

ESPECIES INVASORAS FLUYEN EN LA CADENA GLOBAL DE SUMINISTRO INVASIVE SPECIES FLOW INTO THE GLOBAL SUPPLY CHAIN

Alexander Eslava Sarmiento¹ 

Ing., Especialista en Logística Internacional. Correo: laeslavas@unal.edu.co

Para citar este artículo: Eslava Sarmiento, A., (2023). Especies invasoras fluyen en la cadena global de suministro. Revista Loginn: Investigación Científica y Tecnológica, Loginn 7 (2).
<https://dx.doi.org/10.23850/25907441.5774>

Recibido: 18 de julio de 2023

Aceptado: 22 de diciembre de 2023

Publicado en línea: 27 de diciembre de 2023

Palabras clave:

Especies
Invasoras;
Material de
Embalaje de
Madera;
Pallet de
Madera;
Contaminación
Fitosanitaria;
NIMF 15;
Cadena
Global de
Suministro.

RESUMEN

La gestión del riesgo fitosanitario asociado con cada pieza de Material de Embalaje de Madera (MEM) y en los pallets de madera que fluyen en la Cadena Global de Suministro (CSG) es un proceso complejo y que involucra a múltiples entidades y países. La Marca de Certificación NIMF 15 deberá indicar el cumplimiento total del tratamiento, reduciendo la necesidad de inspecciones de alta frecuencia y disminuyendo la necesidad de documentación adicional como es el certificado fitosanitario. Sin embargo, el volumen del comercio internacional continúa aumentando cada año con decenas de millones de envíos que tienen MEM y pallets de madera asociados a las mercancías, indica que el MEM presenta un alto riesgo real de introducción de especies invasoras en la CGS. La recopilación de datos del MEM y de los pallets de madera que fluyen en la CGS podría mejorar con el apoyo de la tecnología disruptiva de Blockchain, registrando el número de unidades infestadas dentro de los envíos, especificando cuándo hay corteza presente, si las piezas residuales son más grandes que los límites de tolerancia actuales y el tipo de tratamiento especificado. Esta información permitiría una evaluación clara del riesgo real de los envíos individuales infestados en la CGS.

F10;
L91;
P18;
Q55

Keywords:

Invasive
Species;
Wood
Packaging
Material;
Wooden
Pallet;
ISPM 15;
Phytosanitary
Contamination;
Global
Supply
Chain.

ABSTRACT

The management of the phytosanitary risk associated with each piece of Wood Packaging Material (WPM) and in the wooden pallets that flow in the Global Supply Chain (CSG) is a complex process that involves multiple entities and countries. The ISPM 15 Certification Mark must indicate full compliance with the treatment, reducing the need for high-frequency inspections and reducing the need for additional documentation such as the phytosanitary certificate. However, the volume of international trade continues to increase each year with tens of millions of shipments having WEM and wooden pallets associated with the goods, indicating that WPM presents a very high real risk of introducing invasive species into the CGS. The data collection of the WPM and the wooden pallets flowing in the CGS could improve with the support of the disruptive technology of Blockchain, recording the number of infested units within the shipments, specifying when bark is present, if the residual pieces are larger than the current tolerance limits and the specified treatment type. This information would allow a clear assessment of the actual risk of individual infested consignments in the CGS.

INTRODUCCIÓN

Las invasiones biológicas se pueden definir como fenómenos en los que una especie amplía su área de distribución geográfica, ocupando regiones en las que antes no estaba presente. A pesar de la aparente simplicidad de esta definición, desde un punto de vista ecológico, las invasiones son un tipo de fenómeno complejo. Así, las especies invasoras que son especies exóticas (especies no autóctonas; especie presente en una región a la que ha llegado) en proceso de expansión en un área determinada, causan grandes impactos en el medio ambiente donde se establecen (Jaksic, F.M. & Castro, S.A., 2021); si las especies u organismos (propágulos; unidades biológicas) se dispersan a largas distancias, la expansión del área de distribución mostrará una dinámica saltacional, de modo que podrán crecer desde varios frentes simultáneamente. La mayoría de las invasiones se relacionan fundamentalmente con las actividades de intercambio de bienes y servicios a través del comercio internacional que los humanos desarrollan en el planeta, momento histórico que se ha denominado Antropoceno (Charles Yoe, Robert Griffin, Stephanie Bloem, 2020); es decir, aquellas invasiones facilitadas directa o indirectamente por los seres humanos.

De acuerdo con lo anterior, existen varias razones que respaldan este argumento (Epanchin-Niell, R., McAusland, C., Liebhold, A., Mwebaze, P., & Springborn, M. R., 2021); en primer lugar, se considera que el número y la tasa de introducción de diferentes especies de una región a otra, así como las regiones y distancias geográficas involucradas, son hechos sin precedentes en la historia de la biota terrestre (dominación humana sobre los ecosistemas del planeta). En segundo lugar, antecedentes señalan que un resultado directo de esta reubicación de especies es que la distribución global de la biodiversidad está en proceso de reorganización o reconfiguración, todo en un marco “en tiempo real”. La ocurrencia de invasiones ha dado lugar a tal mezcla de especies, grupos biológicos y orígenes geográficos que algunos autores han llamado a este período el Homogeceno o conformación de una Nueva Pangea. (Anna J. Turbelin, Christophe Diagne, Emma J. Hudgins, Desika Moodley, Melina Kourantidou, Ana Novoa, Philip J. Haubrock, Camille Bernery, Rodolphe E. Gozlan, Robert A. Francis & Franck Courchamp, 2022).

En tercer lugar, las invasiones representan una modificación predeterminada de la biodiversidad, ya que el resultado inmediato es que aumenta el número de especies en una región. Aunque la mayoría de las especies exóticas pueden coexistir con la diversidad de especies nativas, un pequeño número de las primeras puede modificar la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas invadidos, a veces con resultados no deseados (Ormsby, M.D., 2022). En algunos casos, la presencia de especies exóticas puede causar la extinción local o global de especies nativas por lo que suelen ser consideradas una amenaza para la conservación de la biodiversidad. En cuarto lugar, más allá del campo de la ecología, las especies exóticas son responsables de importantes efectos económicos, tanto deseados como no deseados por los humanos. Para los Estados Unidos, se ha estimado que el 98% de su sistema alimentario descansa en especies exóticas. Esto, ha servido como herramienta para impulsar políticas de control fronterizo encaminadas a controlar la llegada de nuevas especies a determinados países, así como mantener a raya algunas de las ya introducidas. De hecho, existen las llamadas “Listas Negras” (Clements, D.R., Upadhyaya, M.K., Joshi, S., Shrestha, A., 2022; Cuthbert, R. N., Diagne, C., Haubrock, P. J., Turbelin, A. J., & Courchamp, F., 2021) que incluyen especies que bajo ningún punto de vista debería ser admitida su entrada en determinados países. En quinto y último lugar, se reconoce que algunas especies introducidas afectan la salud humana. Por tanto, la propagación de enfermedades infecciosas se puede concebir como eventos de invasión, donde los organismos patógenos se dispersan (amplían su rango) a otros huéspedes en la población.

Posterior a la Segunda Guerra Mundial, el término “invasión” se asoció, y de manera evidente, con el de “amenaza” (Jaksic, F.M. et al, 2021); esto, ya que en 1958, Charles S. Elton, el ecólogo más influyente del siglo XX, publicó el libro *La Ecología de las Invasiones de Animales y Plantas*, texto considerado piedra angular de la disciplina, y en el que incorporó conceptos con matices bélicos, y en cierta medida catastróficos, que han terminado calando no sólo en la comunidad científica sino también en el público en general. Casualmente, el transporte global de mercancías en contenedores marítimos comenzó en 1956, cuando cincuenta y ocho contenedores, cada uno de treinta y tres pies de largo, normalmente transportados por camión, se cargaron a bordo del buque SS Ideal X, con destino a Houston, Texas, donde llegó seis días después. Fue un desarrollo revolucionario que cambió el comercio global,

cuyo inventor Malcom McLean, un camionero de profesión, usó un buque en lugar de muchos camiones. De hecho, especies se han introducido sin querer; introducciones no intencionales, también llamadas involuntarias, accidentales o inadvertidas, involucran especies que viajan como “polizón”, asociadas con el transporte de otras especies o el intercambio de otros bienes y servicios en contenedores marítimos.

El ejemplo más característico y conocido de introducción no intencionada es el transporte de roedores como *Rattus rattus*, *Rattus norvegicus*, *Mus musculus* o la cucaracha (*Blatta orientalis*), que así se dispersaron, consiguieron llegar y establecerse con éxito en los cinco continentes (Laura A. Meyerson, Aníbal Pauchard, Giuseppe Brundu, James T. Carlton, José L. Hierro, Christoph Kueffer, Maharaj K. Pandit, Petr Pyšek, David M. Richardson & Jasmin G. Packer, 2022). Estos taxones se consideran actualmente como especies cosmopolitas. Según estimaciones recientes, en Europa, el 63 % de las 4.000 especies de plantas exóticas presentes en este continente se introdujeron intencionalmente; mientras que, solo el 37 % se introdujeron inadvertidamente. En Estados Unidos, la Organic Trade Association (OTA) estableció que el 81 % de las especies exóticas presentes en este país entre 1983 y 1993 ingresaron de manera involuntaria. Independientemente de la causalidad y el propósito de una introducción, muchas especies invasoras requieren vectores de dispersión iniciales o secundarios para llegar de una región a otra y luego expandirse; es decir, un medio de transporte físico que les permita moverse (vectores abióticos de dispersión) (Chelcy Ford Miniat, Jennifer M. Fraterrigo, Steven T. Brantley, Mac A. Callaham Jr, Susan Cordell, Jeffrey S. Dukes, Christian P. Giardina, Shibu Jose & Gary Lovett, 2021); este vector mostrará una ruta geográfica específica de dispersión, denotando una ruta espacialmente explícita.

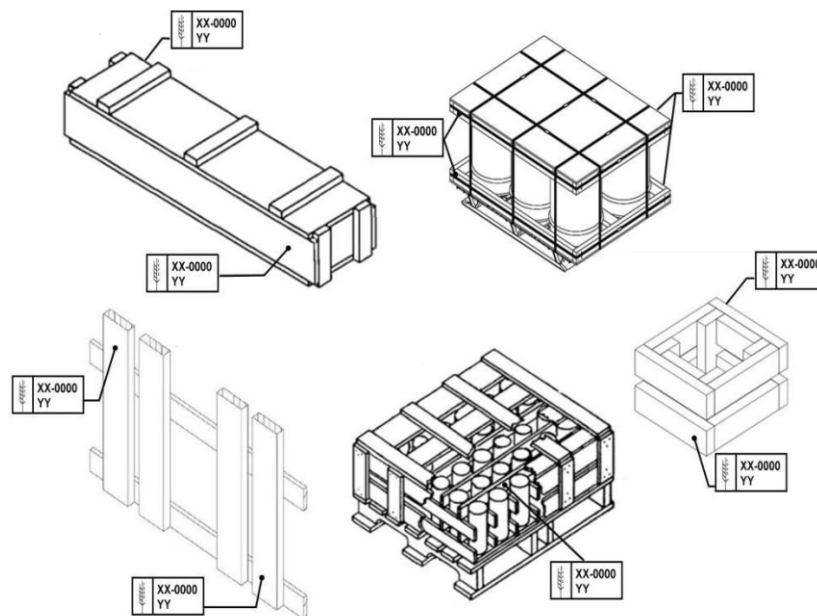
Por tal motivo, la Organización Marítima Internacional (OMI), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el tratado intergubernamental firmado por más de 180 países para contener la propagación de plagas invasoras por parte de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF), abanderan desde 2017 el programa de Riesgos de Plagas Asociadas con el Movimiento de Contenedores Marítimos y sus Cargas (contaminación fitosanitaria) movilizados internacionalmente por los modos de transporte marítimo-carretero-aéreo-ferroviario-fluvial/lacustre. Los organismos infestantes, infectan o invaden los tejidos vegetales, mientras que los organismos contaminantes carecen de esta relación física o fisiológica con la mercancía en la que se encuentran (Deborah M. Finch, Jack L. Butler, Justin B. Runyon, Christopher J. Fettig, Francis F. Kilkenny, Shibu Jose, Susan J. Frankel, Samuel A. Cushman, Richard C. Cobb, Jeffrey S. Dukes, Jeffrey A. Hicke & Sybill K. Amelon, 2021); esto debido a que, se pueden encontrar organismos contaminantes en cualquier Material de Embalaje de Madera (MEM) en la Cadena Global de Suministro (CGS). De hecho, el comercio mundial está subestimando las advertencias de la OMI, la FAO y de la CIPF (IPPC Secretariat, 2022) *que sostienen que: “los contenedores marítimos se están convirtiendo en una amenaza flotante al propagar plagas y enfermedades a nivel global. El comercio global es el vector, los contenedores marítimos el vehículo”* En consecuencia, el comercio global sigue aumentando en volumen, velocidad, alcance geográfico, diversidad de productos y en modos de transporte (contenedorización), lo que ha resultado en un aumento paralelo, tanto en cantidad como en vías disponibles para que las especies invasoras fluyan en las CGS.

MATERIAL DE EMBALAJE DE MADERA

El MEM como material de estiba de la carga transportada (pallets, cajas, cajones, tarimas, tableros, listones, carretes, otros) hace parte integral de la CGS. Esto, debido a su función de contener, proteger y apoyar el flujo logístico de los productos comercializados desde el punto de origen al punto de destino. Las condiciones del MEM tratado adecuadamente (Norma NIMF15; expone lineamiento y regulaciones para reducir el riesgo de introducciones de especies no autóctonas asociadas con productos o modos de transporte específicos) presenta riesgo de contaminación posterior al tratamiento por plagas que se adhieren a la superficie o se refugian en él. Si bien esta iniciativa mundial se ha implementado ampliamente en la CGS, todavía se produce cierto movimiento de especies invasoras (plagas: especies que tiene impactos dañinos para el medio ambiente o para una economía en su área de distribución nativa o introducida) debido a una combinación de factores que incluyen,

entre otros, fraude, uso de material no tratado, tratamiento insuficiente o inadecuado y contaminación posterior al tratamiento (Figura 1); se estima que las especies invasoras (plagas) en todos los ecosistemas cuestan al mundo, anualmente, decenas de miles de millones de dólares, aunque se acepta que los costos reales probablemente sean mayores.

Figura 1. Ubicación Marca de Certificación NIMF 15 en el Material de Embalaje de Madera (MEM) utilizado en la Cadena Global de Suministro.



La expansión del comercio mundial durante las últimas décadas ha abierto nuevos mercados y ha aumentado la velocidad a la que fluyen las mercancías en todo el mundo (Allen, E., Noseworthy, M., & Ormsby, M., 2017). Este rápido aumento en el volumen del comercio se debe en parte a una población mundial en crecimiento con un mayor poder adquisitivo y una correspondiente mayor demanda de bienes. Una consecuencia de este fenómeno es el aumento global en los movimientos de plantas, animales, mascotas y microorganismos asociados con el comercio global de productos básicos que conducen a la introducción y establecimiento de especies invasoras. La CIPF y todos sus afiliados trabajan colectivamente para desarrollar soluciones que aborden los riesgos asociados en las CGS, como los que plantean las plagas invasoras y el movimiento del MEM.

El MEM procede de árboles vivos o muertos que puede estar infestados de plagas de plantas (invadidos por organismos patógenos), que con frecuencia puede no haber tenido suficiente tratamiento para eliminar o matar las plagas y; por tanto, sigue siendo una vía activa para la introducción y propagación de plagas cuarentenarias. Se ha demostrado que el material de estiba, en particular, presenta un alto riesgo de introducción y propagación de plagas cuarentenarias. El MEM muy a menudo se reutiliza, repara o remanufactura, desconociéndose el verdadero origen de cualquiera de sus piezas de madera, proceso muy difícil de verificar, por lo que su estado fitosanitario no puede determinarse fácilmente. En consecuencia, el proceso normal para analizar el riesgo de plagas para determinar si requiere de medidas necesarias con frecuencia no es posible para el caso del MEM. Por esta razón, la IPPC Secretariat, 2023, en su nueva versión (IPPC Secretariat, 2023): «*Guide to Regulation Of Wood Packaging Material Under Standing the Phytosanitary Requirements for the Movement of Wood Packaging Material in International Trade*»

describe medidas internacionalmente aceptadas que los países pueden aplicar al MEM, con el objeto de reducir significativamente el riesgo de introducción y propagación de la mayoría de las plagas cuarentenarias que pueden estar asociadas con ese tipo de material.

En efecto, algunas Organizaciones Nacionales de Protección Fitosanitaria (ONPF) consideran que la madera de estiba que acompaña los embarques internacionales presenta un alto riesgo de plagas y su regulación requiere de un trato distinto en comparación con pallets de madera (Norma Internacional de Manejo Fitosanitario, (NIMF 15)), ya que el material de estiba, por lo general, consiste de maderas de gran sección transversal que son más difíciles de tratar o que pueden exceder el tamaño permitido para el tratamiento fitosanitario (madera con secciones transversales superiores a los 20 cm imposibilita su fumigación). Las especies invasoras se les puede ubicar casualmente en la madera de estiba, o entrar en los contenedores marítimos durante o después del estibado/desestibado de la carga. Al desestibarse la carga en puerto de destino, la madera de estiba se separa de la carga y en muchas ocasiones se abandona en puerto de destino y se le considera desechos internacionales (Danish A. Ahmed, Emma J. Hudgins, Ross N. Cuthbert, Melina Kourantidou, Christophe Diagne, Phillip J. Haubrock, Brian Leung, Chunlong Liu, Boris Leroy, Sergei Petrovskii, Ayah Beidas & Franck Courchamp, 2022).

El MEM recién tratado, a menudo se almacena durante un período prolongado antes de cargarlo con mercancías. Durante este período de almacenamiento, el MEM previamente tratado pueden infestarse o contaminarse con plagas específicas de la madera (posteriores al tratamiento) como bostríquidos y plagas que contaminan superficies o grietas. Esto puede suceder en la planta de fabricación o en el lugar donde el MEM está asociado con los productos básicos a fluir logísticamente en la CGS. Durante el proceso de embalaje, el MEM corre el riesgo de contaminarse con plagas si entra en contacto con otros objetos o con entornos infestados y/o contaminados y, si se almacena en un entorno abierto o por organismos que se refugian en grietas (avispa, caracoles terrestres, termitas, propágulos, otros), aumentando el riesgo de colonización durante su almacenamiento (Quinlan, Megan, Adrian W Leach, Michael Jeger & John Mumford, 2020). De igual forma, el MEM corre el riesgo de contaminarse mientras se prepara para su ingreso en la CGS; puede contener organismos contaminantes antes de que se coloque en una unidad de transporte de carga (contenedor marítimo). El MEM se puede contaminar por el equipo empleado para ayudar la operación logística de embalaje, estibado y/o carga, o por plagas que ya están instaladas previamente en el contenedor marítimo.

Las mercancías contenedorizadas fluyen logísticamente desde el punto de origen hacia el puerto de embarque o puerto de origen, donde se embarcan en buques para transitar aguas internacionales. Dado que, gran parte de los bienes comerciados contenedorizados ingresan a la CGS y se transportan en buques, la mayoría de estos pasarán algún tiempo almacenados en un puerto marítimo antes de su ingreso a la CGS (Nicolas Meurisse, Davide Rassati, Brett P. Hurley, Eckehard G. Bockerhoff & Robert A. Haack, 2019). En un escenario típico, los contenedores se cargan y sellan en la instalación del fabricante o en el almacén del proveedor, para luego ser transportados por ferrocarril, barcaza o camión al puerto marítimo de origen para su almacenamiento en el patio de exportación antes de ser embarcados en un buque que los llevará al puerto de destino.

Tanto el MEM como los contenedores, corren el riesgo de contaminación externa durante su almacenamiento, en los puertos de origen y destino, antes del embalaje, durante las operaciones logísticas de embalaje y cargue, especialmente cuando son almacenados cerca de luces expuestas o en superficies con vegetación. Variedad de insectos se sienten atraídos por las luces, y algunos pueden aterrizar o arrastrarse hacia materiales almacenados cerca de las luces, lo que aumenta la posibilidad de que se transporten individuos o masas de huevos en el embarque a exportar. Las polillas *Lymantria* adultas se sienten atraídas por ciertas longitudes de onda de luz, producidas por las bombillas que se usan comúnmente en algunos puertos del mundo. Estudios sobre la longitud de onda específica que atrae a las polillas *Lymantria*, dieron lugar a una guía internacional sobre la reducción del riesgo de transportar especies de polillas invasoras en contenedores marítimos. Incluso, sin la influencia de la luz, cada vez que una mercancía comercial se encuentra al aire libre o en almacenamiento abierto cerca de una población de organismos potencialmente contaminantes, existe la posibilidad de contaminación por plagas.

El MEM en contenedores marítimos cargados y sellados corre el riesgo de contaminación si los organismos ingresan al contenedor a través de grietas o por los conductos de ventilación. Este riesgo varía según el tiempo que los contenedores estén en el ambiente expuesto, la densidad de población, la etapa de vida del organismo potencialmente contaminante,

y las condiciones ecológicas en las proximidades (pasto/tierra presente en el patio de almacenamiento) y alrededores en general (entorno portuario boscoso). Si el MEM y/o los contenedores marítimos se contaminan antes de zarpar del puerto de origen, puede ocurrir una contaminación cruzada de los MEM y/o los contenedores en camino hacia el destino de la carga. La contaminación del suelo en cualquier material de empaque o contenedor puede albergar esporas, insectos, microorganismos o semillas (Rima D. Lucardi, Emily S. Bellis, Chelsea E. Cunard, Jarron K. Gravesande, Steven C. Hughes, Lauren E. Whitehurst, Samantha J. Worthy, Kevin S. Burgess & Travis D. Marsico, 2020).

Durante un viaje, estos organismos contaminantes pueden madurar o volverse móviles y contaminar las superficies cercanas. Una vez embarcados, en el buque que los lleva a puerto de destino, los contenedores, los MEM y los productos básicos a granel (artículos grandes como vigas de acero o maquinaria pesada, carga sobredimensionada, carga proyecto, etc.) son muy difíciles de inspeccionar fitosanitariamente. Aun así, el proceso de embarque en el buque es una oportunidad para la inspección y mitigación de plagas contaminantes. Sin embargo, después del embarque, no es posible inspeccionar visualmente todas las superficies adyacentes de un solo contenedor de envío en contacto o apilado con un contenedor vecino, o en contacto con la superestructura del buque. Esto significa que menos del 10% de la superficie de todos los contenedores marítimos es visible en un portacontenedores normal, y menos del 5% es visible en un megaportacontenedor «megacarrier». Por tanto, es responsabilidad del embarcador asegurarse de que los contenedores de envío estén limpios, libres de residuos de la carga, materiales nocivos, plantas, productos vegetales y plagas visibles antes de cargarlos en el buque que los lleva a destino.

De hecho, el código CTU (IMO/ILO/UNECE CTU Code) brinda orientación y recomendaciones para el cargador, pero no son obligatorias. En la Región del Pacífico Sur se utiliza el Sistema de Higiene de Contenedores Marítimos mediante el cual los países que realizan envíos a esta región implementan un régimen de limpieza que incluye la limpieza del interior y exterior, y el tratamiento externo con insecticida antes de trasladar los contenedores en el puerto de embarque. Bajo este sistema, el nivel de inspecciones de los contenedores de un destino se ajusta utilizando un enfoque de muestreo basado en el riesgo que tiene en cuenta la frecuencia con la que cumplen con las regulaciones. Por su parte, los puertos de entrada son un punto de control crítico para la inspección y mitigación de organismos no autóctonos. La llegada al puerto de entrada presenta la primera oportunidad para que los organismos no autóctonos escapen y la primera oportunidad nacional para que las Organizaciones Nacionales de Protección Fitosanitaria (ONPF) inspeccionen los envíos. Aquellos insectos que escapan y se establecen con éxito en un área portuaria pueden colonizarla. Adicional a esto, el estado regulatorio de una especie invasora puede cambiar durante el tránsito internacional; por ejemplo, un organismo no reglamentado en un país de origen se convierte en una plaga reglamentada cuando la carga ingresa a las aguas del país receptor o cruza una frontera terrestre internacional.

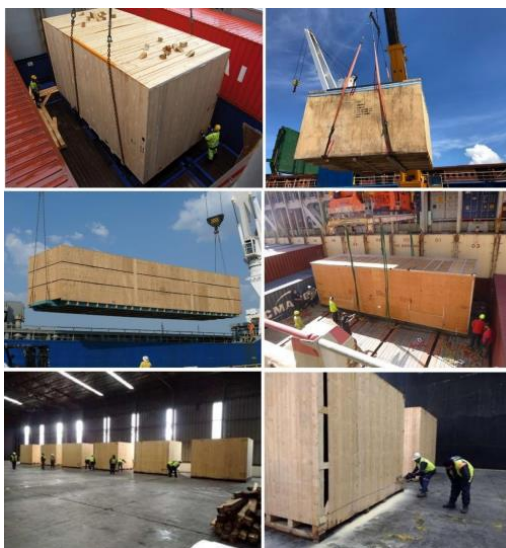
Antes de que se embarquen los contenedores y la carga fraccionada, los buques pueden ser inspeccionados por la ONPF en el país al que arriban. Las tasas de inspección están influenciadas por varios factores (país, puerto de origen, puerto de llegada, época del año, contenedor o granel, tipo de producto). Los buques que contienen carga fraccionada u otra carga «“roro”» comúnmente trincada-asegurada con estiba serán sujetos a mayores inspecciones en los puertos de entrada, ya que este tipo de carga tiene altas tasas de incumplimiento asociadas con el material de estiba (NIMF 15). Las piezas más grandes de carga de proyecto (Figura 2) requieren vigas de madera más grandes, especialmente en la parte inferior de las cajas, y ahí es donde se detecta la mayor población de insectos. Esto, debido a que, en vigas de 20 a 25 centímetros de ancho, el tratamiento NIMF 15 parece ser menos efectivo. En Canadá (Canadian Food Inspection Agency, 2021) y EE. UU., estas inspecciones generalmente se realizan antes de que el buque atraque en el muelle, mientras que en México los funcionarios no pueden abordar los buques antes del atraque; la inspección de la carga y del modo de transporte se completa en el patio del puerto. Por tanto, la descarga de contenedores marítimos, carga rodada y mercancías a granel en el puerto de destino representa una oportunidad significativa para que las especies invasoras escapen.

Si los contenedores o bienes infestados o contaminados se encuentran afuera del puerto de destino, los organismos contaminantes pueden escapar al medio ambiente local; este escape puede ser provocado por cualquier número de factores abióticos o bióticos (interrupción del movimiento, finalización del período de latencia, un cambio en la luz o temperatura), mientras que los organismos sésiles o estadios (masas de huevos, pupas) o suelo que contiene organismos pueden ser desalojados por el movimiento de los contenedores y de las mercancías dentro del puerto y/o la exposición directa al viento o la lluvia. Los pequeños organismos asociados con el MEM dentro de un contenedor pueden escapar de contenedores sellados a través de respiraderos, grietas o a través de los marcos de las puertas; en más de 30 ocasiones se han detectado taxones de propágulos (individuos o partes de organismos biológicos que pueden dar lugar a otro individuo) en las rejillas de entrada (polizón) del aire en contenedores refrigerados (Rima D. Lucardi et al, 2020). que llegan a los puertos marítimos de los EE. UU., desde puertos en la costa del Pacífico de América del Sur.

Un número muy bajo de MEM se inspecciona en todos los puertos de entrada del mundo, la tasa de inspección varía ampliamente según el país de destino, el puerto de entrada, el país de origen y el producto. Las inspecciones a menudo se centran en envíos aéreos de origen o productos básicos de mayor riesgo. Se estima que la tasa de inspección anual en los EE. UU. (Eyre, D., Macarthur, R., Haack, R. A., Lu, Y., & Krehan, H., 2018). Es aproximadamente el 3 % de todos los MEM. USDA-APHIS estima que el muestreo basado en el riesgo actual produce una detección promedio anual de 300 escarabajos barrenadores (perforadores de madera) y descortezadores que se encuentran en el MEM que fluye en la CGS. Los contenedores marítimos y/o el MEM que no cumplen (de alto riesgo fitosanitario) después de la descarga inicial no pueden salir de las áreas portuarias controladas en los EE. UU. o Canadá (Zhao J, Hu K, Chen K & Shi J., 2021).

En los EE. UU., (S. Alanya-Rosenbaum, R.D. Bergman & B. Gething, 2021) la Oficina de Aduanas y Protección Fronteriza de los EE. UU., los contenedores o el MEM que no cumplan con los requisitos fitosanitarios serán resellados y/o reexportados, destruidos o tratados en el sitio a expensas del transportista. Si se determina que el MEM asociado con la mercancía fraccionada, no cumple con los requisitos fitosanitarios, todo el envío (estiba que no cumple y su producto asociado) será rechazado y sujeto a reexportación, lo que puede incluir la reembarque. En Canadá, la ONPF ordena que los MEM que no cumplan con los requisitos sean retirados del país y se tratarán como material de alto riesgo fitosanitario. El MEM que no cumple con las normas que mantienen la seguridad fitosanitaria en México no podrá salir del puerto mexicano y están sujetos al protocolo de cuarentena (fumigación) antes de su destrucción.

Figura 2. Material de Estiba de Madera (MEM) empleado en la Cadena Global de Suministro (CGS), no permanece asociado con la mercancía.



Nota: recopilación del autor; <https://www.sag.gob.cl/>; Google ©SMTM®

Por su parte, el MEM empleado en la división de carga en los buques graneleros (tableros para trimado de la carga; Figura 3) y en la fijación, sujeción y apuntalamiento de la mercancía contenedorizada (Figura 4). Al desestibarse la carga en puerto de destino, la madera de estiba se separa de la carga proyecta y en muchas ocasiones se abandona en puerto de destino considerándosele desecho internacional (Fei, S., Morin, R. S., Oswalt, C. M., & Liebhold, A. M., 2019). Este tipo de MEM representa un riesgo fitosanitario significativo al albergar plagas que infestan y contaminan si no se trata, o se trata de forma inadecuada, o si se manipula de una manera que permita la contaminación posterior a su tratamiento.

Figura 3. *Material de Estiba de Madera (MEM) empleado en la división de cargas (trimado) en las bodegas de los buques mercantes.*



Nota: Tomado de OPP GRANELES S.A

Figura 4. Material de Estiba de Madera (MEM) empleado en la manipulación, fijación, sujeción y trincaje de cargas contenedorizadas.



Nota: Tomado de Google ©SMTM®

Como el MEM a menudo tiene poca o ninguna información de cadena de custodia asociada, es más difícil determinar quién es responsable de la disposición del MEM que no cumple con los requisitos fitosanitarios del país de origen. Por tanto, el MEM que no cumpla con los requisitos puede destruirse en el sitio, volver a cargarse en el buque y reexportarse. En los EE. UU., y probablemente en otros países, el depósito ilegal del MEM usado y sin tratar es un problema cada vez más grave (Robert A. Haack; Jesse A. Hardin; Barney P. Caton & Toby R. Petrice, 2022). En 2016, los EE. UU. revisó su reglamentación con el objeto de permitir la destrucción rápida (incineración) del MEM depositado ilegalmente en sus puertos de entrada. Desde 2008, todo el MEM transportado por buque que llega a Canadá, ha sido tratado como no conforme y se han tomado medidas para tratarlo como tal, independientemente de la presencia de un sello NIMF 15. (Zahid, M. I., Grgurinovic, C. A., & Walsh, D. J. 2008). Canadá puede exigir que un buque directamente contaminado con masas de huevos abandone el puerto para limpiarlo en aguas internacionales, redirigido a otro destino para descontaminación y sujeto a sanciones. En efecto, se le puede negar la entrada hasta por 2 años durante el período de riesgo para Canadá. En los puertos marítimos mexicanos de entrada más importantes del país, el MEM que se descarga se fumiga antes de su destrucción. Sin embargo, el MEM puede permanecer durante períodos considerables de tiempo en espacios abiertos de almacenamiento, lo que aumenta el riesgo de que los organismos logren una etapa de vida móvil y escapen.

En lo que respecta al contenedor marítimo y al MEM, una vez que salen de un puerto de destino, puede ser transportados por una amplia cadena de modos de transporte (marítimo-carretero-ferroviario- aéreo-fluvial/lacustre) a cualquier lugar del país receptor. Durante este tiempo hay oportunidades para que las plagas asociadas se dispersen en el entorno local (Alexander Eslava S., 2023a; Alexander Eslava S., 2023b). De igual forma, contenedores cargados y MEM a menudo se almacenan por períodos variables (días, meses; el riesgo aumenta en la medida de tiempo que se pasa en un solo lugar) en terminales ferroviarios, centros de distribución, puertos secos, plataformas logísticas, otros).

En los centros de distribución, algunos contenedores marítimos se abren, se descargan y los productos pueden desembalsarse (separarse del MEM original), algunos otros permanecerán embalados con su MEM original hasta que son trasladados al destino (minorista). El MEM almacenado cerca de luces brillantes tiene un riesgo elevado de contaminación por plagas atraídas por la luz. Por tanto, este punto de la CSG presenta alto riesgo para que las especies invasoras (plagas) abandonen el MEM y se dispersen en el área local (Sreedevi, K., Sree Chandana, P., Correya, J.C., Shashank, P.R., Singh, S., Veenakumari, K., 2022).

Es probable que, los pallets de madera, cajas, cajones, bobinas y otros tipos de MEM, tengan diferentes tasas de ingreso a los mercados de reutilización en los países de destino. Uno de los tipos de MEM más reutilizados son los pallets de madera. La vida útil típica de un pallet incluye múltiples períodos de uso de 2 a 10 años y está influenciada por factores como su construcción, mercancías que ha estibado y número de veces se ha manipulado durante un viaje. Los pallets y otros MEM pueden remanufacturarse o repararse reemplazando los componentes dañados. En los EE. UU., los pallets reciclados y remanufacturados representan el 42 % del parque de pallets. Para mantener el cumplimiento de la NIMF 15, las tarimas que han sido reparadas o remanufacturadas deben cumplir con las pautas especificadas sobre marcas y retratamiento de la IPPC (IPPC Secretariat, 2023), en su nueva versión: «*Guide to Regulation of Wood Packaging Material Under Standing the Phytosanitary Requirements for the Movement of Wood Packaging Material in International Trade*»

Los principales insectos perforadores de corteza y madera (xilófagos) de preocupación cuarentenaria incluyen insectos en el escarabajo (Coleoptera) familias Buprestidae, Cerambycidae, Curculionidae (incluyendo Platypodinae y Scolytinae); la familia de las avispas Siricidae (Hymenoptera) y las familias de polillas (Lepidoptera) Cossidae y Sesiidae, escarabajos de la madera (Bostrichidae, incluida Lyctinae), moscas barrenadoras de la madera (Diptera), termitas (Isoptera), así como hongos y nematodos que pudren la madera, incluidos depredadores y parasitoides (Bradshaw CJ, Leroy B, Bellard C, Roiz D, Albert C, Fournier A, Barbet-Massin M, Salles JM, Simard F. & Courchamp F., 2016).

De hecho, investigaciones recientes indican que varios países mantienen bases de datos de especies invasoras que son interceptadas en sus puertos de entrada (puertos marítimos, aeropuertos y cruces fronterizos internacionales), y por lo general, los inspectores se enfocan en productos o vías de alto riesgo, en lugar de realizar encuestas aleatorias; los registros de interceptación generalmente se incluyen en la base de datos de un país solo cuando se encuentran plagas.

Así, insectos xilófagos conocidos como barrenadores o perforadores de madera son dispersados por los movimientos internacionales de cargas contenedorizadas en el MEM. Sabido es que escarabajos asiáticos de cuernos largos *Anoplophora glabripennis* y *A. chinensis* son plagas forestales importantes en Asia, y fueron introducidos como polizón en contenedores marítimos en América del Norte y Europa, atacando una amplia gama de especies de árboles de hoja ancha; en 3 años provocaron la tala de 50 millones de álamos (Diagne C, Leroy B, Vaissière A-C, Gozlan RE, Roiz D, Jarić I, Salles J-M, Bradshaw CJA & Courchamp F., 2021).

De igual manera, informes recientes indican que la interceptación de plagas cuarentenarias en el MEM en puertos chinos de entrada aumentó de 68 a 163 entre 2003 y 2016, y el número de países desde los que se interceptaron plagas aumentó de 26 a 107: Corea (12,98 % de todos los registros), EE. UU., 12,92 %, Alemania, 11,84 %, Taiwán, 10,64 % y Japón 6,64 %. Las intercepciones de insectos más frecuentes fueron de Alemania, Taiwán y los EE. UU (Burgos-Rodríguez, J. & Burgiel, S.W., 2020), y las intercepciones de nematodos más frecuentes fueron de Corea, los EE. UU y Alemania. Sin embargo, durante el periodo 2003 a 2020, en los puertos marítimos de entrada de los EE. UU., se detectaron barrenadores de la madera en 88000 contenedores marítimos en cargas unitarizadas en pallets. Los barrenadores más comunes detectados fueron los de la madera, interceptados con mayor frecuencia en las importaciones de China, Italia y Turquía, por lo general se asociaron con las importaciones de tejas, losas de piedra, metal y maquinaria. Por el contrario, los escolytines fueron los barrenadores más comúnmente interceptados en productos de Costa Rica y México y se asociaron principalmente con importaciones de productos perecederos. Por tanto, los barrenadores ocasionalmente se les asocia con el pallet de madera que fluye logísticamente en la CGS (Shiner, Z., Horvath, L., Araman, P., & Gething, B., 2021).

PALLET DE MADERA

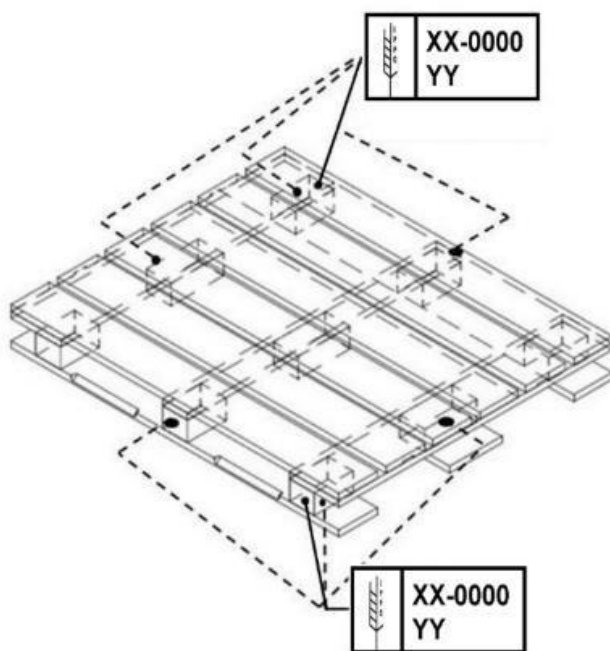
En lo que respecta al pallet de madera (Figura 5), introducido en la década de 1930 por parte del ejército de los EE. UU., al observar su potencial para reducir los tiempos de manejo y transferencia de carga (cargue/descargue), se considera la interfaz principal de una unidad de carga y la primera línea de defensa para proteger los productos (absorción de tensiones mecánicas/dinámicas, protección de la entrega y facilidad de manipulación por parte del equipo de manipulación) antes de llegar al destino designado. Es elemento clave de la CGS y es uno de los artículos de transporte retornables más utilizados, ya que transportan alrededor del 80% de todo el comercio global, con el inconveniente que tienen impactos ambientales y económicos significativos durante su ciclo de vida completo. A diferencia de otros MEM, el pallet de madera está diseñado específicamente para ser reparado repetidamente y reinyectado para su uso en la CGS. En lo que respecta a la industria, está totalmente fragmentada, lo que hace que la cantidad de partes interesadas «stakeholders» puedan involucrar varios niveles y múltiples partes interconectadas.

Dos configuraciones generales posibles existen en la industria: sistema de circuito abierto y sistema de circuito cerrado. En el sistema de circuito abierto, los pallets se consideran activos desechables y se desechan después del uso final. En el sistema de circuito cerrado se recuperan los pallets usados para su reparación, si es posible, y/o utilizarse en un nuevo ciclo de transporte. Cuando el pallet está demasiado dañado para recuperarlo, se envía a vertedero para su eliminación, o a plantas de reciclaje, según el sistema de gestión de residuos.

Estudios recientes han demostrado que, el pallet de madera presenta un alto riesgo de introducción y propagación de plagas cuarentenarias (Emily A. Stevenson, Peter Robertson, Emily Hickinbotham, Louise Mair, Nigel J. Willby, Aileen Mill, Olaf Booy, Kirsty Witts & Zarah Pattison, 2023; Muthukrishnan, R., Sundararaj, R., 2022; Deepa S. Pureswaran, Nicolas Meurisse, Davide Rassati,

Andrew M. Liebhold, Massimo Faccoli, 2022; Kočí, V., 2019); muy a menudo se reutiliza, repara o remanufactura, desconociéndose el verdadero origen de cualquiera de sus piezas de madera, proceso muy difícil de verificar, por lo que su estado fitosanitario no puede determinarse fácilmente. En consecuencia, el proceso normal para analizar el riesgo de plagas para determinar si requiere de medidas necesarias, con frecuencia no es posible para el caso del pallet de madera. De hecho, tanto los pallets de plástico como los pallets de madera procesada, tienen propiedades estructurales y perfiles de reutilización diferentes a los de los pallets de madera (Deviatkin I, Khan M, Ernst E & Horttanainen M., 2019). Los pallets de plástico requieren mayores costos de energía para su fabricación y transporte que la madera y, requieren sistemas de redistribución dentro de la CGS, lo que introduce diferentes costos logísticos y de energía.

Figura 5. Ubicación Marca de Certificación NIMF 15 en el pallet de madera utilizado en la Cadena Global de Suministro.

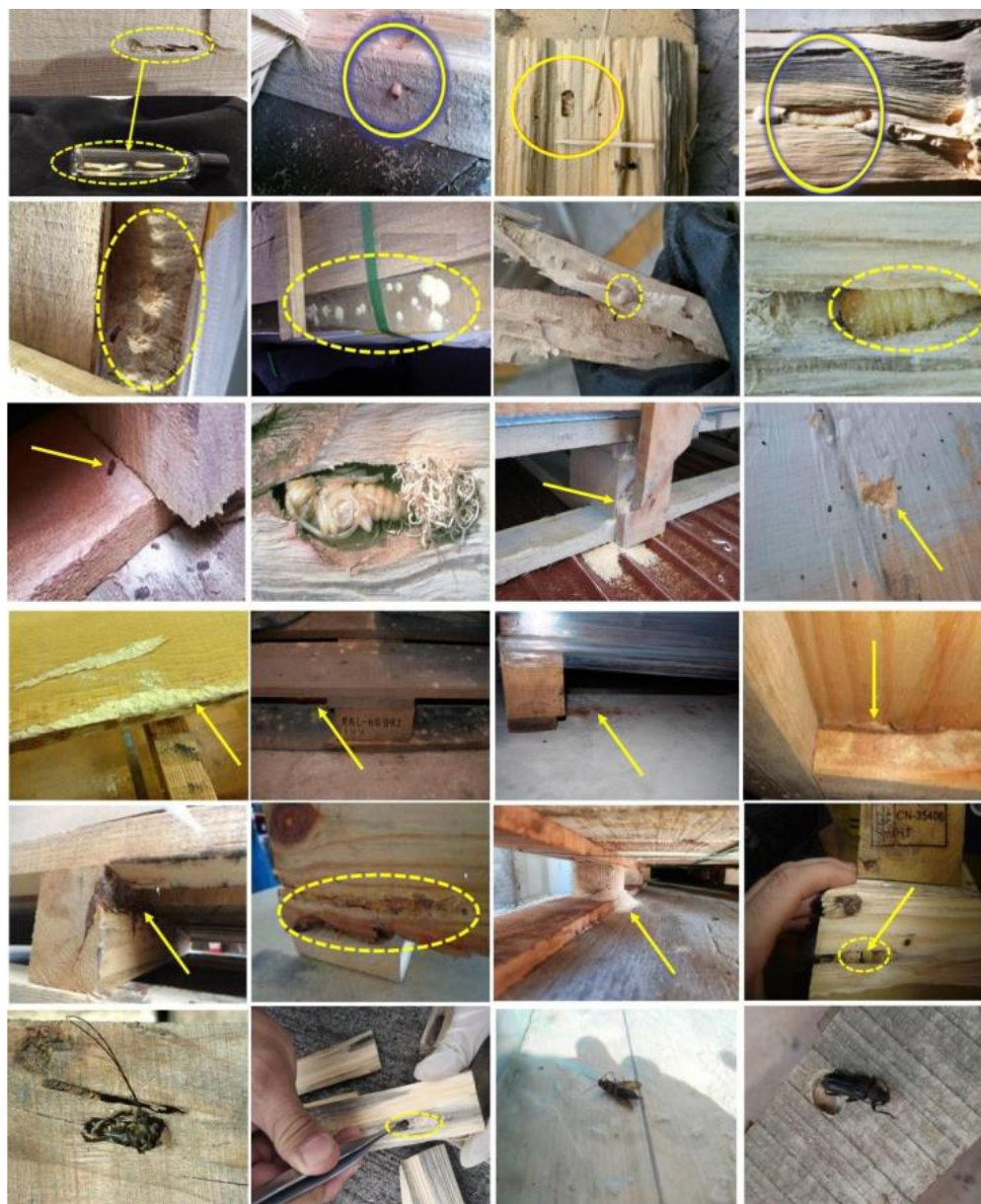


Así, el MEM, y en especial el pallet de madera, que fluye logísticamente en la CGS, procede de árboles vivos o muertos que pueden estar infestados de plagas de plantas (invadidos por organismos patógenos); con frecuencia puede no haber tenido suficiente tratamiento para eliminar o matar las plagas y, por tanto, sigue siendo una vía activa para la introducción y propagación de especies invasoras (Figura 6).

En general, la propagación descontrolada de especies invasoras en la CGS causa miles de millones de dólares de daños a árboles ornamentales, bosques e industrias madereras; de hecho, las especies invasoras llegan en productos no biológicos. Las baldosas de cerámica y mármol de Italia son una fuente importante de hallazgos de caracoles terrestres en los puertos de entrada a los EE. UU (Iline, I.I., M.A. Novoselov, N.K. Richards, and C.B. Phillips, 2023); el latón de la India a menudo contiene el escarabajo Khapra que infesta granos de cereales y oleaginosas; embalaje de objetos de arte de alta calidad con destino a varios museos de Alemania y Austria en el período 2003-2015 (Stephan Biebl & Pascal Querner, 2020). Entre 2001 y 2015, se detectaron 19 brotes del escarabajo asiático de cuernos largos, *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) (Coleoptera: Cerambycidae), en la Unión Europea y otros cuatro brotes en Suiza. Muchos de estos brotes estaban relacionados con el MEM y en especial con los pallets de madera asociados con las importaciones de productos de piedra de China

(pizarra, mármol, granito, adoquines, ladrillos, piedra tallada o de construcción trabajada). El impacto económico de las introducciones de especies invasoras en las CGS es difícil de estimar. Un informe del Congreso de los EE. UU. estimó que la introducción de 79 especies exóticas le había costado a los EE. UU. 97 mil millones de dólares durante el periodo 1906-1991.

Figura 6. Evidencia de especies invasoras en pallets de madera empleados en la Cadena Global de Suministro



Nota: Tomado de USDA- U.S. Customs and Border Protection; Google ©SMTM®

Recientemente, se ha estimado que las pérdidas económicas en los EE. UU., son cercanas a los 120 mil millones de dólares al año (K.K. Weththasinghe, A. Akash, T. Harding, M. Subhani & M. Wijayasundara. (2022). El impacto ecológico y económico global de las especies invasoras en la salud de las plantas es asombroso. Estimaciones actuales y conservadoras sugieren que las plagas de las plantas (incluidos los patógenos, invertebrados y malas hierbas) destruyen o afectan anualmente entre el 31 y el 42 % de todos los cultivos de producción de todo el mundo (Rieks D. van Klinken, Lloyd Kingham, Matthew P. Hill & Kerry Collins, 2023). Además de su potencial de devastación ecológica, las especies invasoras en el MEM pueden ser comercialmente desastrosas para todos los integrantes de la CGS.

COMENTARIOS

En lo que respecta al MEM y al pallet de madera, el Servicio de Inspección de Sanidad Animal y Vegetal (APHIS) del Departamento de Agricultura de EE. UU. (USDA), mantiene dos bases de datos principales para registros de intercepciones de plagas en productos importados en puertos de EE. UU.: AQIM (Agriculture Quarantine Inspection Monitoring) y PestID (Pest Interception Database). AQIM es un programa de inspección con base estadística que permite el muestreo aleatorio de productos importados y fue diseñado para monitorear la tasa de aproximación de los riesgos agrícolas en diferentes rutas, el cual consiste en un muestreo aleatorio diario o semanal de carga internacional, correo, vehículos, contenedores marítimos y equipaje de pasajeros que transitan puertos estadounidenses. La selección de la muestra ocurre al azar entre los productos que se sabe que tienen MEM y pallets de madera asociados.

Para tal, se utiliza un plan de muestreo estratificado estadísticamente sólido, cuyos datos de infestación de WPM y pallets de madera asociados, se registran en función del número de envíos. Por cada interceptación de plagas en AQIM, se registra información sobre todas las plagas encontradas al nivel taxonómico más bajo posible (familia, género o especie), así como el tipo de carga inspeccionada, el tipo de WPM presente, el cumplimiento con el marcado NIMF15 y la presencia o ausencia de corteza en el WPM y/o en el pallet de madera asociado. Para el MEM, todas las plagas de plantas encontradas se registran en AQIM, incluidos los insectos que infestan la corteza y la madera, así como aquellos que sin darse cuenta contaminaron o “hicieron autostop” con el envío “polizón”. Cuando no se encuentran plagas (registros negativos), también se registran por envío en AQIM, lo que permite el cálculo de las tasas de infestación (a diferencia de otros datos de interceptación donde las inspecciones negativas normalmente no están documentadas).

En lo que respecta al sistema «pooling» de pallets, es una industria fragmentada, lo que hace que la cantidad de partes interesadas involucradas sea generalmente alta: varios niveles y múltiples partes interesadas interconectadas. Los Proveedores de Servicios de Pooling de Pallets (PSPP) son los encargados de distribuir, recoger y reparar los pallets para minimizar los residuos industriales de las operaciones logísticas; administran sus propios pallets en un flujo lineal, desde la fumigación y el tratamiento térmico, el abastecimiento, el inventario y su uso en varios escenarios hasta la eliminación de los pallets dañados en la CGS. De hecho, los eslabones de la CGS están obligados a gestionar los pallets, asegurar su calidad para las operaciones logísticas y mantener un stock suficiente para las operaciones diarias debido a la fluctuación en la demanda de estos.

Dado que la calidad de los pallets en el flujo logístico varía, algunas organizaciones pueden sólo aceptar envíos estibados en pallets, en términos de tipo de material y calidad, debido a las limitaciones operativas, la prevención de la infestación de insectos y la protección de la carga. El intercambio de pallets entre las partes de la CGS se realiza en dos modos, a saber: (I) desechable de un solo uso, el cual representa aquellos pallets comprados por proveedores u obtenidos de otras empresas que son prescindibles y probablemente se desecharán después de los envíos, en las que se utilizan tipos de pallets de bajo costo, como madera blanca, para dar como resultado un bajo precio de compra; (II) modo de compra y venta, el cual se refiere a pallets que se venden continuamente a la siguiente parte de la CS a lo largo de toda la CGS, hasta que los pallets se dañan o son sobrantes. Estos pallets son recomprados por los proveedores para reacondicionarlos, revenderlos y desecharlos. En comparación con el modo de un solo uso o desechable, el modo de compra y venta es relativamente poco y casi nada sostenible, y poco y casi nada respetuoso con el medio ambiente.

Así, aunque el sistema «pooling» de pallets se considera una estrategia prometedora en la CGS, la identificación, verificación y autenticación efectivas de los pallets aún están por explorarse, por lo que la confiabilidad de los usuarios finales en «pooling» es cuestionable. Debido a la falta de un protocolo de autenticación seguro para gestionar los «pallets pools», es difícil establecer la confianza entre los usuarios finales y el sistema de «pooling»: tránsito de pallets fraudulentos a lo largo de toda la CGS; violación de las regulaciones aduaneras para el control de plagas, en el que se requiere que los pallets sean totalmente tratados térmicamente o fumigados (violación total de lo requerido por la IPPC Secretariat, 2023: «*Guide to Regulation Of Wood Packaging Material Under Standing the Phytosanitary Requirements for the Movement of Wood Packaging Material in International Trade*»).

En consecuencia, se insta a las empresas de «pooling» de pallets a implementar, con el apoyo de las tecnologías disruptivas de Internet de las Cosas (IoT) y Blockchain, un sistema seguro de autenticación de pallets, con el objeto de crear un ecosistema de usuario final confiable, ya que desde la perspectiva de los usuarios finales se debe garantizar la autenticidad de los pallets a través del proceso de identificación y verificación entre usuarios finales. En este sentido, Blockchain permite mantener un alto grado de seguridad y privacidad del PSPP, al autenticar los pallets ofrecidos y en tránsito en la CGS.

La estructura de datos de Blockchain facilita el seguimiento, trazabilidad y verificación del cumplimiento estricto de las regulaciones aduaneras, como los tratamientos para el control de plagas en los pallets de madera que fluyen en la CGS. La integración de Blockchain, IoT y CN, es la forma más competente de construir un sistema efectivo de autenticación de datos de los pallets de madera Certificados NIMF 15 que deberán fluir libremente en la CGS.

Este enfoque híbrido interconecta dispositivos IoT (al pallet de madera; autenticación, verificación bidireccional y de extremo a extremo en la gestión de la agrupación de paletas), Blockchain (seguimiento, trazabilidad, autenticación de datos en tiempo real) y Computación en la Nube (sincronización con los nodos y clientes en la red «peertopeer»), e interactúa en la CGS en tiempo real. De hecho, para gestionar de forma eficaz un pallet de madera certificado NIMF 15 entre los PSPP y los usuarios finales, la plataforma (IoT-B-CN) de servicios de agrupación de pallets desempeña un papel importante en el abastecimiento de estos, el tratamiento ((térmico convencional (HT); térmico dieléctrico (DH); fumigación con bromuro de metilo (MB); fumigación con fluoruro de sulfurilo (SF))), el cumplimiento de la certificación NIMF 15, la gestión de inventario y la reparación y el mantenimiento. Además, los PSPP también son responsables de asignar y recoger los pallets para los usuarios finales. La transferencia de pallets y el cumplimiento de la Norma NIMF 15 se consolidará en

la plataforma (IoT-B-CN), donde, en tiempo real, se puede verificar, monitorear y trazar el movimiento de los pallets de madera y especies invasoras que fluyen en la CGS.

CONCLUSIÓN

Se espera que las tasas de detección de especies invasoras que fluyen en la CGS, en el MEM y en los pallets de madera asociados a las mercancías, aumenten de manera constante con la estricta implementación de la NIMF 15. Para tal, se requiere, entre otras:

- Cumplimiento voluntario por parte de los proveedores autorizados por las Organizaciones Nacionales de Protección Fitosanitaria (ONPF). Esto, debido a factores como equipos bien calibrados y personal calificado (aplicar el tratamiento térmico o dosis de fumigante adecuados a todos los MEM y pallets de madera durante un ciclo de tratamiento).
- Control, por parte de las ONPF, al fraude a proveedores de tratamiento del MEM y pallets de madera no autorizados; la Marca se aplica al MEM sin tratamiento alguno (térmico convencional (HT); térmico dieléctrico (DH); fumigación con bromuro de metilo (MB); fumigación con fluoruro de sulfurilo (SF)) o de manera inadecuada). Si los tratamientos no son 100 % efectivos, es probable que las especies invasoras vivas se encuentren con mayor frecuencia en el MEM y en los pallets de madera durante los períodos de brote en cualquier

- Verificación de la validez de la Marca de Certificación NIMF 15 y/o la integridad del tratamiento a través de un acuerdo de cumplimiento entre los proveedores de tratamiento del MEM y pallets de madera y la ONPF del país de origen.
- Adecuada gestión de datos por parte de la ONPF (registro de detecciones de plagas por consignación).
- Implementar tecnologías disruptivas de la Industria 4.0 (Blockchain, Internet de las Cosas (IoT), Computación en la Nube (CN), Drones, dispositivos asistidos por Inteligencia Artificial) que puedan probar, verificar y certificar de forma independiente el cumplimiento del tratamiento de la NIMF 15 en cada MEM y pallet de madera asociado a las mercancías que fluyen en la CGS.
- Implementar, por parte de las ONPF, un método y una prueba de control para evaluar el cumplimiento de la Norma Internacional NIMF 15, ya que actualmente no se conocen indicadores químicos o físicos que puedan usarse para verificar que se realizó el tratamiento (térmico convencional (HT); térmico dieléctrico (DH); fumigación con bromuro de metilo (MB); fumigación con fluoruro de sulfurilo (SF)).
- Implementar la tecnología disruptiva Blockchain como apoyo a la cadena de custodia (registro de número de unidades infestadas dentro de los envíos, presencia de corteza, piezas residuales más grandes que los límites de tolerancia actuales, tipo de tratamiento especificado, origen y destino de los envíos, entre otros) del MEM y del pallet de madera que fluye en la CGS.

Reducir el riesgo de que las especies invasoras fluyan en la CGS, así como los impactos negativos resultantes en los países importadores, requerirá de un cumplimiento casi universal. Puede ser difícil de lograr sin incentivos muy fuertes o sin una supervisión intensiva y sanciones significativas para los exportadores que no cumplan. Una mejor educación y una mayor divulgación de la NIMF 15 por parte de las Organizaciones Nacionales de Protección Fitosanitaria, junto con una mayor cooperación e intercambio de información entre los países importadores y exportadores, podría generar una retroalimentación global que facilite que, una proporción muy alta del MEM y pallets de madera asociados a las mercancías, cumpla con las normas establecidas en favor del estatus sanitario de cada país importador.

DECLARACIÓN SOBRE CONFLICTO DE INTERÉS

El autor del presente documento manifiesta ser independiente con respecto a instituciones financiadoras y de apoyo, y que durante la redacción del manuscrito no ha recibido ningún tipo de financiamiento y no ha incidido intereses o valores distintos a los que usualmente tiene la investigación.

REFERENCIAS

- Alexander Eslava Sarmiento. (2023a). Contaminación Fitosanitaria en Contenedores Marítimos. LOGINN Investigación Científica y Tecnológica, ISSN Web 2590-7441, Enero-Junio, 7(1). <https://revistas.sena.edu.co/index.php/LOG/article/view/5760/5761>
- Alexander Eslava Sarmiento. (2023b). Contenedores Marítimos Contaminados Fitosanitariamente. Revista Granos & Postcosecha Latinoamericana. Argentina. Año 27, N°152, Mayo-Junio; Año, 27, Edición 153: 24-32 <https://www.yumpu.com/es/document/read/68165659/granos-153-online>
- Allen, E., Noseworthy, M., & Ormsby, M. (2017). Phytosanitary measures to reduce the movement of forest pests with the international trade of wood products. Biological Invasions, 19(11), 3365–3376. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1515-0>

- Anna J. Turbelin, Christophe Diagne, Emma J. Hudgins, Desika Moodley, Melina Kourantidou, Ana Novoa, Philip J. Haubrock, Camille Bernery, Rodolphe E. Gozlan, Robert A. Francis & Franck Courchamp. (2022). Introduction Pathways of Economically Costly Invasive Alien Species. *Biol Invasions* 24, 2061–2079 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10530-022-02796-5>
- Bradshaw CJ, Leroy B, Bellard C, Roiz D, Albert C, Fournier A, Barbet-Massin M, Salles JM, Simard F. & Courchamp F. (2016). Massive Yet Grossly Underestimated Global Costs of Invasive Insects. *Nat Commun* 7:12986. <https://doi.org/10.1038/ncomms12986>
- Burgos-Rodríguez, J. & Burgiel, S.W. (2020). Federal Legal Authorities for The Early Detection of And Rapid Response to Invasive Species. *Biol Invasions* 22, 129–146. <https://doi.org/10.1007/s10530-019-02148-w>
- Canadian Food Inspection Agency. (2021). D-03-08: Phytosanitary Requirements To Prevent The Introduction Into And Spread Within Canada of The Emerald Ash Borer, *Agilus planipennis* (Fairmaire) [https://inspection.canada.ca/plant-health/invasivespecies/directives/forestproducts/d-03-08/eng/1323821135 864/1323821347324](https://inspection.canada.ca/plant-health/invasivespecies/directives/forestproducts/d-03-08/eng/1323821135%20864/1323821347324)
- Charles Yoe, Robert Griffin, Stephanie Bloem. (2020). Handbook of Phytosanitary Risk Management: Theory and Practice. Wallingford: CABI. <https://doi.org/10.1079/9781780648798.0000>
- Chelcy Ford Miniati, Jennifer M. Fraterrigo, Steven T. Brantley, Mac A. Callahan Jr, Susan Cordell, Jeffrey S. Dukes, Christian P. Giardina, Shibu Jose & Gary Lovett. (2021). Impacts of Invasive Species on Forest and Grassland Ecosystem Processes in the United States. In: Poland, T.M., Patel-Weyand, T., Finch, D.M., Miniati, C.F., Hayes, D.C., Lopez, V.M. (eds) *Invasive Species in Forests and Rangelands of the United States*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45367-1_3
- Clements, D.R., Upadhyaya, M.K., Joshi, S., Shrestha, A. (2022). Global Plant Invasions on the Rise. In: Clements, D.R., Upadhyaya, M.K., Joshi, S., Shrestha, A. (eds) *Global Plant Invasions*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89684-3_1
- Cuthbert, R. N., Diagne, C., Haubrock, P. J., Turbelin, A. J., & Courchamp, F. (2021). Are the “100 of The World’s Worst” Invasive Species Also the Costliest? *Biological Invasions*, 24(7), 1895–1904. <https://doi.org/10.1007/s10530-021-02568-7>
- Danish A. Ahmed, Emma J. Hudgins, Ross N. Cuthbert, Melina Kourantidou, Christophe Diagne, Phillip J. Haubrock, Brian Leung, Chunlong Liu, Boris Leroy, Sergei Petrovskii, Ayah Beidas & Franck Courchamp. (2022). Managing biological invasions: the cost of inaction. *Biol Invasions* 24, 1927–1946. <https://doi.org/10.1007/s10530-022-02755-0>
- Deborah M. Finch, Jack L. Butler, Justin B. Runyon, Christopher J. Fettig, Francis F. Kilkenny, Shibu Jose, Susan J. Frankel, Samuel A. Cushman, Richard C. Cobb, Jeffrey S. Dukes, Jeffrey A. Hicke & Sybill K. Amelon. (2021). Effects of Climate Change on Invasive Species. In: Poland, T.M., Patel-Weyand, T., Finch, D.M., Miniati, C.F., Hayes, D.C., Lopez, V.M. (eds) *Invasive Species in Forests and Rangelands of the United States*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45367-1_4

- Diagne C, Leroy B, Vaissière A-C, Gozlan RE, Roiz D, Jarić I, Salles J-M, Bradshaw CJA & Courchamp F. (2021). High and Rising Economic Costs of Biological Invasions Worldwide. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03405-6>
- Emily A. Stevenson, Peter Robertson, Emily Hickinbotham, Louise Mair, Nigel J. Willby, Aileen Mill, Olaf Booy, Kirsty Witts & Zarah Pattison. (2023). Synthesising 35 Years of Invasive Non-Native Species Research. *Biol Invasions* <https://doi.org/10.1007/s10530-023-03067-7>
- Epanchin-Niell, R., McAusland, C., Liebhold, A., Mwebaze, P., & Springborn, M. R. (2021). Biological Invasions and International Trade: Managing a Moving Target. *Review of Environmental Economics and Policy*, 15(1), 180–190. <https://doi.org/10.1086/713025>
- Eyre, D., Macarthur, R., Haack, R. A., Lu, Y., & Krehan, H. (2018). Variation in Inspection Efficacy by Member States of Wood Packaging Material Entering the European Union. *Journal of Economic Entomology*, 111(2), 707–715. <https://doi.org/10.1093/jee/tox357>
- Fei, S., Morin, R. S., Oswalt, C. M., & Liebhold, A. M. (2019). Biomass Losses Resulting from Insect and Disease Invasions in US Forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201820601. <https://doi.org/10.1073/pnas.1820601116>
- Iline, I.I., M.A. Novoselov, N.K. Richards, and C.B. Phillips. (2023). Towards a Test to Verify That Wood Has Been Heattreated to the ISPM15 Standard. *New Zealand Plant Protection* 67: 86–95. Accessed July 17. <https://journal.nzpps.org/index.php/nzpp/article/view/5756>
- IPPC Secretariat. (2022). Final Report of the Sea Containers Task Force. Rome, FAO on behalf of the International Plant Protection Convention. Pp. 52, ISBN: 978-92-5-136063-7, <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb9533en>
- IPPC Secretariat. (2023). Guide to Regulation Of Wood Packaging Material Under Standing the Phytosanitary Requirements for the Movement of Wood Packaging Material in International Trade. Rome, FAO on behalf of the Secretariat of the International Plant Protection Convention. <https://doi.org/10.4060/cc5059en>
- Jaksic, F.M. & Castro, S.A. (2021). Biological Invasions in the Anthropocene. In: *Biological Invasions in the South American Anthropocene*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56379-0_2
- K.K. Weththasinghe, A. Akash, T. Harding, M. Subhani & M. Wijayasundara. (2022). Carbon Footprint of Wood and Plastic as Packaging Materials an Australian Case of Pallets. *Journal of Cleaner Production*, Volume 363, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132446>
- Kočí, V. (2019). Comparisons of Environmental Impacts Between Wood and Plastic Transport Pallets. *Science of The Total Environment*, 686, 514–528. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.472>
- Fourry Handoko, Catrien Paula, Sutanto Hidayat, Endah Kusuma Rastini, Maranatha Wijayaningtyas & Prima Vitasari. (2021). A Green-Based Manufacturing System to Solve Pallet Shortage Problems, *Heliyon*, Volume 7, Issue 4, e06823, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06823>

- Laura A. Meyerson, Aníbal Pauchard, Giuseppe Brundu, James T. Carlton, José L. Hierro, Christoph Kueffer, Maharaj K. Pandit, Petr Pyšek, David M. Richardson & Jasmin G. Packer. (2022). Moving Toward Global Strategies for Managing Invasive Alien Species. In: Clements, D.R., Upadhyaya, M.K., Joshi, S., Shrestha, A. (eds) Global Plant Invasions. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89684-3_16
- Muthukrishnan, R., Sundararaj, R. (2022). Degradation of Wood and Wooden Products by Insects and Their Management. In: Sundararaj, R. (eds) Science of Wood Degradation and its Protection. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8797-6_14
- Nicolas Meurisse, Davide Rassati, Brett P. Hurley, Eckehard G. Brockerhoff & Robert A. Haack. (2019). Common Pathways by Which Non-Native Forest Insects Move Internationally and Domestically. J Pest Sci 92, 13–27 <https://doi.org/10.1007/s10340-018-0990-0>
- Ormsby, M.D. (2022). Elucidating the Efficacy of Phytosanitary Measures for Invasive Alien Species Moving in Wood Packaging Material. J Plant Dis Prot 129, 339–348 <https://doi.org/10.1007/s41348-022-00571-1>
- Quinlan, Megan, Adrian W Leach, Michael Jeger & John Mumford. (2020). Pest Risk Management in Trade: The Opportunity from Using Integrated Combined Measures in a Systems Approach (ISPM 14), Outlooks on Pest Management 31(3):106-112. https://doi.org/10.1564/v31_jun_03
- Rieks D. van Klinken, Lloyd Kingham, Matthew P. Hill & Kerry Collins. (2023). A Menu of Measures to Manage Trade-Related Plant Pest Risks, And A Review of Methods for Demonstrating Measure Efficacy. Biol Invasions 25, 1227–1248 <https://doi.org/10.1007/s10530-022-02977-2>
- Rima D. Lucardi, Emily S. Bellis, Chelsea E. Cunard, Jarron K. Gravesande, Steven C. Hughes, Lauren to Refrigerated Shipping Containers Represent a Substantial Risk of Nonnative Plant Species Introduction and Establishment. Sci Rep 10, 15017 <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71954-3>
- Robert A. Haack; Jesse A. Hardin; Barney P. Caton & Toby R. Petrice. (2022). Wood Borer Detection Rates on Wood Packaging Materials Entering the United States During Different Phases of ISPM 15 Implementation and Regulatory Changes. Front. For. Glob. Change, 08 December 2022, Sec. Pests, Pathogens and Invasions Volume 5 - 2022 | <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.1069117>
- S. Alanya-Rosenbaum, R.D. Bergman & B. Gething. (2021). Assessing The Life-Cycle Environmental Impacts of The Wood Pallet Sector in The United States, Journal of Cleaner Production, Volume 320, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128726>
- Shiner, Z., Horvath, L., Araman, P., & Gething, B. (2021). An Investigation of Wood Pallets Landfilled and Recovered at US Municipal Solid Waste Facilities. BioResources 16(1), 1496-1522. <https://10.15376/biores.16.1.1496-1522>
- Sreedevi, K., Sree Chandana, P., Correya, J.C., Shashank, P.R., Singh, S., Veenakumari, K. (2022). Economically Important Wood Feeding Insects: Their Diversity, Damage and Diagnostics. In: Sundararaj, R. (eds) Science of Wood Degradation and its Protection. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8797-6_4

- Stephan Biebl & Pascal Querner. (2020). Transportation of Wood Boring Beetles in Wooden Transport Boxes, Wooden Pallets, and Newly Bought Wood in Museums, Studies in Conservation, <https://doi.org/10.1080/00393630.2020.1756126>
- Zahid, M. I., Grgurinovic, C. A., & Walsh, D. J. (2008). Quarantine Risks Associated with Solid Wood Packaging Materials Receiving ISPM 15 Treatments. Australian Forestry, 71(4), 287–293. <https://doi.org/10.1080/00049158.2008.10675047>
- Zhao J, Hu K, Chen K & Shi J. (2021). Quarantine Supervision of Wood Packaging Materials (WPM) At Chinese Ports of Entry From 2003 to 2016. PLoS ONE 16(8): e0255762. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255762>