



CERTIFICADO DIGITAL HUELLA DE CARBONO

Alexander Eslava Sarmiento
laeslavas@unal.edu.co
Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional de Colombia
Consultor Portuario
Especialista en Logística Internacional

El mayor desafío que hoy en día enfrenta la logística radica en cómo limitar el impacto negativo del transporte de mercancías en el medio ambiente con los consiguientes efectos sobre los sistemas naturales y sobre la economía. El sector del transporte es uno de los que más energía consume y más emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) genera, siendo el principal impulsor del Cambio Climático Global (CCG). La demanda de transporte de mercancías crece continuamente y debe ser satisfecha por la logística, ocasionando una importante huella ambiental conocida en el sector como Huella de Carbono (HC). A pesar de los esfuerzos gremiales y gubernamentales, el desempeño ambiental del sistema de transporte de mercancías no ha sobresalido hasta el momento. Parece que las medidas existentes no son suficientes para motivar a transportistas y usuarios del transporte a implementar estrategias logísticas sostenibles y descarbonizantes del sector.

Así, el CCG reta a la logística del transporte a reducir las emisiones contaminantes de GEI, a no exceder la capacidad de asimilación del ambiente de estos (Gallo, A., 2022); pues es bien sabido que el transporte de mercancías contraviene ampliamente este reto, ya que contribuye con una cuarta parte de las emisiones totales, la mayoría de las cuales provienen del transporte por carretera (71,7 %), seguido por el aéreo (13,9 %) y el marítimo (13,3 %) (Gallo, A., 2022). La cuota de emisiones del transporte ferroviario y fluvial/lacustre asciende al 1 %, por tanto, son insignificantes. Sin embargo, se deben implementar estrategias para enfrentar el reto del cambio climático con el objeto de mitigar el impacto ambiental del transporte de mercancías por carretera. Entre las estrategias logísticas existentes están: a) reducir el número de envíos o la duración de los viajes; b) mejorar la eficiencia de los envíos individuales mediante la promoción de un cambio modal desde el modo de transporte que consume más energía (carretero) hacia modos de transporte con bajas emisiones de dióxido de carbono (CO₂) (ferroviario-fluvial/lacustre); c) mejorar la eficiencia energética de los modos de transporte y la tecnología vehicular mediante el uso de combustibles bajos en carbono, aumentando la eficiencia del combustible y reduciendo la HC. Para tal, las emisiones de GEI de la logística del transporte de mercancías por carretera, es decir la HC, deberá no solo reducirse sino controlarse y certificarse digitalmente. Esta es una tarea desafiante ya que se prevé que la demanda mundial de transporte se triplique para el año 2050, lo que resultaría en el doble de emisiones de GEI.

Gases Efecto Invernadero

El CCG es el factor externo clave que ha comenzado a influir en la economía del mundo y lo hará aún más en el futuro. Desde el comienzo de la era industrial, la actividad humana, en particular, el consumo de combustibles fósiles ha aumentado la concentración de dióxido de carbono (CO₂) y Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera: monóxido de carbono (CO); óxidos de nitrógeno (NO_x); dióxido de nitrógeno (NO₂) causante de la niebla fotoquímica; hidrocarburos (HC); dióxido de azufre (SO₂) generador de lluvia ácida; metano (CH₄) tiene un efecto de calentamiento 25 veces mayor que el CO₂ porque tiene una mayor capacidad de atrapar calor en la atmósfera (Lau, Yy., & Ng, A.W., 2021). Por tanto, 1 kg de metano tiene el mismo efecto nocivo que 25 kg de CO₂; hidrofluorocarbonos (HFC), 1 kg de clorofluorocarbonos tiene el mismo efecto nocivo que 124 kg de CO₂; perfluorocarbonos (PFC); hexafluoruro de azufre (SF₆), 1 kg de hexafluoruro tiene el mismo efecto nocivo que 22.800 kg de CO₂; trifluoruro de nitrógeno (NF₃); material particulado (MP) y, en efecto, dióxido de carbono (CO₂). Cada gas tiene un potencial diferente de calentamiento global por lo que las emisiones de GEI suelen expresarse en equivalentes de CO₂ o (CO₂e), éstas se calculan multiplicando la masa de un GEI dado por su potencial de calentamiento global. El CO₂ representa la mayor proporción (aproximadamente el 85 %) de los GEI (Lau, et al, 2021) en la atmósfera, razón por la cual se presta tanta atención a este gas en particular.



Por su puesto, los GEI provocan el calentamiento global, y el calentamiento global provoca el cambio climático. El calentamiento global se refiere al aumento de la temperatura de la superficie terrestre. El cambio climático se refiere al cambio en el clima de la Tierra debido a este aumento de las temperaturas, lo que genera el CCG. Estos cambios incluyen, entre otros, cambios en los patrones de precipitación, disponibilidad de agua dulce, cantidad de glaciares y hielo marino, salud del ecosistema y biodiversidad. Por tanto, es probable que los impactos más graves del CCG sean económicos y sociopolíticos; interrupción de las Cadenas de Suministro (CS) y Cadenas de Valor (CV) a medida que el clima extremo interfiere con las operaciones de producción, rutas de envío y rutas comerciales. Se estiman impactos desestabilizadores en los gobiernos ante crisis de refugiados por el desplazamiento de millones de personas debido al aumento del nivel del mar, por bienes escasos como el agua potable, por el surgimiento de gobiernos nacionalistas que intentaran proteger a los suyos en un mundo de creciente crisis climática, razón por la cual el ejército de EE. UU., ve el CCG como uno de los mayores riesgos geopolíticos del futuro previsible.

Pero a pesar de los esfuerzos globales para reducir las emisiones de GEI en la última década, estas siguen aumentando; la liberación neta promedio de GEI en los últimos diez años fue de 4,9 Giga-toneladas de Carbono (GtC) por año, superando con creces la capacidad natural de la Tierra para ab-sorberlas (Gøril L. Andreassen & Knut Einar Rosendahl, 2022). Como resultado, se sigue gastando el “Presupuesto de Carbono” que es la cantidad de emisiones antes de que sea inevitable un calentamiento global significativo. Una vez agotado este presupuesto, a partir de ese momento, se tendrán que reducir las emisiones netas globales anuales a cero. Las emisiones netas cero podrían lograrse solamente “Descarbonizando la economía mundial (Agarwal, A.K. & Valera, H., 2022). De hecho, con un aumento de los GEI de aproximadamente un 0,5 % anual, el presupuesto de carbono llegará a su final para el año 2040, si no antes. Las recesiones económicas mundiales, como la inducida por la pandemia en 2020, solo dieron un respiro temporal de las emisiones de GEI, retrasando la fecha solo uno o dos años. Por tanto, la próxima década es absolutamente crítica.

Modos de Transporte

El sector transporte, incluidos automóviles, camiones, aviones, buques, trenes y barcas, es la fuente más visible de las emisiones de GEI (Karimi, V., Valizadeh, N., Rahmani, S., Bijani, M. & Karimi, M., 2022)., representa solo el 14 % de las emisiones globales; los automóviles generan la mayor parte de las emisiones de CO₂ (esto porque el proceso de combustión en sus motores es incompleto, produciendo emisiones de contaminantes). Las emisiones de CO₂ y de GEI del transporte provienen principalmente de la quema de combustibles fósiles (gasolina, diésel, gas natural, bunker). Los motores diésel emiten más CO₂ por unidad de energía, pero debido a que son más eficientes energéticamente, su impacto general en emisiones de CO₂ es menor que el de un motor de gasolina de tamaño equivalente; los motores diésel emiten niveles mucho más altos de partículas y óxidos de nitrógeno (NOx) que un motor de gasolina equivalente. Medir estas partículas cuando el vehículo está parado es bastante difícil; medirlos en diferentes condiciones de conducción y velocidades presenta complejidades adicionales.

No obstante, los contaminantes emitidos por el transporte terrestre de mercancías tienen efectos locales, regionales y globales. Los contaminantes locales permanecen cerca de la fuente de emisión. En el borde de la acera de las carreteras principales, las concentraciones de los contaminantes pueden ser de dos a tres veces mayor que a nivel urbano, mientras que dentro de los vehículos que circulan por las carreteras principales, las concentraciones pueden ser en promedio cinco veces mayores. Por tanto, el transporte es la fuente más visible de la logística y es el sector que más rápido crece en términos de emisiones GEI en el mundo; el 90 % de estas emisiones corresponden a los cinco modos de transporte (marítimo-aéreo-carretero-férreo-fluvial-lacustre), y la mayoría de las emisiones de GEI provienen del transporte de mercancías por carretera (Gøril L. Andreassen et al, 2022). El modo carretero es responsable de gran parte de las emisiones de CO₂ y es reconocido como uno de los principales impulsores del CCG. Esto, debido a que tiene la mayor parte en toneladas-kilómetro de todos los restantes modos de transporte continentales (ferroviario-fluvial-lacustre); las emisiones de CO₂ generadas en una cadena de transporte multimodal son mayores que las generadas por una cadena de transporte intermodal.

Por su parte, en el transporte marítimo, ya sea en contenedores o a granel las emisiones por toneladas-kilómetro son bajas, los viajes suelen ser largos y la mayoría de los buques emplean combustible bunker uno de los combustibles más contaminantes e impulsores del CCG. El transporte aéreo es el modo de transporte disponible más rápido en largas



distancias, sin embargo, también es el que más emisiones de CO₂ emite ya que los aviones queman gran cantidad de combustible por tonelada-kilómetro. En cuanto al modo ferroviario, los trenes pueden funcionar con electricidad o con combustibles fósiles; se le considera más amigables con el medio ambiente que el transporte por carretera, pero eso depende de las características del viaje y de la carga de compensación, si la hay. De hecho, se estima, que de las emisiones de CO₂, del transporte aéreo y del transporte marítimo cada una varía entre el 3 y el 5 % del total global; en promedio, el transporte marítimo representa el 3,1 % del CO₂ global anual, y solo para el envío internacional de mercancías entre 2015-2020 se emitieron a la atmósfera cerca de 1200 millones de toneladas de CO₂; se prevé que las emisiones globales de CO₂ del transporte marítimo podrían alcanzar el 20 % para 2050 (Gøril L. Andreassen et al, 2022)

Modestos esfuerzos de las industrias del transporte para descarbonizar gradualmente el sector no son suficientes y el mundo ha visto un crecimiento continuo de las emisiones de GEI en los últimos años, esto, debido a la baja participación de las energías renovables y la gran dependencia de los combustibles fósiles del sector.

A saber: un vuelo transatlántico de ida y vuelta provoca 3000 kilos de emisiones GEI; un gramo de alimento transportado 5000 km en avión genera 8 gramos de emisiones de GEI; un gramo de alimento transportado 20000 km en buque genera 0,3 gramos de emisiones GEI; transportar alimentos por vía aérea genera cien veces más emisiones de GEI que llevar el mismo alimento a la misma distancia por vía marítima; un buque portacontenedores genera 19 gramos en equivalente de dióxido de carbono (gCO₂e) por tonelada por km; un buque refrigerado portacontenedores genera 34 gCO₂e por tonelada por km. (Gallo, A., 2022).

Huella de Carbono

El concepto de HC ha sido ampliamente utilizado como indicador de sostenibilidad ambiental especialmente para el desarrollo de políticas de sustentabilidad tanto a nivel de la empresa como del gobierno. Se define como la masa de emisiones de CO₂ acumuladas que se pueden medir a lo largo de una cadena de suministro; se refiere a la cantidad total de emisiones de GEI producidas directa o indirectamente por la actividad logística del transporte y puede utilizarse para evaluar los principales puntos críticos ambientales y las medidas de mitigación o mejora (la norma EN 16258 y el Marco GLEC, Global Emission Council, tienen como objetivo crear un procedimiento estandarizado global). En efecto, la HC es la masa equivalente de CO₂ (CO₂eq) basada en el Potencial de Calentamiento Global (PCG) de 100 años. En otras palabras, la HC se cuantifica mediante indicadores como el PCG global, que es la cantidad de GEI que contribuye al calentamiento y al CCG, con un horizonte temporal de 100 años (Florian Leblanc, S. et al, 2022).

El concepto actual representa la medida de una cantidad física de carbono (o gases equivalentes) resultante de actividades definidas, en este caso, del sector transporte. En consecuencia, la HC permite a las empresas identificar las fuentes de GEI más importantes y analizar el potencial de reducción, aumentando así la eficiencia productiva al mismo tiempo. De esta manera, se pueden lograr mejoras ambientales y reducciones de costos; es una herramienta estratégica para las empresas del sector del transporte que se ocupa esencialmente del equilibrio de las GEI. Por tanto, el cálculo de la HC en el transporte de mercancías por carretera necesita de gran cantidad de datos sobre las diferentes cadenas logísticas de transporte y los participantes en ella.

Certificado Digital Huella de Carbono

El Certificado Digital Huella de Carbono (CDHC) tiene como objetivo proponer una plataforma para apoyar la verificación de la identidad, del historial de transporte y de la ubicación en el tiempo real de las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) causadas por el transporte de mercancías por medio de un certificado digital basado en la tecnología disruptiva de Blockchain y que actúe como un método de registro documentado de identificación (Imeri, A., Feltus, C., Agoulmine, N., Khadraoui, D., 2023). En efecto, un CDHC es una credencial que permite a una organización o al Estado (Ministerio de Transporte) identificar y compartir información de forma segura a través de Internet u otra red privada mediante un par de claves pública/privada. El uso conjunto de tecnología disruptiva Blockchain y CDHC tiene como objeto garantizar la transparencia de las transacciones gracias a un registro inalterable distribuido entre muchos usuarios, fácil acceso gracias al entorno colaborativo que facilita que todos los agentes accedan rápidamente a la información del transporte, menos papeleo gracias a la distribución electrónica de datos y, en especial, a la fuerte



identificación de los usuarios gracias a las credenciales de los certificados digitales. Esto significa mayor eficiencia, un enfoque más ágil a nivel de gestión, más reactividad en el tratamiento de la información, menos riesgos de errores basados en el tratamiento y mantener información rastreable para cualquier fase operativa del transporte.

Las partes interesadas, en particular las autoridades competentes, requieren la vigilancia de las actividades logísticas del transporte en el área geográfica bajo su jurisdicción o en un contexto transfronterizo. Las partes interesadas e incluso los clientes finales requieren información sobre el flujo físico de mercancías desde el punto de origen hasta el punto de destino. Para tener acceso a dicha información, se requiere el establecimiento de un mecanismo de trazabilidad. La trazabilidad es la posibilidad de rastrear el historial, la administración o la ubicación de mercancías y vehículos durante el transporte. El seguimiento y rastreo de la información de los procesos activos y pasivos mejora los aspectos de monitoreo y auditoría. La trazabilidad activa permite conocer la ubicación exacta del vehículo que se encuentra en tránsito. La trazabilidad pasiva permite la consulta de cualquier información posible sobre el proceso realizado en el transporte de mercancías

Por tanto, el CDHC es un parámetro basado en tecnología disruptiva Blockchain para estimar, monitorear, reportar y verificar las emisiones de GEI causadas por el transporte de mercancías; actúa como un método de registro documental de identificación permite almacenar y mantener información de cada vehículo de transporte de mercancías. Siendo una credencial para un ente público o privado que requiere de identificar y compartir información de forma segura a través de la Internet. El uso conjunto de tecnología Blockchain y el CDHC tiene como objetivo garantizar la transparencia de las transacciones a un registro inalterable distribuido entre muchos usuarios de fácil acceso en un entorno colaborativo y que permite que todos los agentes accedan rápidamente a la información. Esto significa, mayor eficiencia, un enfoque más ágil a nivel de gestión, mayor reactividad y menor riesgo de error en el tratamiento de la información.

El CDHC se establece en la fase temprana de planificación del transporte de mercancías, antes de su inicio, mediante la recopilación de la información necesaria; el CDHC sigue siendo válido durante y después del proceso de transporte. En cualquier momento, los interesados, autorizados, lo pueden recuperar con toda la información obtenida en el flujo logístico de transporte de mercancías. Reúne de manera detallada información previa y posterior del proceso de certificación y autorización del interesado, combina información adicional detallada para el proceso de transporte; el CDHC se actualiza con la última información (en el momento y en tiempo real), lo que permite mejorar los aspectos de control de calidad y gestión del proceso. Esta función de seguimiento y localización permite respuestas rápidas en caso de emergencias (mediante envío de información).

Por tanto, el CDHC es la verificación y demostración de responsabilidad y compromiso medioambiental por parte de la empresa de transporte de mercancías; es la divulgación transparente de acciones de sostenibilidad a través de acuerdos, asegurando que la empresa de transporte de mercancías proporcione información precisa sobre su agenda de sostenibilidad; es una acción tangible demostrada a través de la mejora continua a lo largo del tiempo. En términos económicos el CDHC es un atributo de credibilidad, es el reconocimiento de compromiso y ética ambiental por el uso eficiente de recursos no renovables; muestra el valor y pertinencia como el vínculo entre la economía y las emisiones de CO₂ del sector transporte de mercancías. Es la forma de hacer que los esfuerzos de sostenibilidad de las empresas de transporte sean transparentes y visibles; es una herramienta de comunicación e información sobre las actividades de sostenibilidad y mitigación del CCG; es la fuente de ideas para implementar nuevas medidas, para la toma de decisiones y para continuar dando forma al futuro del sector del transporte de mercancías de manera sostenible.

Finalmente, cabe anotar que la tecnología disruptiva Blockchain ofrece mecanismos basados en algo-ritmos para establecer y gestionar confianza entre las entidades (Imeri, A., et al, 2023; hace que las transacciones sean fácilmente rastreables y totalmente divulgables incluso en grandes y complejos eco-sistemas; elimina intermediarios o corredores y costos de transacción relacionados con intermediarios o corredores; reduce de costos económicos, tiempo y complejidad en los intercambios de información intergubernamental y público-privada que mejoran la función administrativa del gobierno; reduce la burocracia, el poder discrecional y la corrupción, inducida por el uso de libros mayores distribuidos y contratos inteligentes programables; mayor automatización, transparencia, auditabilidad y rendición de cuentas de la información en registros gubernamentales en beneficio de los ciudadanos; mayor confianza de ciudadanos y empresas en los procesos gubernamentales y mantenimiento de registros impulsado por el uso de



algoritmos que ya no están bajo la exclusiva control del gobierno; facilita interacciones directas entre instituciones públicas, ciudadanos y agentes económicos; mejora los procesos de registro e intercambio de información; remodela la forma en que el gobierno interactúa con ciudadanos y entre sí.

La tecnología Blockchain es prometedora desde la perspectiva centrada en el ciudadano, al experimentar beneficios económicos y ganancias de eficiencia de los servicios. Dados todos estos beneficios y desafíos, la tecnología disruptiva de Blockchain puede alterar el «statu quo» en el sector público, e inspirar nuevos modelos de prestación de servicios para el gobierno.

Nota:

El presente documento es producto de la propuesta presentada al Ministerio de Transporte de Colombia por parte del autor del mismo: Implementar Certificado Digital Huella de Carbono basado en tecnología disruptiva Blockchain en el Nuevo Estatuto Nacional de Transporte 2022, como elemento de mitigación del cambio climático en el transporte de mercancías público aéreo, marítimo, fluvial, férreo, carretero, masivo y terrestre y su operación en el territorio nacional (Artículo 31, Ley 336 de 1996).

Cibergrafía

Agarwal, A.K. & Valera, H. (2022). Introduction of Greener and Scalable E-Fuels for Decarbonization of Transport. In: Agarwal, A.K., Valera, H. (eds) Greener and Scalable E-fuels for Decarbonization of Transport. Energy, Environment, and Sustainability. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8344-2_1

Florian Leblanc, S. Ruben Bibas, Silvana Mima, Matteo Muratori, Shogo Sakamoto, Fuminori Sano, Nico Bauer, Vassilis Daioglou, Shinichiro Fujimori, Matthew J. Gidden, Estsushi Kato, Steven K. Rose, Junichi Tsutsui, Detlef P. van Vuuren & John Weyant Marshall Wise. (2022). The Contribution of Bioenergy to The Decarbonization Of Transport: A Multi-Model Assessment. Climatic Change 170, 21 <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03245-3>

Gallo, A. (2022). The Logistic Carbon Footprint: A Dynamic Calculation Tool for an Indicator of the Sustainability of Logistic Processes with a Case Study on the Port of Trieste. In: Gervasi, O., Murgante, B., Misra, S., Rocha, A.M.A.C., Garau, C. (eds) Computational Science and Its Applications – ICCSA 2022 Workshops. ICCSA 2022. Lecture Notes in Computer Science, vol 13381. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10548-7_9

Gøril L. Andreassen & Knut Einar Rosendahl. (2022). One Or Two Non-Fossil Technologies in The Decarbonized Transport Sector? Resource and Energy Economics, Volume 69, <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2022.101314>

Imeri, A., Feltus, C., Agoulmine, N., Khadraoui, D. (2023). The Blockchain-Based Digital Certificate for the Transport of Dangerous Goods. In: Bouras, A., Khalil, I., Aouni, B. (eds) Blockchain Driven Supply Chains and Enterprise Information Systems. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96154-1_3

Karimi, V., Valizadeh, N., Rahmani, S., Bijani, M. & Karimi, M. (2022). Beyond Climate Change: Impacts, Adaptation Strategies, and Influencing Factors. In: Bandh, S.A. (eds) Climate Change. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86290-9_4

Lau, Yy., & Ng, A.W. (2021). Climate Change Leadership in the Logistics Industry. In: Leal Filho, W., Luetz, J., Ayal, D. (eds) Handbook of Climate Change Management. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22759-3_279-1