE	
Materias Primas		Caucho Natural	13,37591	[kg]	0,7	[kgCO ₂ e/kg]	9,36	3,67%	1,34	1,40
		Caucho sintético	6,935656	[kg]	2,4	[kgCO ₂ e/kg]	16,65	6,53%	1,34	1,27
		Negro de Humo	13,87131	[kg]	3,9	[kgCO ₂ e/kg]	53,82	21,11%	1,34	1,24
		Otros aditivos	2,69478	[kg]	9,3	[kgCO ₂ e/kg]	24,98	9,80%	1,34	1,27
		Textil	8,08434	[kg]	6,4	[kgCO ₂ e/kg]	51,50	20,20%	1,34	1,27
		Acero	9,47	[kg]	2,4	[kgCO ₂ e/kg]	22,83	8,95%	1,34	1,24
Transporte MP	Camión	Caucho Natural	2,665373	[tkm]	0,1	[kgCO ₂ e/t-km]	0,23	0,09%	1,55	1,27
		Caucho sintético	13,48024	[tkm]	0,1	[kgCO ₂ e/t-km]	1,17	0,46%	1,55	1,27
		Negro de Humo	13,65353	[tkm]	0,1	[kgCO ₂ e/t-km]	1,18	0,46%	1,55	1,27
		Otros aditivos	2,637161	[tkm]	0,1	[kgCO ₂ e/t-km]	0,23	0,09%	1,55	1,27
		Textil	0,202917	[tkm]	0,1	[kgCO ₂ e/t-km]	0,02	0,01%	1,55	1,27
		Acero	1,405597	[tkm]	0,1	[kgCO ₂ e/t-km]	0,12	0,05%	1,55	1,27
	Barco	Caucho Natural	31,25283	[tkm]	0	[kgCO ₂ e/t-km]	0,50	0,20%	1,55	1,27
		Caucho sintético	140,6178	[tkm]	0	[kgCO ₂ e/t-km]	2,25	0,88%	1,55	1,27
		Negro de Humo	3,265925	[tkm]	0	[kgCO ₂ e/t-km]	0,05	0,02%	1,55	1,27

²⁷ Factor de emisión

²⁸ Desviación estándar geométrica

		Otros aditivos	2,533784	[tkm]	0	[kgCO ₂ e/t-km]	0,04	0,02%	1,55	1,27
		Textil	0,000629	[tkm]	0	[kgCO ₂ e/t-km]	0,00	0,00%	1,55	1,27
		Acero	0,209434	[tkm]	0	[kgCO ₂ e/t-km]	0,00	0,00%	1,55	1,27
Manufactura		Consumo energético	127,9242	[kWh]	0,5	[kgCO ₂ e/kWh]	63,73	25,00%	1,27	1,27
Transporte Producto terminado	Barco	Transporte hacia Chile	394,0491	[tkm]	0	[kgCO ₂ e/t-km]	6,30	2,47%	1,27	1,27

Europa		Dato de Actividad	Unidad	FE	Unidad	Emisión [kgCO ₂ e]	Contribución	GSD ² Dato de Actividad	GSD ² FE	
Materias Primas	Caucho Natural	19,50	[kg]	0,7	[kgCO ₂ e/kg]	13,65	3,82%	1,34	1,40	
	Caucho sintético	9,75	[kg]	2,4	[kgCO ₂ e/kg]	23,40	6,55%	1,34	1,27	
	Negro de Humo	14,30	[kg]	3,9	[kgCO ₂ e/kg]	55,48	15,54%	1,34	1,24	
	Otros aditivos	5,20	[kg]	9,3	[kgCO ₂ e/kg]	48,20	13,50%	1,34	1,27	
	Textil	-	[kg]	6,4	[kgCO ₂ e/kg]	-	0,00%	1,34	1,27	
	Acero	16,25	[kg]	2,4	[kgCO ₂ e/kg]	39,16	10,97%	1,34	1,24	
Transporte MP	Camión	Caucho Natural	7,47	[tkm]	0,1	[kgCO ₂ e/t-km]	0,65	0,18%	1,55	1,27
		Caucho sintético	9,80	[tkm]	0,1	[kgCO ₂ e/t-km]	0,85	0,24%	1,55	1,27
		Negro de Humo	13,30	[tkm]	0,1	[kgCO ₂ e/t-km]	1,15	0,32%	1,55	1,27
		Otros aditivos	1,43	[tkm]	0,1	[kgCO ₂ e/t-km]	0,12	0,03%	1,55	1,27
		Textil	-	[tkm]	0,1	[kgCO ₂ e/t-km]	-	0,00%	1,55	1,27
		Acero	9,87	[tkm]	0,1	[kgCO ₂ e/t-km]	0,86	0,24%	1,55	1,27
	Barco	Caucho Natural	87,64	[tkm]	0	[kgCO ₂ e/t-km]	1,40	0,39%	1,55	1,27
		Caucho sintético	102,08	[tkm]	0	[kgCO ₂ e/t-km]	1,63	0,46%	1,55	1,27
		Negro de Humo	2,98	[tkm]	0	[kgCO ₂ e/t-km]	0,05	0,01%	1,55	1,27
		Otros aditivos	0,21	[tkm]	0	[kgCO ₂ e/t-km]	0,00	0,00%	1,55	1,27
		Textil	-	[tkm]	0	[kgCO ₂ e/t-km]	0,00E+00	0,00%	1,55	1,27
		Acero	10,98	[tkm]	0	[kgCO ₂ e/t-km]	1,76E-01	0,049%	1,55	1,27
Manufactura		Consumo energético	494,93	[kWh]	0,3	[kgCO ₂ e/kWh]	155,61	43,59%	1,64	1,27

Transporte Producto terminado	Barco	Transporte Chile	hacia	911,64	[tkm]	0	[kgCO _{2e} /t-km]	14,59	4,09%	1,27	1,27
--	-------	---------------------	-------	--------	-------	---	----------------------------	-------	-------	------	------

China - tipo EE.UU.		Dato de Actividad	Unidad	FE	Unidad	Emisión [kgCO _{2e}]	Contribución	GSD ² Dato de Actividad	GSD ² FE	
Materias Primas	Caucho Natural	13,38	[kg]	1,9	[kgCO _{2e} /kg]	26,07	11,11%	1,34	1,40	
	Caucho sintético	6,94	[kg]	2,6	kgCO _{2e} /kg]	18,36	7,82%	1,34	1,40	
	Negro de Humo	13,87	[kg]	0,2	kgCO _{2e} /kg]	3,29	1,40%	1,34	1,40	
	Otros aditivos	2,69	[kg]	3,9	kgCO _{2e} /kg]	10,46	4,46%	1,34	1,24	
	Textil	8,08	[kg]	2,5	kgCO _{2e} /kg]	20,51	8,74%	1,34	1,40	
	Acero	9,47	[kg]	0,4	kgCO _{2e} /kg]	3,74	1,59%	1,34	1,40	
Transporte MP	Camión	Caucho Natural	2,66	[tkm]	0,1	[kgCO _{2e} /t-km]	0,23	0,10%	1,55	1,27
		Caucho sintético	13,45	[tkm]	0,1	[kgCO _{2e} /t-km	1,17	0,50%	1,55	1,27
		Negro de Humo	12,87	[tkm]	0,1	[kgCO _{2e} /t-km	1,12	0,48%	1,55	1,27
		Otros aditivos	2,60	[tkm]	0,1	[kgCO _{2e} /t-km	0,23	0,10%	1,55	1,27
		Textil	0,19	[tkm]	0,1	[kgCO _{2e} /t-km	0,02	0,01%	1,55	1,27
		Acero	1,63	[tkm]	0,1	[kgCO _{2e} /t-km	0,14	0,06%	1,55	1,27
	Barco	Caucho Natural	81,22	[tkm]	0	[kgCO _{2e} /t-km	1,30	0,55%	1,55	1,27
		Caucho sintético	139,30	[tkm]	0	[kgCO _{2e} /t-km	2,23	0,95%	1,55	1,27
		Negro de Humo	3,16	[tkm]	0	[kgCO _{2e} /t-km	0,05	0,02%	1,55	1,27
		Otros aditivos	1,42	[tkm]	0	[kgCO _{2e} /t-km	0,02	0,01%	1,55	1,27
		Textil	0,02	[tkm]	0	[kgCO _{2e} /t-km	3,62E-04	0,00%	1,55	1,27
		Acero	2,99	[tkm]	0	[kgCO _{2e} /t-km]	4,78E-02	0,020%	1,55	1,27
Manufactura		Consumo energético	130,98	[kWh]	1	[kgCO _{2e} /kWh]	129,27	55,10%	1,27	1,34

Transporte Producto terminado	Barco	Transporte hacia Chile	1.022,78	[tkm]	0	[kgCO _{2e} /t-km]	16,36	6,98%	1,27	1,27
--	-------	---------------------------	----------	-------	---	----------------------------	-------	-------	------	------

China - Tipo Europa			Dato de Actividad	Unidad	FE	Unidad	Emisión [kgCO _{2e}]	Contribución	GSD ² Dato de Actividad	GSD ² FE	
Materias Primas			Caucho Natural	19,50	[kg]	1,95	[kgCO _{2e} /kg]	38,01	13,88%	1,34	1,40
			Caucho sintético	9,75	[kg]	2,65	[kgCO _{2e} /kg]	25,81	9,43%	1,34	1,40
			Negro de Humo	14,30	[kg]	0,24	[kgCO _{2e} /kg]	3,39	1,24%	1,34	1,40
			Otros aditivos	5,20	[kg]	3,88	[kgCO _{2e} /kg]	20,18	7,37%	1,34	1,24
			Acero	16,25	[kg]	0,40	[kgCO _{2e} /kg]	6,42	2,34%	1,34	1,40
Transporte MP	Camión	Caucho Natural	7,48	[tkm]	0,09	[kgCO _{2e} /t-km]	0,65	0,24%	1,55	1,27	
		Caucho sintético	9,80	[tkm]	0,09	[kgCO _{2e} /t-km]	0,85	0,31%	1,55	1,27	
		Negro de Humo	13,26	[tkm]	0,09	[kgCO _{2e} /t-km]	1,15	0,42%	1,55	1,27	
		Otros aditivos	1,43	[tkm]	0,09	[kgCO _{2e} /t-km]	0,12	0,05%	1,55	1,27	
		Acero	9,85	[tkm]	0,09	[kgCO _{2e} /t-km]	0,85	0,31%	1,55	1,27	
	Barco	Caucho Natural	228,34	[tkm]	0,02	[kgCO _{2e} /t-km]	3,65	1,33%	1,55	1,27	
		Caucho sintético	101,54	[tkm]	0,02	[kgCO _{2e} /t-km]	1,62	0,59%	1,55	1,27	
		Negro de Humo	3,26	[tkm]	0,02	[kgCO _{2e} /t-km]	0,05	0,02%	1,55	1,27	
		Otros aditivos	0,78	[tkm]	0,02	[kgCO _{2e} /t-km]	0,01	0,00%	1,55	1,27	
		Acero	18,02	[tkm]	0,02	[kgCO _{2e} /t-km]	2,88E-01	0,105%	1,55	1,27	
Manufactura		Consumo energético	156,39	[kWh]	0,99	[kgCO _{2e} /kWh]	154,34	56,38%	1,27	1,34	
Transporte Producto terminado	Barco	Transporte hacia Chile	1.022,78	[tkm]	0,02	[kgCO _{2e} /t-km]	16,36	5,98%	1,27	1,27	

Neumático recauchado		Dato de Actividad	Unidad	FE	Unidad	Emisión [kgCO _{2e}]	Contribución	GSD2 Dato de Actividad	GSD2 FE	
Materias Primas		Caucho Natural	3,82	[kg]	0,7	[kgCO _{2e} /kg]	2,67	4,87%	1,34	1,40
		Caucho sintético	1,75	[kg]	2,4	[kgCO _{2e} /kg]	4,20	7,66%	1,34	1,40
		Negro de Humo	3,18	[kg]	3,88	[kgCO _{2e} /kg]	12,35	22,52%	1,34	1,40
		Otros aditivos	1,45	[kg]	9,27	[kgCO _{2e} /kg]	13,46	24,54%	1,34	1,24
Transporte MP	Camión	Caucho Natural	1,47	[tkm]	0,09	[kgCO _{2e} /t-km]	0,13	0,23%	1,55	1,27
		Caucho sintético	1,76	[tkm]	0,09	[kgCO _{2e} /t-km]	0,15	0,28%	1,55	1,27
		Negro de Humo	3,13	[tkm]	0,09	[kgCO _{2e} /t-km]	0,27	0,50%	1,55	1,27
		Otros aditivos	0,40	[tkm]	0,09	[kgCO _{2e} /t-km]	0,04	0,06%	1,55	1,27
	Barco	Caucho Natural	44,79	[tkm]	0,02	[kgCO _{2e} /t-km]	0,72	1,31%	1,55	1,27
		Caucho sintético	18,26	[tkm]	0,02	[kgCO _{2e} /t-km]	0,29	0,53%	1,55	1,27
		Negro de Humo	0,76	[tkm]	0,02	[kgCO _{2e} /t-km]	0,01	0,02%	1,55	1,27
		Otros aditivos	0,22	[tkm]	0,02	[kgCO _{2e} /t-km]	0,00	0,01%	1,55	1,27
Manufactura		Consumo energético	23,98	[kWh]	0,50	[kgCO _{2e} /kWh]	11,95	21,78%	1,27	1,27
Transporte Producto terminado	Barco	Transporte hacia Chile	73,88	[tkm]	0,02	[kgCO _{2e} /t-km]	1,18	2,15%	1,27	1,27
Recauchaje		Consumo energético	21,47	[kWh]	0,346	[kgCO _{2e} /kWh]	7,43	13,54%	1,59	1,27