

Trabajo fin de grado
Ingeniería en Tecnologías Industriales

Simulación mediante Arena de un algoritmo de
lógica difusa para el control de seguridad de los
contenedores en un puerto

Autora: Paloma Auladell León

Tutor: Pablo Cortés Achedad

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de
Empresas II
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla



Sevilla, 2018



Trabajo fin de grado
Ingeniería en Tecnologías Industriales

Simulación mediante Arena de un algoritmo de lógica difusa para el control de seguridad de los contenedores en un puerto

Autora:

Paloma Auladell León

Tutor:

Pablo Cortés Achedad

Catedrático

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas II

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018

Proyecto Fin de Grado: Simulación mediante Arena de un algoritmo de lógica difusa para el control de seguridad de los contenedores en un puerto

Autor: Paloma Auladell León
Tutor: Pablo Cortés Achedad

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal

A mi familia

RESUMEN

La vía marítima representa el ochenta por ciento del volumen de la mercancía global transportada. Esto, junto a las vulnerabilidades del medio marítimo, hace de este modo de transporte un medio idóneo para el tráfico de mercancías ilícitas. Si además tenemos en cuenta las crecientes exigencias de eficiencia en la cadena de suministro podremos entender el interés por encontrar medidas de seguridad que, siendo eficaces, no comprometan la fluidez de las operaciones portuarias. Para afrontar este reto, se han desarrollado estrategias innovadoras que se apoyan en los avances tecnológicos, y en la búsqueda de criterios que determinen qué controles han de realizarse para garantizar la máxima seguridad.

Este trabajo estudia una estrategia de inspección, donde, aplicando un algoritmo basado en lógica difusa en cada nodo de la inspección, consigue modelar el criterio para clasificar los contenedores en dos categorías: sospechoso y seguro. Así, se hace una simulación mediante Arena de la estrategia propuesta, calculando su porcentaje de acierto y tiempo de ejecución.

ABSTRACT

Seaborne trade represents more than the eighty percent of the total volume of the global trade. This fact, along with the vulnerabilities associated to this channel, makes this mean of transport ideal for the transport of smuggled goods. Bearing also in mind the growing demands for efficiency in the supply chain, there is a need for finding security measures that guarantee security while not compromising the correct flow of port operations. To face this challenge, different innovative strategies have been developed. These depend on technological developments and the search for criteria that asses which checks must be done to guarantee maximum security.

This thesis evaluates an inspection strategy where a fuzzy logic algorithm in each node models the criterion to assign the container one of two categories: safe or suspicious. A model is implemented in Arena to simulate this strategy and to obtain the rate of success and execution time.

ÍNDICE

Resumen	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
Índice de tablas	xv
Índice de Figuras	xvii
1 Objetivo y alcance del proyecto	1
2 Introducción	3
2.1 <i>Iniciativas de seguridad históricas de aplicación obligatoria</i>	6
2.2 <i>Iniciativas de seguridad históricas de aplicación voluntaria</i>	7
2.3 <i>Tecnologías aplicables al control de seguridad en puertos</i>	9
2.3.1 Pesaje de contenedores	9
2.3.2 Tecnologías RFID	12
2.3.2 Sistema de escaneado de contenedores	16
3 Lógica difusa	19
3.1 <i>Origen</i>	20
3.2 <i>Conjuntos difusos y variables lingüísticas</i>	21
3.3 <i>Inferencia difusa</i>	22
4 Estrategia de inspección	25
4.1 <i>Estrategia basada en lógica clásica</i>	26
4.2 <i>Estrategia basada en lógica difusa</i>	27
5 Simulación	36
5.2 <i>Simulación con Arena y VBA</i>	37
5.3 <i>Resolución del problema: Modelos de simulación</i>	42
5.3.1 Modelo de estrategia con lógica clásica	42
5.3.2 Modelo de estrategia con lógica difusa	49
6 Resultados	56
6.1 <i>Resultados de la estrategia con lógica clásica</i>	56
6.2 <i>Resultado modelo de estrategia con lógica difusa</i>	63
7 Conclusiones	69
Referencias	71
Anexo I: Código del algoritmo	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparativa de porcentaje de error según los criterios 1 y 2	69
Tabla 2: Tiempos en horas de finalización de las inspecciones	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Desarrollo del tamaño de los buques. Fuente: International Transports Forum, 2015	4
Figura 2: Grúa pórtico de muelle	11
Figura 3: Grúa pórtico con rueda de goma	12
Figura 4: Diagrama de la estrategia con lógica clásica	26
Figura 5: Diagrama de la estrategia de inspección con lógica difusa	28
Figura 6: Funciones de pertenencia para el índice de seguridad	30
Figura 7: Funciones de pertenencia para la variación de peso	30
Figura 8: Funciones de pertenencia de salida (nodo 2)	32
Figura 9: Funciones de pertenencia del resultado de rayos X	33
Figura 10: Funciones de pertenencia de salida (nodo 3)	34
Figura 11: Vista general del modelo con lógica clásica	43
Figura 12: Descarga del contenedor (modelo de lógica difusa)	44
Figura 13: Nodo 1 (modelo de lógica clásica)	45
Figura 14: Nodo 2 (modelo de lógica clásica)	46
Figura 15: Zona de inspección manual (modelo de lógica difusa)	47
Figura 16: Vista general del modelo con lógica difusa	50
Figura 17: Descarga del contenedor (modelo de lógica difusa)	51
Figura 18: Nodo 1 (modelo de lógica difusa)	52
Figura 19: Nodo 2 (modelo de lógica difusa)	53
Figura 20: Nodo 3 (modelo de lógica difusa)	54
Figura 21: Zona de inspección manual (modelo de lógica difusa)	55
Figura 22: Visualización de la clasificación de los contenedores libres (modelo con lógica clásica)	57
Figura 23: Visualización de la clasificación de contenedores sospechosos (modelo con lógica clásica)	58
Figura 24: Resultados de la clasificación (modelo con lógica clásica)	58
Figura 25: Distribución de número de contenedores clasificados como libres por el agente de aduanas	59
Figura 26: Distribución de porcentaje de error según el criterio 1	60
Figura 27: Distribución del porcentaje de error cometido según el criterio 2	61
Figura 28: Distribución de tiempo de finalización de la inspección manual	62
Figura 29: Distribución del tiempo de finalización del control de contenedores libres	62
Figura 30: Visualización de la clasificación de los contenedores libres (modelo de lógica difusa)	63
Figura 31: Visualización de la clasificación de los contenedores sospechosos (modelo de lógica difusa)	64
Figura 32: Resultado general de la estrategia con lógica difusa	65
Figura 33: Distribución de tiempos de finalización de la inspección manual	67
Figura 34: Distribución de tiempos de finalización del control de las unidades libres	68

1 OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO

Este trabajo tiene como finalidad el estudio y comparación de dos estrategias para la inspección de los contenedores descargados en un puerto. La primera estrategia, basada en lógica clásica, y la segunda, basada en lógica difusa. Los resultados que se desea comparar son el porcentaje de error cometido en la clasificación y el tiempo de finalización del control. De esta forma, puede determinarse cuál de las dos estrategias aporta un mayor beneficio, no solo a la seguridad sino también a la cadena de suministro. Para ello, se implementa un modelo de simulación en Arena para cada estrategia que.

La clasificación de los contenedores se hará a partir de unos datos que han sido proporcionados para este estudio, y que contemplan únicamente la posibilidad de que la mercancía ilegal sea introducida durante el trayecto, no dándose el caso de que vengan desde el origen. Los datos utilizados en el estudio de tiempos parten de datos estadísticos o suposiciones.

Para contextualizar la importancia de diseñar estrategias de seguridad, en la introducción se da una visión general sobre cómo estas operaciones influyen al desarrollo de las actividades portuarias, y se comentan diferentes protocolos que se han puesto en marcha en los últimos años para dar respuesta a la necesidad de garantizar la seguridad y la integridad de la cadena de suministro, además de revisar el estado actual de las tecnologías utilizadas en las estrategias de este trabajo.

Posteriormente, se explica el fundamento teórico del algoritmo con el cual la segunda estrategia clasifica los contenedores en cada nodo de la inspección y cómo este enfoque es acertado para el tratamiento de información como la que se maneja en una terminal portuaria, pasando después a detallar en particular el funcionamiento de cada una de las estrategias.

Tras esto, se describe la construcción de los modelos de simulación partiendo de su estructura general hasta el detallado de los módulos utilizados y su finalidad, así como el fundamento del lenguaje utilizado para implementar el algoritmo que hace la clasificación.

Posteriormente, se muestran los resultados obtenidos tanto en la clasificación, detallando por qué el algoritmo la realiza de esa forma, como en el estudio de tiempos, hecho mediante un análisis de sensibilidad para mostrar el resultado como una distribución de probabilidad.

Finalmente, se comparan los resultados obtenidos en cada estrategia, concluyendo que la estrategia basada en lógica difusa proporciona mejores resultados en cuanto a acierto mientras que la estrategia basada en lógica clásica emplea un 30% menos de tiempo en finalizar la inspección manual de los contenedores sospechosos. A la vista de estos resultados, se determina que el aumento de tiempo de inspección que supone aplicar la estrategia basada en lógica difusa con respecto al tiempo de inspección que supone aplicar la estrategia basada en lógica clásica, queda justificado por el porcentaje de acierto obtenido con la primera.

2 INTRODUCCIÓN

La relevancia económica y estratégica de los sectores marítimo y portuario para cualquier estado no es cuestionable, así como tampoco lo son las amenazas que se ciernen sobre dichos sectores y la necesidad de establecer medidas de protección efectivas para preservarlos y garantizar su continuidad al servicio del comercio internacional.

Actualmente, más que nunca, es un sector de suma importancia en la economía globalizada: los puertos internacionales manejan más del ochenta por ciento del volumen de mercancía global y más de dos tercios de su valor (UNCTAD, 2017). Aunque actuar como interfase entre el medio marítimo y terrestre siga siendo su rol primordial, los puertos tienden cada vez más a integrarse en las cadenas logísticas de producción, transporte y distribución y convertirse en verdaderos centros de valor añadido, de tal manera que no actúan como un mero eslabón en la cadena de suministro.

El papel actual los puertos en la economía mundial ha sido consecuencia de un proceso lento que se ha desarrollado a la vez que el comercio mundial, pero que en las últimas décadas se ha catalizado por factores como la globalización, desarrollo en las tecnologías del transporte, la integración de las cadenas logísticas, la búsqueda de economías de escala y reducción de costes, etc. Es por esto el que los puertos, como elemento clave, se encuentren bajo constante presión para adoptar cambios en el ámbito institucional, regulador y de operación.

Del mismo modo, muchas tendencias globales están afectando a la industria portuaria, propiciando la construcción y restructuración de nuevas terminales para facilitar y agilizar el manejo de mayores volúmenes, evitar congestiones y dar respuesta operativa a los nuevos buques portacontenedores que ya en la actualidad superan los 14000 TEU transportados. Estos buques son los denominados '*ultra large container ship*'. El progresivo aumento del tamaño de estos buques se refleja en la figura 1. La

problemática que representan es que aumentan radicalmente la necesidad de recursos a su llegada, aumentando la congestión del puerto y saturando los accesos de camiones al mismo. En global, si no se gestiona forma adecuada, las economías de escala conseguidas con el transporte de grandes volúmenes podrían desembocar en un efecto completamente opuesto. Un estudio demuestra que un aumento del uno por ciento en el tamaño del barco y en sus operaciones industriales asociadas aumentan el tiempo de residencia en el puerto en un 2.9%, indicando que las economías de escala obtenidas durante el transporte se pierden en el desembarco (Kidson et al. 2015).

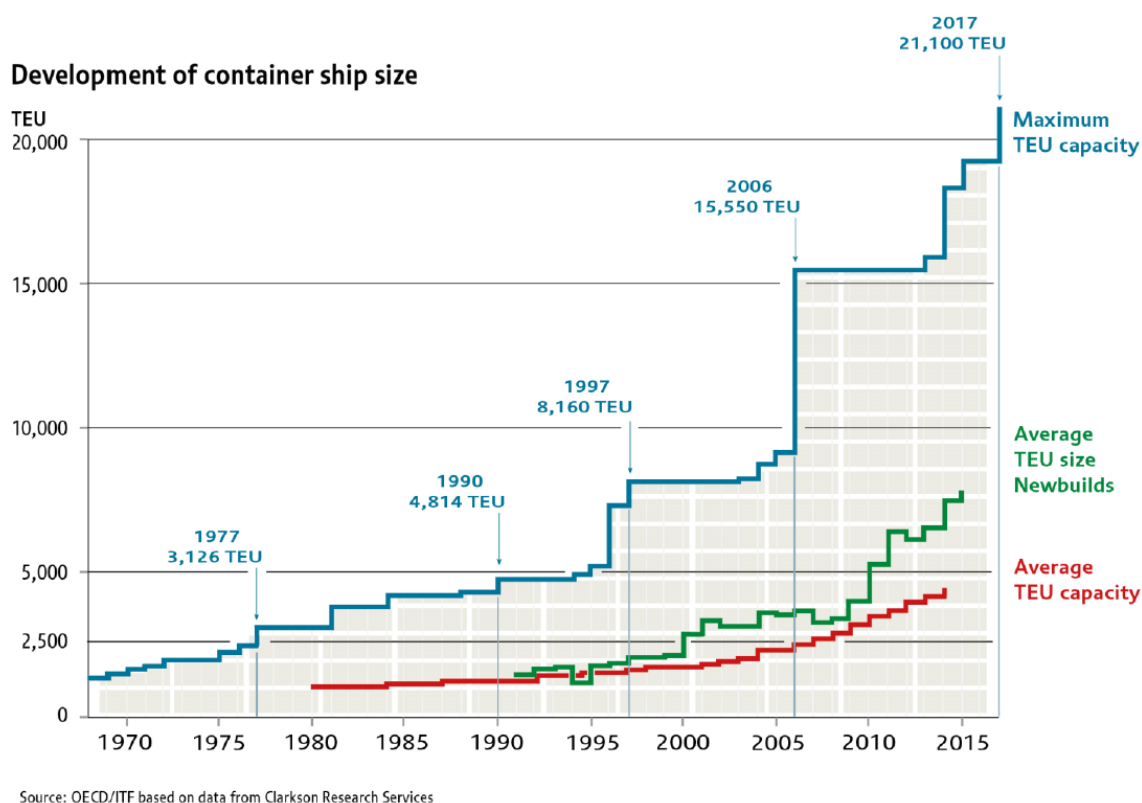


Figura 1: Desarrollo del tamaño de los buques. Fuente: International Transport Forum, 2015

La competitividad de los productos comercializados internacionalmente depende de diversos factores (Banomyong, 2007):

- **Coste:** El coste asociado con el transporte físico de materiales no siempre puede ser cuantificado puesto que está compuesto por la suma del coste de una serie de elementos según los servicios provistos lo largo del trayecto. Algunos costes están directamente asociados al servicio logístico: tarifas publicadas (que muestran las condiciones del mercado local), la calidad del servicio y la capacidad de gestión del proveedor del servicio. Otros, costes indirectos, son una consecuencia del servicio recibido: costes financieros fruto de retrasos inesperados, lentitud, aumento de primas de

seguros, o incluso costes de oportunidad. En de resumen, costes que reflejan la ineficiencia del servicio, riesgos asociados o la capacidad del proveedor del servicio para solventar problemas administrativos u operativos.

- **Tiempo:** El tiempo de tránsito es un elemento importante ya que la mercancía en tránsito también supone gastos. El tiempo de tránsito puede reducirse incrementando la velocidad del medio de transporte, pero también puede reducirse el tiempo ocioso de la mercancía en el puerto mientras espera alguna operación de transporte o control de seguridad. La falta de una coordinación inadecuada en las operaciones de transporte o el exceso de procedimientos administrativos y burocráticos pueden tirar por la borda cualquier esfuerzo o inversión por agilizar el envío. Para reducir el coste financiero del inventario, muchos acuerdos se hacen bajo condiciones de envío “justo a tiempo”, por lo que la fiabilidad sobre la puntualidad es esencial. Las industrias que operen con este tipo de estrategias, con programaciones ajustadas, no pueden permitirse retrasos.
- **Seguridad de la mercancía:** Cualquier tipo de daño, robo, extravío o manipulación inadecuada hará que la mercancía no se encuentre disponible en el lugar y momento esperado. Las consecuencias económicas de esta indisponibilidad, además de la pérdida del valor de la mercancía, son similares a las comentadas en cuanto al tiempo.

En estas consideraciones puede observarse una relación con la forma en la que se organizan los servicios logísticos y con los procedimientos tras el desembarco, como puede ser el control de seguridad de la mercancía.

Sin embargo, este tipo de procedimientos no tienen por qué suponer un hándicap para la competitividad del puerto. De hecho, por el contrario, pueden utilizarse en su beneficio y el de todas las partes implicadas.

Para que un puerto pueda participar y beneficiarse de cadenas de suministros globales más eficientes y eficaces, las actividades relacionadas con la seguridad en dicho puerto deben estar completamente sincronizadas con los requisitos de la cadena de suministro global, es decir, estar a la altura de la demandada por la misma. Los gobiernos deberán proporcionar los entornos institucionales y medidas regulatorias necesarias que estimulen y garanticen el nivel de seguridad necesario.

Para tener en cuenta todos los intereses involucrados en el desarrollo de una cadena de suministro segura, las relaciones entre los comerciantes, proveedores de servicios y gobiernos deben estar claramente identificadas y establecer las medidas de seguridad de manera coordinada.

Cabe destacar que las necesidades de seguridad no son constantes en el tiempo, sino que se han intensificado en diferentes momentos de las últimas décadas más que en otros. Es por esto que se refuercen los mecanismos de seguridad más efectivos para detectar cierta amenaza en los momentos

de mayor presencia de la misma.

Tras los ataques terroristas de 2001 en Estados Unidos, aumentó la preocupación global por mejorar la seguridad en el movimiento internacional de mercancías. Esto llevó a la creación de medidas regulatorias, de aplicación tanto voluntaria como obligatoria, con el objetivo de fortalecer la seguridad marítima y portuaria.

2.1 Iniciativas de seguridad históricas de aplicación obligatoria

Algunas de las medidas que han sido aprobadas y acogidas internacionalmente son el Código Internacional para la protección de los buques y de las instalaciones portuarias (PBIP o ISPS) (2004), el Código de prácticas para la seguridad en puertos de la Organización Marítima Internacional, y el Marco de estándares para asegurar y facilitar el comercio de la Organización Mundial Aduanera, conocido como SAFE iniciado en 2005 y con su última revisión en 2015. El primero establece un marco de cooperación internacional para detectar amenazas y adoptar medidas preventivas, define funciones y responsabilidades, garantiza el intercambio de información y establece tres niveles de protección necesaria según la coyuntura internacional. Además, requiere la elaboración de un Plan de Protección de Buque (PPB) así como un Plan de Protección de la Instalación Portuaria (PIIP).

El programa SAFE, por su parte, define una serie de normas que, apoyándose en el uso de las tecnologías, en el análisis de riesgo y la cooperación entre aduanas y empresas, permiten preservar la integridad de la carga y garantizar el correcto flujo de mercancía. Según se describe en esta norma, “Las Aduanas deberán utilizar métodos sofisticados para identificar y seleccionar la carga de alto riesgo, incluyendo entre otros, información electrónica avanzada sobre envíos de carga hacia y desde un país antes de su partida o arribo; inteligencia estratégica; datos comerciales informatizados; evaluación de anomalías; y seguridad de la cadena logística de un agente comercial. Por ejemplo, la certificación y validación de la seguridad del punto de origen, como menciona el Pilar 1 Aduanas-Empresas, reduce el riesgo y, por lo tanto, el alcance de la selección del objetivo”. Además, “Las Administraciones Aduaneras deberán realizar la selectividad y evaluación conjunta; deberán utilizar criterios de selección estandarizados, así como también mecanismos compatibles de comunicación o/y de intercambio de información. Estos elementos serán útiles para el futuro desarrollo de un sistema de reconocimiento mutuo de controles.” De igual modo, El capítulo IV de la Estrategia Mundial de la OMA sobre Información e Inteligencia contiene disposiciones para el Análisis Estandarizado de Riesgo Normalizados. Este análisis es una parte importante del trabajo de inteligencia y proporcionan indicadores de riesgo a los agentes aduaneros para que puedan seleccionar y analizar mercaderías y transportes.

2.2 Iniciativas de seguridad históricas de aplicación voluntaria

Existe otro conjunto de medidas de seguridad introducidas a nivel nacional entre las que destacan aquellas introducidas por Estados Unidos, con iniciativas que comenzaron por el Acto de Transporte Marítimo de 2002, seguidas de programas con implicaciones internacionales como la Iniciativa de Seguridad para Contenedores (CSI). Estas populares medidas se detallarán más tarde a modo de ejemplo de metodologías de seguridad que buscan un compromiso entre la seguridad frente a actos ilícitos y el normal desarrollo de la cadena de suministro. También se incluye la iniciativa Megaport, iniciativa de la Administración Nacional de Seguridad Nuclear (NNSA) de los Estados Unidos, que comenzó en 2003. Se establecen acuerdos con otros países para mejorar la capacidad para detectar la carga en los principales puertos marítimos internacionales. La iniciativa proporciona los equipos de detección de radiaciones y forma al personal de los otros países para detectar material nuclear o radiactivo. A cambio, la NNSA requiere que se compartan los datos de las detecciones e incautaciones de materiales nucleares o radiológicos resultantes de la utilización de los equipos suministrados. También se elaboró la regla de las 24 horas, la iniciativa 10plus3, la certificación C-TPAT (Customs Trade Partnership against Terrorism), la OSC (Operation Safe Commerce) y la regulación para el escaneo de la totalidad de los contenedores.

Entre los programas voluntarios se encuentra el programa SEP (Secure Export Partnership), el estándar ISO/PAS 28000:2005 (especificaciones para la gestión de sistemas de seguridad de la cadena de suministro), la iniciativa TAPA (Technology Asset Protection Association) y una variedad de estándares ISO para el recinto de contenedores.

Los puertos adheridos a estos programas o que cuentan con ciertos de estos certificados pueden beneficiarse de controles de seguridad y procesos burocráticos más livianos cuando comercializan con los países que promueven estas medidas.

Iniciativa CSI:

A mediados de 2007, el gobierno estadounidense promulgó una ley según la cual se requería que cualquier lote de mercancía que fuera a ser enviado a puertos estadounidenses tendría que ser escaneado utilizando tecnologías de inspección no intrusiva y de detección de radiación. Estas medidas debían estar completamente implantadas en 2012. (“U.S. H.R. 4954-15. Security and Accountability For Every Port Act of 2006,” 2006)

Esta ley fue cuestionada por organismos como la Oficina de Aduanas y Protección Fronteriza de los Estados Unidos (CBP), o por líderes corporativos, con relación a la factibilidad de aplicar el escaneo de carga o inspección no intrusiva (NII) a la totalidad de los contenedores. Además, según esta ley, Estados Unidos no operaría con puertos que no proporcionasen este servicio.

Una de las preocupaciones que se plantearon fue la saturación que una medida así originaría y los costes que supondría, impidiendo el desarrollo normal de las actividades logísticas. Estas inspecciones generarían colas y tiempos de espera, retrasos, aumento de niveles de inventario, todo repercutiendo en el coste final de los consumidores. Además, el tener que distribuir los contenedores a través de la terminal portuaria para dirigirlos a los espacios de inspección requeridos, tiene el potencial de congestionar significativamente la terminal. De este modo, incluso si se invirtiese en equipos de inspección no intrusiva, el mero hecho de alterar el transcurso establecido de la mercancía puede desembocar en mayores exigencias de espacio y tiempo dedicado a estos contenedores, todo ello en detrimento de la eficiencia del puerto, aumentos de tiempo de aprovisionamiento y costes para el cliente.

Por otra parte, esta ley, por estar redactada de una forma vaga y ambigua y por promulgar requisitos que parecían no interesar a nadie, acabó siendo pospuesta (WSC, 2012). En 2012 se confirmó que este objetivo había sido inviable, ya que solo acabaron escaneándose un 4.1%. (Visser et al., 2016)

En su lugar, se prefirieron otro tipo de iniciativas de seguridad como la propuesta en 2002, lanzada por la Oficina de Aduanas y Protección Fronteriza de los Estados Unidos (CBP), organismo encargado del control de la inmigración protección de la propiedad intelectual, control del trafico de armas o dispositivos terroristas en EE. UU. y la prevención del terrorista o el control de aranceleros aduaneros. Esta iniciativa nació como consecuencia de los atentados del 11S en Nueva York. CSI es un programa de seguridad administrado por la CBP. El programa, anunciado en enero de 2002, utiliza un software basado en reglas que identifica los contenedores con destino a US con riesgo de haber sido manipulados. La regla de las 24 horas obliga a los administrativos a enviar la información del contenedor al puerto con 24 horas de antelación a dejar el lugar de origen. Una vez transmitida, los detalles se analizan en el Centro Nacional de Identificación de Objetivos (NTC) de la CBP. Los contenedores determinados como sospechosos son marcados para ser inspeccionados por las aduanas de la autoridad local en el puerto de origen antes de que estos sean enviados a US. Los oficiales de las aduanas utilizarían rayos X y un detector de radiación que aseguraría que los contenedores no contuviesen armas nucleares o bombas sucias. (Bakshi et al., 2011).

En 2007 nace la SFI, según la cual los contenedores que llegasen deberían pasar por una inspección primaria según la cual serían ser escaneados con métodos no intrusivos y con dispositivos de detección de radiación pasiva situados a la entrada a la terminal portuaria.

La imagen y el resultado de los sensores adquiridos en esta inspección se transmite en tiempo real al NTC. Allí, los oficiales de la CBP incorporan estos datos junto con la puntuación total de riesgo, para determinar los contenedores de alto riesgo y ser inspeccionados en un proceso secundario.

En resumen, los protocolos CSI y SFI se diferencian en el número de contenedores que se destinan a

inspección y el tiempo y herramientas utilizadas en la inspección primaria. El proceso de inspección de CSI se realiza únicamente para los contenedores destinados a Estados Unidos, a con destino a un puerto con este protocolo, comienza 24h antes de la salida del buque contenedor y utiliza los manifiestos de carga para determinar qué contenedores requieren inspección no intrusiva. El protocolo SFI usa arcos bajo los cuales los contenedores deben pasar para ser escaneados. Los resultados de estos escaneos se envían junto con el manifiesto de carga a ser analizado y determinar cuál necesita una inspección en mayor profundidad.

2.3 Tecnologías aplicables al control de seguridad en puertos

Esta sección comenta la situación actual de las tecnologías utilizadas en la estrategia de inspección entorno a la cual se trabaja en este proyecto.

2.3.1 Pesaje de contenedores

El Comité de Seguridad Marítima (MSC) de la Organización Marítima Internacional (OMI), en su reunión del 21 de noviembre de 2014, adoptó una serie de enmiendas a distintos capítulos del anexo al Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar, 1974 (Convenio SOLAS), las cuales figuran en la Resolución MSC.380 (94) de dicho Comité de la OMI y entraron en vigor el 1 de julio de 2016 (BOE, 2012).

Según se expone, el expedidor de la mercancía contenerizada deberá garantizar, preferiblemente antes de la entrega de la misma, haber verificado la masa bruta (VGM) del contenedor lleno, para lo cual se exponen dos métodos de pesaje. Declarar el peso bruto de carga y los contenedores siempre fue un requisito en el Convenio SOLAS. El nuevo requisito agrega un nivel adicional, y es que el peso bruto requiere verificación. Esto se hace para asegurar que la masa declarada es un fiel reflejo de la masa bruta del contenedor lleno, con el fin de evitar lesiones, daños a la carga, la pérdida de contenedores, y otros riesgos.

El peso bruto verificado debe ser parte de un documento de transporte marítimo como la solicitud de booking o la Instrucción de Embarque. Una vez en la terminal, se valida el VGM declarado por el exportador pensando los contenedores a la entrada de la terminal. De esta forma se comprueba si la discrepancia se encuentra dentro de los valores límites establecidos.

En caso de no se disponga de la documentación relativa a la masa bruta verificada, el exportador puede solicitar el servicio de certificación del VGM por la terminal, de esta forma, el contenedor podrá ser pesado a la entrada de la terminal, emitir un certificado a nombre del exportador donde se detalla el VGM y remitir la información electrónicamente al exportador, según acuerden las partes.

Las razones que llevaron a esta modificación fueron, entre otros, el sobrepeso, mercancías mal

declaradas, la mala distribución del peso dentro del contenedor, la sujeción inadecuada que lleva a que los contenedores se vuelvan inestables.

Conocer la masa bruta exacta de un contenedor lleno con antelación es fundamental para elaborar el plan de estiba y trincaje, evitando el derrumbo de las pilas de contenedores o quecaída al mar. Esta es una medida de seguridad importante, que tiene como objetivo salvar vidas, prevenir lesiones y la destrucción de la propiedad.

Métodos de cálculo de VGM regulados:

La regla permite dos métodos para verificar el peso bruto de los contenedores:

Método 1: Pesar el contenedor lleno utilizando equipos calibrados y certificados; o

Método 2: Pesar todos los paquetes y objetos de la carga, incluyendo la masa de los pallets, del material de relleno y de otros materiales de fijación que irán en el contenedor agregándole la tara del recipiente a la suma de las masas individuales, utilizando un método de certificación aprobado por la autoridad competente del Estado en que se completó el embalaje del contenedor. El Método 2 no será práctico para los transportistas de mercaderías a granel como el mineral de hierro, granos, etc.,

Los métodos de pesaje y los equipos de medición también se encuentran regulados:

La balanza, la báscula puente, el equipo de izaje u otros dispositivos utilizados para verificar la masa bruta del contenedor deberán estar calibrados por un laboratorio acreditado por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), en el caso de España, o por otra entidad reconocida por la ENAC. A estos efectos serán igualmente válidos los equipos verificados por organismos autorizados para el control metrológico en España, así como los que cumplan las normas y prescripciones equivalentes, en materia de precisión, de los estados donde se utilicen dichos equipos. Estos equipos llevan instaladas células de carga, unas estructuras diseñadas para soportar cargas de compresión, tensión y flexión, en cullo interior se encuentran uno o varios sensores de deformación. Estas células de carga cuentan con galgas extensiométricas, que son sensores cuya resistencia varía con la fuerza aplicada. Estos sensores convierten la fuerza, presión, tensión o peso en un cambio de la resistencia eléctrica el cual puede ser medido.

Este tipo de sensores son los elementos más importantes en el diseño de transductores de presión y células de carga. La correcta utilización de las galgas para medir fuerzas y deformaciones es una de las herramientas más importantes en la ingeniería o la construcción.

En conclusión, contar con el peso del contenedor en la terminal de origen está asegurado. Sin embargo, actualmente no se obliga a comprobar el peso del contenedor en el destino. Una medida que contemplase la verificación de peso también en el destino podría acogerse gratamente si no aumenta

el tiempo y el coste de manejo de los contenedores en la terminal. Para ello podría ser clave la utilización de mecanismos de pesaje vertical con suficiente capacidad, es decir, entorno a 30 toneladas (Morales, 2017)

Se pueden instalar en:

– **Grúas STS:** Las grúas pórtico de muelle son el principal equipo de manipulación para realizar la carga y descarga de contenedores en las terminales portuarias. Son de gran importancia ya que son el único equipo de manipulación en las TCP que puede realizar las operaciones para servir a los buques. La figura 2 ilustra este tipo de grúas. Son uno de los elementos más importantes de la terminal porque su productividad es la que determina todos los procesos que vienen encadenados a este. Generalmente se desplazan a lo largo de unos carriles instalados en la terminal, aunque se están volviendo a usar grúas móviles. Según lo modernas que sean, pueden descargar entre 12 (las más antiguas) y 60 contenedores por hora (las más modernas, usadas en terminales de contenedores automatizadas).



Figura 2: Grúa pórtico de muelle

–**RTG:** Las células de carga pueden ser implementadas en grúas pórtico con ruedas de goma (RTG). La instalación en grúas existentes puede ser complicada si no hay planos disponibles de las poleas y

ejes. La figura 3 ilustra este tipo de grúas. Se usan en las zonas de almacenaje para cargar contenedores de ésta y depositarlos en medios de transporte terrestre (como camiones o AGVs) y viceversa. El rendimiento de las RTGs actuales está entre 30 (terminales convencionales) y 60 contenedores a la hora (terminales automatizadas) y se desplazan a una velocidad de unos 60 a 70 m/min.



Figura 3: Grúa pórtico con rueda de goma

2.3.2 Tecnologías RFID

El gran volumen de contenedores que desembarca diariamente en un puerto hace que mantener los niveles de seguridad sin impedir el correcto y eficiente funcionamiento de la cadena de suministro y operaciones habituales del puerto no sea una tarea fácil.

Una de las medidas dedicadas a este propósito es el uso de cierres especializados para los contenedores que permitan identificar, con revisiones manuales, si estos han podido ser manipulados y someterlos a una inspección secundaria. Tradicionalmente se han utilizado cierres mecánicos con conformidad a la norma ISO 17712. Sin embargo, el desarrollo de la tecnología ofrece opciones que no sólo permiten una mayor precisión en el reconocimiento de los contenedores manipulados, aumentando la seguridad, sino que también reportan beneficios al funcionamiento de la cadena de suministro.

2.3.2.1 Cierres mecánicos

Como se define en la norma ISO 17712, los cierres mecánicos se tratan de cierres de seguridad aplicados a una o dos de las puertas de un contenedor, y que se deben forzar o romper para lograr el acceso a su interior. Esta norma clasifica los tipos de cierres según tres categorías: “H”, alta seguridad; “S”, seguridad y “I”, indicativo.

La Organización Mundial Aduanera (WCO) requiere el uso de cierres que cumplan con la norma ISO 17712 clasificados como cierres de alta seguridad, como se indica en el programa SAFE de 2015 (WCO, 2015).

Estos cierres están fabricados con materiales de alta resistencia, como cables de bobina de acero, cuya intención es dificultar y retardar intentos de apertura indebida del contenedor. En cualquier caso, al intentar una apertura no autorizada deben dejar muestras de ello. En estos cierres se utiliza una numeración consecutiva con marcación láser.

Sin embargo, como también se detalla en la norma ISO 17712, un cierre de alta seguridad no garantiza que no pueda ser abierto utilizando herramientas. Es por esto por lo que en el programa SAFE de la Organización Mundial Aduanera (WCO), se recomienda el uso de otras tecnologías para asegurar la integridad del contenedor a lo largo de la cadena de suministro.

Además, la norma ISO 17712 no tiene como objetivo determinar las características que deben tener los cierres para impedir que sean abiertos, sino sólo para que haya evidencias de esto. Este tipo de evidencias, según se recoge en la norma puede ser cambio de color del material, cambio de la textura de la superficie, grietas, muescas o abrasiones. Además, establece que estas evidencias deben poder reconocerse en un examen manual bajo circunstancias habituales sin necesidad de utilizar ayuda técnica para su reconocimiento (como lupa o microscopio).

El código ISPS (código internacional para la protección de los buques y de las instalaciones portuarias) adoptado por la Organización Marítima Internacional (IMO) requiere que las instalaciones portuarias implementen procedimientos aprobados que monitoricen y revisen la mercancía contenerizada para detectar evidencias de manipulación. Para esto lo habitual es designar operarios, pero estos no tienen por qué disponer de un cierre original de cada tipo que puedan traer los contenedores con el cual realizar la comparación. Además, en caso de poder llegar a reconocer aquellas evidencias, sería difícil determinar qué ha podido originarlas ya que los contenedores están en constante movimiento y bajo condiciones climatológicas diferentes, de manera que pudieran haberse producido accidentalmente.

La verificación manual de los cierres de seguridad mecánicos, por tanto, puede ser una tarea complicada y muy dependiente del factor humano, complicándose aún más conociendo que realmente los cierres son fáciles de remplazar o falsificar ya que ninguna norma requiere que sean de un tipo

concreto y considerando el volumen de contenedores que los operarios deben revisar diariamente.

2.3.2.2. Cierres electrónicos

Se han ideado muchos tipos de protocolo y práctica desarrolladas para ayudar a mantener la seguridad y la integridad del contenedor. Sin embargo, los cierres mecánicos únicamente no parecen ser adecuados puesto que se siguen dando casos de forzaje, mercancía intercambiada o robada y cierres sustituidos por otros falsos. Un cierre mecánico no puede detectar o proporcionar una alerta cuando ocurre la manipulación, sin embargo, sí puede proporcionarse mediante tecnologías RFID embebida en los cierres, que además pueda transmitir información acerca de cuándo y dónde se produjo la manipulación.

La popularidad de la tecnología RFID crece anualmente debido a su abaratamiento (Patel, 2017) y a la mejora de su eficiencia. Incluso algunas empresas y agencias del gobierno hablan ya de los beneficios del uso de RFID, en particular en lo relacionado con la gestión de la cadena de suministro.

Aunque muchas organizaciones, como la estadounidense C-TPAT o la organización mundial aduanera sigan recomendando el uso de la norma ISO 17712, ISO ha desarrollado una norma para cierres electrónicos, ISO 18185 en 2007, versión que se mantiene actualmente. El comité técnico 104 de la ISO ha valorado diferentes enfoques al uso de cierres electrónicos que han llevado al desarrollo de esta norma. Esta norma requiere también el cumplimiento de la norma ISO 17712 en cuanto a los cierres de alta seguridad, es decir, que los cierres electrónicos deben cumplir las propiedades físicas de los cierres mecánicos de alta seguridad. Según se recoge en el capítulo 7 de la norma ISO 18185, “un cierre electrónico (e-seal) es un cierre de contenedores de mercancía, no reutilizable, de solo lectura, que cumple con la norma ISO17712 respecto a los cierres de alta seguridad y la norma ISO 18185 en cuanto a que evidencia de forma electrónica las manipulaciones o intrusiones a través de la puerta del contenedor”. Sin embargo, esta norma a penas incluye especificaciones técnicas más allá que debe ser un cierre que incluya un sistema asociado para verificar su correcto uso, un indicador del estado del cierre, un indicador de batería, un identificador único que contenga detalles sobre el fabricante que quedará programado sin posibilidad de modificación, un sistema de identificación del estado del contenedor, y la posibilidad de accionar la alarma cuando se produzca una manipulación. No incluye, sin embargo, especificaciones técnicas sobre las frecuencias a utilizar o sobre el protocolo de protección de datos y autenticación del dispositivo.

Existen dos tecnologías muy diferentes de RFID:

- Pasiva: cortas distancias, bajo coste y desechable. Estas no están activas mientras la mercancía está en tránsito y por tanto no pueden hacer un seguimiento continuo del estado de la mercancía, sino que sólo pueden comunicar el estado si el cierre está intacto al alcanzar el siguiente punto de

lectura. Esta tecnología se implementaría en situación en la cual basta con saber si ha habido manipulación o no en cualquier momento de su trayecto. Cuando un lector inicia la conexión, las baterías alimentan la señal de transmisión. Además, contienen un reloj interno en marcha que efectúan comprobación y registran cualquier ocurrencia. (Juang, 2015)

- Activa: Utilizan una tecnología más sofisticada, baterías internas y largo alcance y gran funcionalidad. Proporcionan información del estado del contenedor a tiempo real, detectar variación al minuto de la posición del cierre o implementar técnicas anti-falsificación.

Ambas usan radiofrecuencia para comunicarse con el lector, pero el método de alimentación es diferente.

Tampoco es correcto asumir que un cierre con tecnología RFID acabaría con la manipulación indebida de contenedores, pero sí serviría para disuadir y limitar el número de intentos cuando los perpetradores conozcan que se está aplicando una tecnología con la capacidad de proporcionar indicadores sobre el lugar y el momento en el que se produce la manipulación.

Implementar esta tecnología también tiene beneficios para la cadena de suministro: acelerar el paso por los nodos de seguridad, prevenir y controlar el acceso no autorizado, proporcionar información para las empresas y autoridades sobre la ubicación del contenedor, evitando los errores típicos al envío y recibo de las mercancías, garantizando la seguridad, efectividad y eficiencia de la cadena de suministro.

En el transporte multimodal, desde el origen hasta el destino, la mercancía pasa por manos de muchas empresas que deben coordinar sus operaciones. Sin embargo, cuando se produce un robo o se daña la mercancía, es difícil determinar quién debe asumir la responsabilidad. La habilidad para comprobar, en cualquier momento, dónde, cuándo y quién cargó y precintó, transportó y cualquier otra cosa que tuviese lugar en su trayectoria es una parte vital de la seguridad. Además, se ha demostrado que las tecnologías RFID tienen la habilidad de funcionar convenientemente en una variedad de condiciones ambientales desafiantes (Richardson, 2017).

Para conseguir ese grado de trazabilidad, debe desarrollarse una combinación de soluciones técnicas como precintos, tecnologías RFID o integración de ambas. Además, al ser la circulación del contenedor a nivel mundial, la implementación de este sistema debe ser promovida por toda la industria portuaria. Por tanto, se requieren normas de ejecución y de interoperabilidad entre las industrias. Incluso si una política a nivel nacional lo apoyase, sería difícil proyectarlo al comercio internacional (Kaur et al. 2011)

Uno de los mayores impedimentos para implementar esta medida, no es tanto el coste de los cierres, sino también el coste de la infraestructura y los equipos de comunicación asociados, como los lectores.

Además, hasta hace unos años no se daba tanta importancia a las medidas de seguridad ya que disminuían la competitividad en el mercado.

Otra preocupación habitual entre las empresas que se plantean adoptar esta tecnología es la posibilidad de que quede obsoleta especialmente teniendo en cuenta el coste de la inversión inicial. La tecnología evoluciona rápidamente y nuevos protocolos, más rápidos y más robustos, pueden sustituir a sus predecesores.

Otra limitación que presenta el desarrollo de esta tecnología aplicada a este ámbito es la falta de estandarización: las escasas normas que hay con respecto al uso de estas tecnologías dejan mucha libertad para establecer los protocolos de comunicación, el formato y la cantidad de información almacenada en la etiqueta. Las empresas que establezcan un contrato de bucle cerrado deberán acordar un estándar para este tipo de protocolos de comunicación, tipos de modulación de señales, tasa de transmisión de datos, codificación y algoritmos de manejo de colisiones.

Por otra parte, leer varias etiquetas al mismo tiempo puede resultar en colisiones o pérdidas de datos. Para evitar esto pueden encontrarse algoritmos anticolidión, con toda probabilidad patentados, que podrían aplicarse con un coste extra. En los últimos años se ha continuado con el desarrollo de estos métodos, con el objetivo de reducir el tiempo total de lectura y maximizar el número de etiquetas leídas simultáneamente. (Shi et al., 2011)

2.3.2 Sistema de escaneado de contenedores

Los controles radiológicos en las fronteras españolas tienen su origen en la necesidad de dar respuestas a la rápida evolución de las demandas del comercio internacional, como las crecientes importaciones de países asiáticos desde 1990, o de productos primarios provenientes de Oriente Medio, América central y del Sur y África, además de para satisfacer el papel asignado a las aduanas para garantizar la seguridad de la comunidad, para establecer y mantener medidas apropiadas y eficaces de control fronterizo con el fin de detectar, desalentar, prevenir y combatir el tráfico ilícito de armas nucleares o químicas.

Además, este tipo de tecnologías se comenzaron a desarrollar en un contexto en el cual se tenía certeza de estar bajo una importante amenaza terrorista y la posibilidad de que los ataques se materializaran con el uso de armas nucleares o químicas. Esto, llevó a la iniciativa estadounidense CSI, que tiene como objetivo el escaneo de contenedores mediante equipos generadores de radiaciones ionizantes y el intercambio de información en las Unidades de Análisis de Riesgos. Para ello, y dentro del plan, Megaports de la iniciativa CSI, el departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) entregó e instaló en lugares seleccionados equipos y materiales adaptados para el control radiológico aduanero. En España hay cinco puertos (Vigo, Valencia, Barcelona, Algeciras y Bilbao) que cuentan con un

portal espectrométrico diseñado para detectar material radioactivo y que operan con este protocolo.

El procedimiento más común es el escaneado con arcos de rayos X. Se basa en la idea de hacer una “radiografía” del contenedor para disponer de una imagen del interior. No requiere la apertura del contenedor (inspección no intrusiva), lo que supone un trámite mucho más sencillo al no ser necesario abrir el precinto, lo cual, según el protocolo de la aduana, requiere contactar con el propietario para solicitar su permiso. La imagen obtenida es comparada con la carga declarada para confirmar que la declaración es correcta.

(Morales, 2017) propone una simulación donde el resultado de esta comparación (S_e) dependerá de varios factores:

$$S_e = F_v F_f F_w F_m \quad (1)$$

Donde F_v es el factor de volumen, F_f factor de forma, F_w factor de peso y F_m factor de materiales.

El factor de volumen viene dado por la siguiente ecuación:

$$F_v = \frac{V_I}{V_R} \quad (2)$$

Donde V_R es un volumen de referencias y V_I es definido como:

$$V_I = \frac{M}{\rho_I} \quad (3)$$

Donde M es la masa de mercancía ilegal y ρ_I es la densidad de las mercancías ilegales.

Por otro lado, el factor de forma viene dado por la comparación de la forma entre los bienes transportados G y las mercancías ilegales I . Donde será 1 si la forma de G es parecida o igual a la forma de I y 0 si no.

El siguiente factor es el factor de peso que viene dado por:

$$F_w = \frac{I_w}{W_G} \quad (4)$$

Donde W_G es el peso de los bienes transportados y I_w es el peso de las mercancías ilegales.

Para el factor de materiales se tiene la siguiente ecuación:

$$F_m = \frac{FaG_{(6MeV)}FaG_{(10MeV)}}{FaI_{T(6MeV)}FaI_{T(10MeV)}} \quad (5)$$

Donde FaG y FaI_T son los coeficientes de atenuación para cada tipo de bienes y mercancías ilegales, con respecto al tipo de energía de rayos-X y asumiendo lo siguiente:

$$G = I_T, \text{ entonces } F_m = 1$$

Se utilizaron dos tipos de energías de rayos-X (6MeV y 10MeV), Usando esta propiedad, podemos

clasificar el contenido de un contenedor gracias a la imagen proporcionada por la relación de los diferentes niveles de atenuación.

El principal problema de aumentar el número de inspecciones por rayos X para garantizar en mayor medida la seguridad es la falta de recursos y tiempo ya que, aún disponiendo de ellos, no están integrados en los procesos habituales de seguridad ya que deben llevarse a espacios habilitados para este procedimiento. Cuando se selecciona un contenedor para ser escaneado o examinado mediante rayos X, es porque se tiene certeza de que se va a encontrar mercancía ilegal. En caso de que se detecte mercancía sospechosa, se procedería a la revisión física del mismo.

3 LÓGICA DIFUSA

En la evaluación del riesgo en las terminales portuarias, influyen múltiples factores difíciles de cuantificar o cuya relevancia es difícil de determinar. De igual modo, los datos utilizados no son precisos, ya que pueden provenir de información proporcionada por el lugar de origen y por tanto generados a partir de diferentes criterios o de forma incorrecta. En última instancia, es el agente de seguridad quien, a partir de estas observaciones y según su conocimiento, juicio y experiencia, toma la decisión sobre qué ha de hacerse con el contenedor.

En el desarrollo y modelado de problemas en cualquier ámbito de la ciencia a partir del conocimiento experto, es fundamental el análisis de la información y de la incertidumbre e imprecisión asociada a dicha información. Si esto se trata de forma adecuada, se obtendrán modelos fiables.

Tradicionalmente, la incertidumbre ha sido modelada a través de técnicas probabilistas, tanto exactas (Redes Bayesianas, diagramas de influencia...) como aproximadas (Método bayesiano subjetivo, factores de certeza). Sin embargo, este enfoque no es siempre acertado puesto que no toda la incertidumbre es igual: en algunos casos, esta es originada por la aleatoriedad con la que ocurren de los eventos, como es el caso del lanzamiento de una moneda; en otros casos, los eventos ni si quiera están especificados o definidos claramente. Además, este aumento de la incertidumbre viene asociado a los aumentos de complejidad del problema, cuando no es posible obtener una lista completa de todas las variables que intervienen en el problema o cuando aún conociéndose no es posible obtener los datos concretos para su estudio, pudiendo ser estos erróneos o incompletos.(Torres M. & Tranchita R., 2004)

Existen otros métodos numéricos no probabilistas para el tratamiento de la incertidumbre, como es el caso de la lógica difusa, un método de razonamiento no probabilista que puede definirse como una extensión de la lógica multivaluada que facilita enormemente el modelado de la información cualitativa de forma aproximada. Su éxito se debe principalmente a la posibilidad de resolver problemas de una gran complejidad y poco definidos que mediante métodos tradicionales son difíciles de solucionar.

Para abordar este tipo de tareas se han propuesto modelos alternativos, de los cuales las redes neuronales artificiales y los sistemas basados en lógica borrosa (fuzzy logic) son los que cuentan con mayor popularidad. Estos nuevos modelos de computación, junto con algunos otros como los algoritmos genéticos, se engloban con los términos inteligencia computacional (por oposición a la inteligencia artificial clásica, es decir, la programada), soft computing (por oposición a la hard computing convencional, basada en computadores von Neumann). El denominador común de estas nuevas técnicas es, en efecto, su inspiración en las soluciones que la naturaleza ha encontrado a lo largo de millones de años de evolución para el tratamiento del tipo de información masiva y distorsionada del entorno, soluciones que adaptadas a sistemas artificiales se espera que contribuyan a resolver importantes problemas tecnológicos (visión, habla, control de sistemas complejos, inteligencia artificial, etc.).

3.1 Origen

El concepto de Lógica Difusa fue creado por Lofti A. Zadeh, catedrático de la Universidad de Berkeley (California). Según Zadeh argumentaba en su artículo "Outline of a New Approach to the analysis of complex systems and decision processes", (L. A. Zadeh, 1973) las técnicas cuantitativas de análisis de sistemas entonces convencionales son intrínsecamente inadecuadas para afrontar sistemas "humanistas" o sistemas de una complejidad similar. Con ello se refiere a aquellos sistemas cuyo análisis se vale del juicio humano o de su percepción, como aquellos que representan la esfera socioeconómica, política, educativa o la diseminación de la información.

Según enuncia el principio de incompatibilidad, según aumenta la complejidad de un sistema, con mayor dificultad puede describirse su comportamiento de forma precisa: "Cuando aumenta la complejidad, los enunciados precisos pierden su significado y los enunciados útiles pierden precisión"(L. A. Zadeh, 1982)

De esta forma, propone un enfoque alternativo basado en las premisas de que los elementos clave en el pensamiento humano no son números, sino categorías difusas sin límites definidos, entre las cuales la transición no es abrupta, sino gradual. Argumenta que, de hecho, el razonamiento humano es tan abstracto que no se corresponde ni con la lógica bivaluada tradicional, ni con la lógica multivaluada,

sino más bien en verdades difusas, conexiones difusas, y reglas de inferencia difusas.

Para muchos propósitos, una caracterización aproximada de un conjunto de datos es suficiente porque la mayoría de las tareas básicas realizadas por humanos no requieren un alto grado de precisión para su ejecución. El cerebro humano se aprovecha de esta tolerancia a la imprecisión codificando la información relevante en etiquetas de conjuntos difusos que guardan una relación aproximada con los datos iniciales. De esta manera, según expone, la corriente de información que alcanza el cerebro de forma visual, auditiva, táctil y de otras maneras se reduce a apenas un hilo de información necesario para llevar a cabo la tarea especificada con un mínimo grado de precisión. Por tanto, la habilidad para manipular conjuntos difusos y la consiguiente capacidad para sintetizar constituye uno de los atributos más importantes de la mente humana, además de la característica fundamental que distingue la inteligencia humana del tipo de inteligencia incorporada en los computadores de la época.

Para enfrentarse a esos problemas de forma realista, se necesitan enfoques que no se centren en la precisión, rigor y formalismos matemáticos, sino que por el contrario empleen una metodología tolerante con la imprecisión y las verdades parciales.

Para solucionar este problema, plantea la necesidad de obtener herramientas capaces de manejar de forma fiable información imprecisa, lo cual obliga a desarrollar aspectos que constituirán la base de la metodología, como el uso de las llamadas "variables lingüísticas", la caracterización de relaciones simples entre variables con proposiciones condicionales y la caracterización de relaciones complejas mediante algoritmos difusos.

3.2 Conjuntos difusos y variables lingüísticas

Zadeh propone en 1965 por primera vez la noción de conjunto difuso en su artículo "Fuzzy Sets"(L. a. Zadeh, 1965) entendido como una clase a la cual puede pertenecerse según grados de pertenencia continuos. Zadeh expone que es precisamente la forma de procesar estos conjuntos difusos lo que permite a la razón humana hacer abstracciones, reconocer patrones o comunicarse. Por tanto, toma esta noción como punto de partida para la construcción de un marco conceptual, que, compartiendo principios con el marco convencional (la lógica clásica), amplía potencialmente su ámbito de aplicación.

Los conceptos se asocian a conjuntos difusos en un proceso llamado fusificación. En este proceso, se le otorga al concepto un grado de pertenencia entre 0 y 1 a los conjuntos difusos considerados, en contraposición a la teoría clásica de conjuntos según la cual solo se contemplaba la pertenencia o no pertenencia a un conjunto. De esta forma, los conjuntos convencionales, según argumenta Zadeh, pueden verse como un caso particular de los conjuntos difusos.

3.3 Inferencia difusa

Para obtener el valor de salida a partir de un valor de entrada empleando la teoría de conjuntos difusos pueden utilizarse diferentes tipos de inferencia como Mamdani, TSK o ANFIS. A continuación, se describe el método Mamdani, caracterizado por cuatro pasos:

1. *Fusificación:*

El objetivo de la fusificación es convertir los valores reales de entrada en valores difusos. En la fusificación se asignan grados de pertenencia, de cero a uno, a cada una de las variables de entrada con relación a los conjuntos difusos previamente definidos utilizando las funciones de pertenencia asociadas a los conjuntos difusos. El valor real de entrada, llamado crisp, naturalmente estará delimitado en el llamado “universo del discurso” de la variable, que comprende todos los valores posibles de entrada. De este modo cada entrada se proyecta sobre todas las funciones de pertenencia utilizadas en las reglas difusas.

2. *Evaluación de la base de reglas:*

La base de reglas es la forma según la cual el sistema difuso recoge el conocimiento experto con el que resolver el problema para el que ha sido diseñado. Estas reglas son del tipo SI-ENTONCES y tienen dos partes: el antecedente y el consecuente, datos por expresiones lingüísticas. Tomamos las entradas anteriores y se aplican a los antecedentes de las reglas difusas. Si una regla tiene múltiples antecedentes, se utiliza el operador AND u OR para obtener un único número que represente el resultado de la evaluación. Este número (el valor de verdad) se aplica al consecuente. Para evaluar la disyunción (operador OR) habitualmente se emplea la T-Conorma estándar (máximo), definida como: $A[B(x) = \max [A(x); B(x)]$. De igual forma, para el AND se usa habitualmente la T-Norma estándar del mínimo: $A[B(x) = \min [A(x); B(x)]$.

Finalmente, el resultado de la evaluación del antecedente se aplica al consecuente, aplicando un recorte o escalado según el valor de verdad del antecedente. El método más comunmente utilizado es el recorte (clipping) que corta el consecuente con el valor de verdad del antecedente.

3. *Agregación de las salidas:*

La agregación es el proceso de unificación de las salidas de todas las reglas; es decir, se combinan las funciones de pertenencia de todos los consecuentes previamente recortados o escalados, combinando para obtener un único conjunto difuso por cada variable de salida.

4. *Defusificación:*

El resultado final habitualmente es necesario expresarlo mediante un valor crisp. En esta etapa se toma como entrada el conjunto difuso anteriormente obtenido para dar un valor de salida. Existen varios

métodos de defusificación, pero probablemente el más ampliamente usado es el centroide; que calcula el punto donde una línea vertical divide el conjunto en dos áreas con igual masa. (González Morcillo, 2011).

4 ESTRATEGIA DE INSPECCIÓN

Aunque proporcionen un marco normativo y de recomendaciones, las normas mencionadas en la introducción no especifican la estrategia a seguir por el control aduanero. Todos los controles aduaneros se basan en el artículo 13 del Código Aduanero, que establece que cada estado miembro puede llevar a cabo todos los controles que considere necesarios. Las inspecciones aduaneras se basan en análisis de riesgos, donde se tienen en cuenta factores como el país de origen o el importador, o el análisis de la declaración sumaria de entrada. La autoridad portuaria puede decidir utilizar procedimientos simplificados, bajo determinadas condiciones y después de evaluar la fiabilidad del operador. Es habitual que los contenedores pasen por un control inicial de apenas segundos, donde se determine si son aceptados en la terminal o si debe realizarse un control documental donde se exigen facturas, seguros y otro tipo de documentos. Los que no superen este último control serán sometidos a inspección física. Las autoridades aduaneras no pueden verificar la totalidad de las mercancías en tránsito. Esta inspección se realiza por medio de escáneres principalmente para evitar abrirlos de forma innecesaria, produciendo retrasos y cargos innecesarios para el propietario del contenedor. La imagen obtenida se coteja con la mercancía declarada, y en caso no corresponderse o detectarse mercancía ilegal, se procede a la revisión manual.

Cada autoridad aduanera tiene sus propias modalidades. Además, existen distintas formas de simplificar los procedimientos y diferencias de velocidad, calidad e incidencia de los procedimientos de control aduanero. En 2016, el Tribunal de Cuentas europeo publicó un estudio (Tribunal de Cuentas Europeo, 2016) en el cual también evaluaba si las diferencias en la organización, la calidad y la rapidez

de los controles aduaneros hacían a algunos puertos más «atractivos» que otros para las compañías navieras mundiales. Por ejemplo, varios Estados miembros como Bélgica, Dinamarca, los Países Bajos, el Reino Unido, Finlandia o Suecia renunciaban sistemáticamente a la obligación de notificar a las autoridades aduaneras la llegada de las mercancías o la intención de despacharlas. Sin embargo, esto debería hacerse únicamente caso por caso, tras un análisis de riesgos meticuloso.

Con el objetivo de encontrar un compromiso entre seguridad y eficiencia, a lo largo de los últimos años se han realizado diversos estudios lo cuales (Morales, 2017) recoge en su artículo. A la literatura existente en ese campo, (Morales, 2017) aporta la introducción del pesaje de contenedores en la estrategia de inspección.

En el siguiente apartado se describen las dos estrategias a comparar: en primer lugar, la estrategia basada en lógica clásica y en segundo lugar, la estrategia basada en lógica difusa.

4.1 Estrategia basada en lógica clásica

Esta estrategia de inspección cuenta con dos nodos, representados en la figura 4, en los cuales, para resolver la dicotomía, se evalúa un único parámetro. Para este parámetro se define un rango estricto de valores para el cual el contenedor se clasifica como sospechoso, y para el rango complementario de valores, se clasifica como libre.

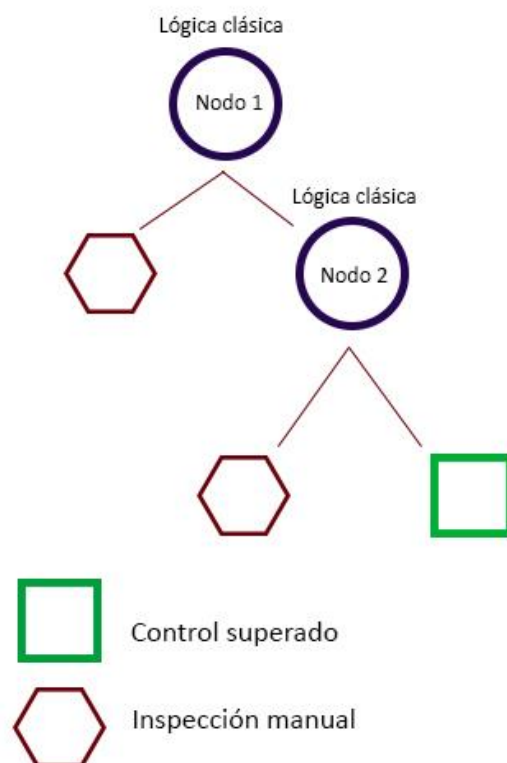


Figura 4: Diagrama de la estrategia con lógica clásica

Nodo 1:

En este nodo se comprueba el estado del contenedor, transmitido por los precintos RFID, que indican si el contenedor ha sido abierto durante el trayecto o no. En caso de indicar haber sido abierto, se procede automáticamente a su inspección manual. En caso de no haber sido abierto, continúa al siguiente nodo.

Nodo 2:

En este nodo, la clasificación se realiza en función del resultado del test de rayos X. Para un valor inferior igual a 0, el contenedor se considera seguro y se clasifica como libre. Este resultado indica que no se ha detectado ningún objeto que coincida en forma o material con una mercancía ilegal. Para un valor superior a 125, que es el límite a partir del cual el algoritmo difuso calificaba al contenedor como dudoso o intermedio en mayor medida que seguro, el contenedor se clasifica como sospechoso y se procede a su inspección manual. Para un valor entre 0 y 125, no se tiene información certera del contenido del contenedor. Esto se debe a que se considera que, cuando el examen da este rango de valores, la detección ha podido ser errónea al confundir una mercancía legal de pequeño tamaño con forma y material parecido al de una mercancía ilegal. En este caso, la clasificación dependerá del agente de aduanas encargado.

4.2 Estrategia basada en lógica difusa

El artículo (Morales, 2017) desarrolla una nueva estrategia de inspección en forma de árbol de decisión basada en lógica difusa. Esta estrategia tendrá en cuenta los siguientes valores: resultados procedentes de tecnologías de sensores RFID para la evaluación del estado del contenedor (abierto o cerrado en ruta), porcentajes de confianza de los países de origen de los contenedores y porcentajes de confianza de los transportistas-puerto de carga, para conseguir con ellos los índices de seguridad de los contenedores, las tecnologías de rayos X para inspecciones no intrusivas y el uso de sensores de peso utilizados para comparar los pesos proporcionados por la documentación en el origen y los obtenidos en la terminal de destino, suponiendo esto una nueva aportación. El control de seguridad consta de tres nodos, representados en la figura 5, donde se clasifica el contenedor según si es seguro, y admitido en la terminal; sospechoso, y debe pasar a una inspección manual; o si debe continuar al siguiente nodo para ser analizado más a fondo. Esto, junto al uso de tecnologías RFID, que podrán determinar si el contenedor ha sido abierto o no en la ruta; la puntuación de seguridad de los contenedores, basada en un análisis de riesgo y un análisis por rayos X, permite minimizar el número de contenedores a ser inspeccionados manualmente de forma errónea y detectar el máximo número de contenedores ilegales.

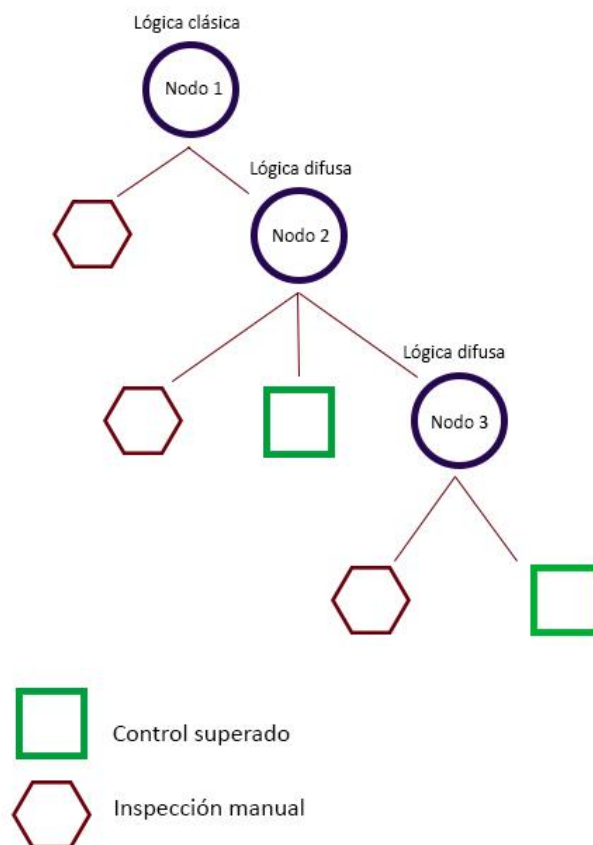


Figura 5: Diagrama de la estrategia de inspección con lógica difusa

En el primer nodo se comprueba el estado del contenedor, transmitido por los precintos RFID, que indicarían si el contenedor ha sido abierto en ruta o no. En caso de indicar haber sido abierto, se procede automáticamente a su inspección manual. En caso de no haber sido abierto, continua al siguiente nodo, en el cual se evaluará su puntuación de seguridad y la variación entre el peso tomado en la terminal de origen y el peso tomado en la terminal de destino. En el tercer nodo, se evaluarán estos dos factores junto al resultado de un examen por rayos X, determinando cuáles deberán pasar por la inspección manual y cuales serán admitidos. Para modelar el proceso de clasificación en los nodos 2 y 3, el artículo (Morales, 2017) desarrolla un algoritmo basado en lógica difusa descrito en el apartado siguiente.

En el nodo 1 se analiza la totalidad de los contenedores que llegan de forma telemática, lo cual no aumenta el tiempo de manejo ni con ello sus costes. Así, se reduce el número de contenedores a pasar por el nodo 2 para ser pesados y analizados según la puntuación de seguridad. Según se expone en el artículo, pesar en contenedor en la terminal de destino no aumenta el tiempo de manejo ya que la terminal cuenta con suficientes equipos de pesaje. A esta asunción se le podría añadir el requisito de

que, además, el equipo de izaje contase con instrumentos de medición incorporados.

A continuación, se detalla el proceso de decisión en cada nodo:

Nodo 1:

En el primer nodo se hace una división entre los contenedores según si el precinto RFID da señal de haber sido forzado y abierto o si el precinto se mantiene intacto (lógica clásica).

Nodo 2:

Para determinar el resultado de la clasificación, en este nodo se analizan dos variables de entrada reales asociadas al contenedor: su variación de peso (W) y su índice de seguridad (SI). Los conjuntos difusos definidos son:

Para la variación de peso (W):

$$-R \quad \text{si el contenedor } C_j \text{ pesa menos } (W_{1j} \leq W_{0j} - \tau) \quad (1)$$

$$Z \quad \text{si el peso del contenedor } C_j \text{ no varió } (|W_{0j} - W_{1j}| < \tau) \quad (2)$$

$$+R \quad \text{si el contenedor } C_j \text{ pesa más } (W_{1j} \geq W_{0j} + \tau) \quad (3)$$

El índice de seguridad del contenedor *SI* sera:

$$S \quad \text{Si la puntuación de seguridad del contenedor } C_j \text{ es alta, segura} \quad (4)$$

$$Z \quad \text{Si la puntuación de seguridad del contenedor } C_j \text{ es intermedia} \quad (5)$$

$$R \quad \text{Si la puntuación de seguridad del contenedor } C_j \text{ es baja, de riesgo} \quad (6)$$

El resultado pertenecerá según cierto grado a los conjuntos difusos no sospechoso (P), probablemente sospecho (Sc) o sospechoso (M).

Siguiendo el método de inferencia difusa de Mandami (L. A. Zadeh, 1973), se sigue el siguiente procedimiento:

- 1) Fusificación: A los valores reales de entrada, W y SI, se les asignan grados de pertenencia a los conjuntos difusos definidos mediante las funciones de pertenencia, con el objetivo de convertir los valores de entrada reales a valores difusos. En las figuras 6 y 7 se muestran,

respectivamente, las funciones utilizadas para representar los grados de pertenencia asociados a los conjuntos difusos del índice de seguridad y de la variación de peso.

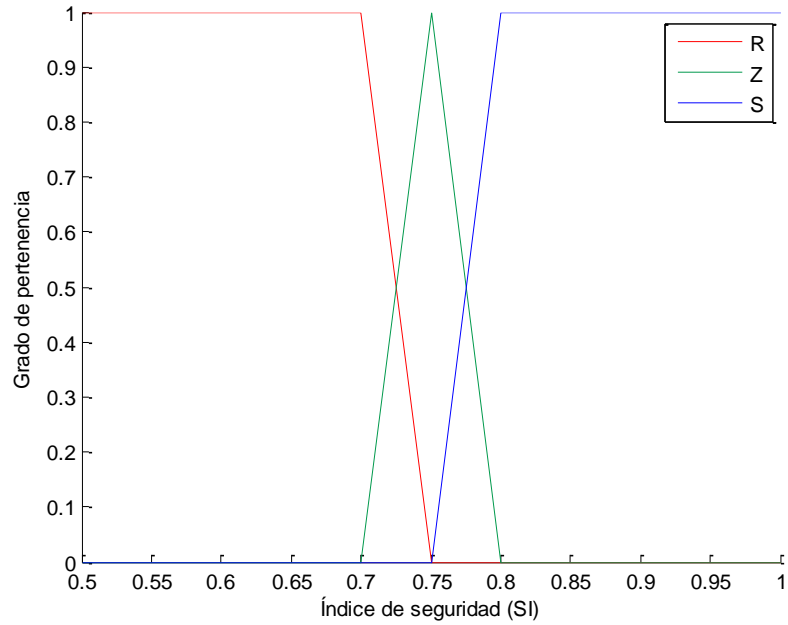


Figura 6: Funciones de pertenencia para el índice de seguridad

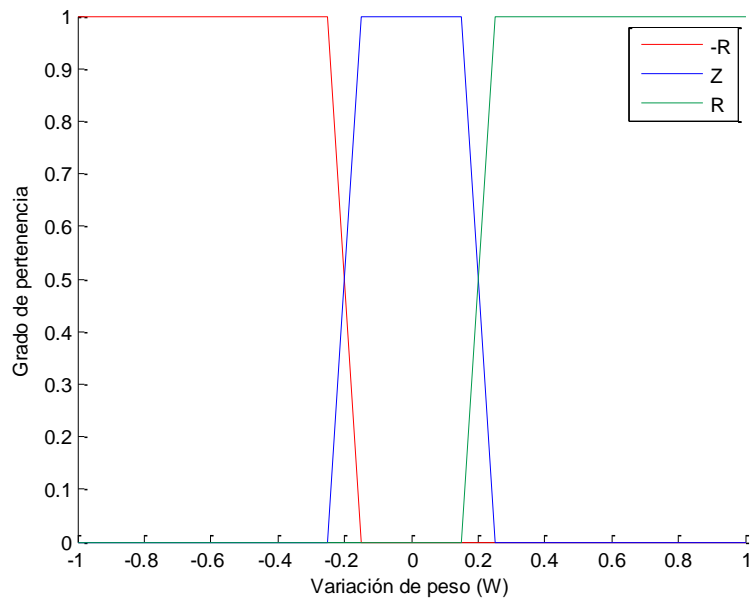


Figura 7: Funciones de pertenencia para la variación de peso

- 2) Evaluación de la base de reglas: A continuación, aplicando las reglas, se obtiene un grado de pertenencia a cada conjunto de salida. La matriz de reglas aplicadas en el nodo 2 tienen dos antecedentes con el operador AND. Para evaluar esta conjunción, se aplica el mínimo de ambas al consecuente.

R1: If $W = -R$ and $SI = S$ then output = Sc

R2: If $W = Z$ and $SI = S$ then output = P

R3: If $W = +R$ and $SI = S$ then output = Sc

R4: If $W = -R$ and $SI = Z$ then output = Sc

R5: If $W = Z$ and $SI = Z$ then output = Sc

R6: If $W = +R$ and $SI = Z$ then output = Sc

R7: If $W = -R$ and $SI = R$ then output = M

R8: If $W = Z$ and $SI = R$ then output = Sc

R9: If $W = +R$ and $SI = R$ then output = M

- 3) Agregación de las salidas: Para unificar todas las salidas y obtener un único valor de pertenencia a cada conjunto difuso. Para ello, se aplica el método RSS (Root sum square):

$$Sc = \sqrt{(R_1^2 + R_3^2 + R_4^2 + R_5^2 + R_6^2 + R_8^2)} \quad (7)$$

$$P = \sqrt{(R_2^2)} \quad (8)$$

$$M = \sqrt{(R_7^2 + R_9^2)} \quad (9)$$

- 4) Defusificación: Para expresar el resultado final mediante un valor real a partir de los grados de pertenencia a los conjuntos de salida obtenidos, se aplica la defusificación. La figura 8 muestra las funciones de pertenencia asociadas a los conjuntos de salida. Existen varios métodos de defusificación, para el cuál se ha escogido una simplificación del método del centroide, según el cual se obtiene el centro del área bajo la curva de las funciones de pertenencia agregadas (Tóth-Laufer & Takács, 2012), donde B es el resultado de la agregación de las matrices de reglas para cada conjunto:

$$y = \frac{\int_{y \in B^*} B^*(y) y dy}{\int_{y \in B^*} B^*(y) dy}$$

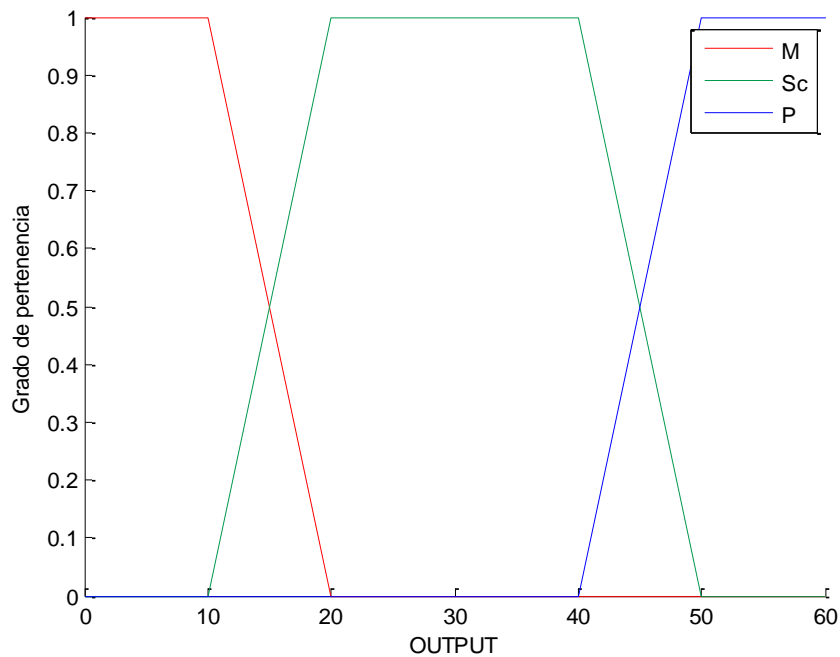


Figura 8: Funciones de pertenencia de salida (nodo 2)

La función utilizada para la simplificación:

$$y = \frac{Sc * centro_{Sc} + P * centro_P + M * centro_M}{Sc + P + M}$$

Donde $centro_{Sc} = 30$, $centro_M = 0$ y $centro_P = 60$, resultando la ecuación en:

$$y = \frac{Sc * centro_{Sc} + P * centro_P}{Sc + P + M}$$

Nodo 3:

En el nodo 3, se procede de forma idéntica:

Para determinar el resultado de la clasificación, en este nodo se analizan de nuevo las variables de entrada variación de peso (W) e índice de seguridad (SI), y se añade el resultado del análisis mediante rayos X (Se). Además de los conjuntos difusos anteriores, se tiene:

S Si el resultado del análisis considera al contenedor C_j seguro (10)

Z Si el resultado del análisis considera al contenedor C_j intermedio (11)

R Si el resultado del análisis considera al contenedor C_j de riesgo (12)

El resultado pertenecerá según cierto grado a los conjuntos no sospechoso (P) o sospechoso (M). Siguiendo de nuevo el método de inferencia difusa de Mandami, se sigue el siguiente procedimiento:

- 1) Fusificación: Al nuevo valor real de entrada, Se , se le asigna grados de pertenencia a los conjuntos difusos definidos mediante las funciones de pertenencia a los conjuntos, con el objetivo de convertir el valor real a valores difusos. La figura 9 muestra dichas funciones de pertenencia.

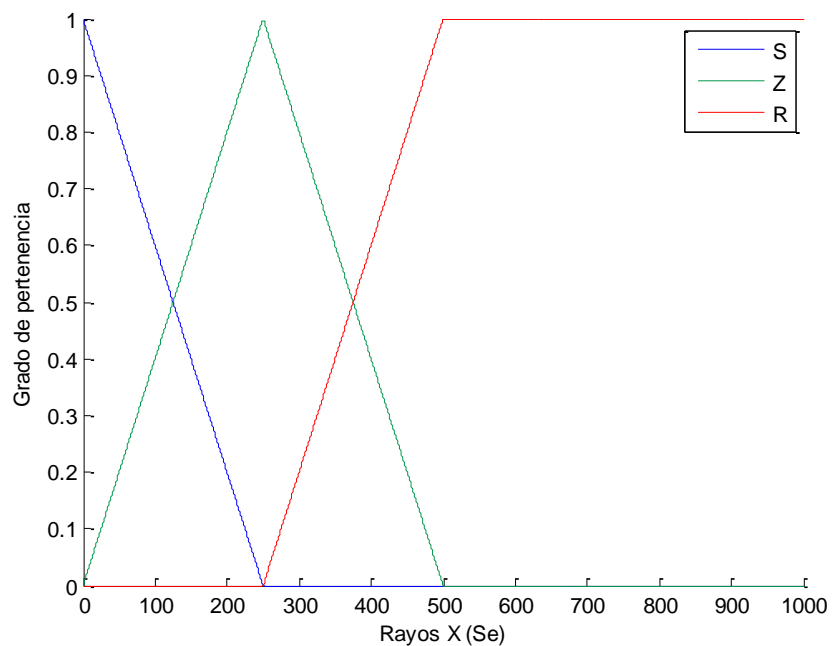


Figura 9: Funciones de pertenencia del resultado de rayos X

- 2) Evaluación de la base de reglas: A continuación, aplicando las reglas, se obtiene un grado de pertenencia a cada conjunto de salida. La figura 10 muestra las funciones de pertenencia a dichos conjuntos de salida:

R11: If $Se = R$ and $W = -R$ and $SI = S$ then output = M
 R12: If $Se = R$ and $W = Z$ and $SI = S$ then output = M
 R13: If $Se = R$ and $W = +R$ and $SI = S$ then output = M
 R14: If $Se = R$ and $W = -R$ and $SI = Z$ then output = M

R15: If Se = R and W = Z and SI = Z then output = M
 R16: If Se = R and W = +R and SI = Z then output = M
 R17: If Se = R and W = -R and SI = R then output = M
 R18: If Se = R and W = Z and SI = R then output = M
 R19: If Se = R and W = +R and SI = R then output = M
 R21: If Se = Z and W = -R and SI = S then output = P
 R22: If Se = Z and W = Z and SI = S then output = P
 R23: If Se = Z and W = +R and SI = S then output = P
 R24: If Se = Z and W = -R and SI = Z then output = M
 R25: If Se = Z and W = Z and SI = Z then output = P
 R26: If Se = Z and W = +R and SI = Z then output = M
 R27: If Se = Z and W = -R and SI = R then output = M
 R28: If Se = Z and W = Z and SI = R then output = P
 R29: If Se = Z and W = +R and SI = R then output = M
 R31: If Se = S and W = -R and SI = S then output = P
 R32: If Se = S and W = Z and SI = S then output = P
 R33: If Se = S and W = +R and SI = S then output = P
 R34: If Se = S and W = -R and SI = Z then output = P
 R35: If Se = S and W = Z and SI = Z then output = P
 R36: If Se = S and W = +R and SI = Z then output = P
 R37: If Se = S and W = -R and SI = R then output = M
 R38: If Se = S and W = Z and SI = R then output = P
 R39: If Se = S and W = +R and SI = R then output = M

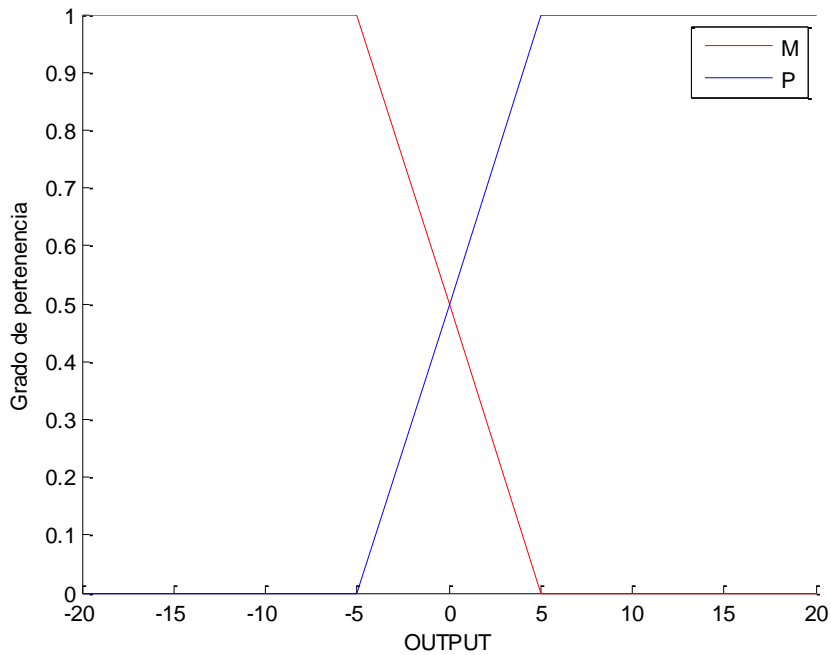


Figura 10: Funciones de pertenencia de salida (nodo 3)

- 3) Agregación de las salidas: Para unificar todas las salidas y obtener un único valor de pertenencia a cada conjunto difuso. Para ello, se aplica el método RSS (Root sum square):

$$M = \sqrt{\left(R_{11}^2 + R_{12}^2 + R_{13}^2 + R_{14}^2 + R_{15}^2 + R_{16}^2 + R_{17}^2 + R_{18}^2 + R_{19}^2 \right.} \quad (13)$$

$$\left. + R_{24}^2 + R_{26}^2 + R_{27}^2 + R_{29}^2 + R_{37}^2 + R_{39}^2 \right)$$

$$P = \sqrt{\left(R_{21}^2 + R_{22}^2 + R_{23}^2 + R_{25}^2 + R_{28}^2 + R_{31}^2 + R_{32}^2 \right.} \quad (14)$$

$$\left. + R_{33}^2 + R_{34}^2 + R_{35}^2 + R_{36}^2 + R_{38}^2 \right)$$

- 4) Defusificación: Para expresar el resultado final mediante un valor real a partir de los grados de pertenencia a los conjuntos de salida obtenidos, se aplica la defusificación mediante el método simplificado del centroide:

$$y = \frac{P * centro_P + M * centro_M}{P + M}$$

Donde $centro_{Sc} = -20$ y $centro_M = 20$

5 SIMULACIÓN

Para comparar las dos estrategias descritas en el apartado anterior, se han implementado dos modelos de simulación en Arena que representan la trayectoria de un contenedor desde su descarga hasta que completa el control de seguridad.

La simulación de eventos discretos representa la forma de operación de un sistema como una secuencia de eventos en el tiempo. Cada evento ocurre en un instante particular de tiempo y determina un cambio de estado del sistema. Entre eventos consecutivos, se asume que no se han dado cambios en el sistema y por tanto la simulación puede avanzar en tiempo desde un evento al siguiente.

Este enfoque contrasta con el de la simulación continua, en la que la simulación hace un seguimiento de la evolución del sistema a lo largo de cada instante de tiempo.

El estado de un sistema es un conjunto de datos que recoge las variables relevantes del sistema y permite describir su evolución en el tiempo. Por tanto, este se define de diversas formas en función de las necesidades del modelo y el nivel de detalle que permite el modelo.

Por ejemplo, si se considera una máquina, alimentada por un almacén de materia prima de trabajos. Un estado inicial del sistema es el número de trabajos en el almacén, pero esta manera de definir el estado no permite calcular los tiempos de espera, porque no se mantiene la identidad de cada trabajo individual. Para poder calcular los tiempos de entrega, se podrían considerar los distintos clientes en una cola con datos asociados a cada uno de ellos, como los tiempos de llegada de los clientes.

La evolución del estado a lo largo del tiempo se define de forma abstracta como una función de escalón, donde los saltos se producen con dichos eventos discretos que producen cambios de estado en instantes de tiempo particulares.

Aunque su implementación por ordenador varíe en función del simulador, el concepto es similar: un evento es una estructura de datos que siempre contiene información sobre el tiempo de ocurrencia. Por otra parte, la "ocurrencia" de un evento en un simulador de eventos discretos se implementa como la ejecución de cierto código en el tiempo de ocurrencia denominado procedimiento. Cuando el procedimiento se ejecuta, se dice que el evento ha sido procesado o ejecutado.

La evolución de cualquier modelo de SED está gobernada por un reloj y por una lista de eventos ordenados cronológicamente. Programar los eventos significa enlazar los eventos con esta lista, de tal forma que cuando ocurre el evento, se desliga.

Una característica esencial de la simulación de eventos discretos es que nada hace cambiar el estado a menos que ocurra un evento, momento en el cual se hace una transición de estado.

A rasgos generales, un simulador ejecuta el siguiente algoritmo:

1. Fijar el reloj de simulación en un tiempo inicial, normalmente cero y generar uno o más eventos iniciales y programarlos.
2. Si la lista de eventos está vacía, termina la ejecución de la simulación. De lo contrario, encuentra el evento inminente y lo desliga de la lista de eventos.
3. Adelanta el reloj de simulación al tiempo del evento inminente y lo ejecuta. (El evento puede parar la simulación).
4. Vuelta al paso segundo.

Si bien este algoritmo se trata de una simplificación, su verdadera complejidad se esconde en las rutinas que implementan la ejecución de los eventos y las estructuras utilizadas.

(Para más detalles se puede consultar Fishman 1973, Banks et al. 1999, y Law and Kelton 2000.)

5.2 Simulación con Arena y VBA

Arena opera con dos tecnologías de Microsoft que están diseñadas para realzar aplicaciones de escritorio: la primera es Active X Automation, que proporciona las funciones de control mediante un entorno de trabajo al cual se accede mediante un lenguaje de programación. Por otra parte, VBA es un lenguaje de programación implementado en el entorno de Arena para escribir código procedimental como apoyo a las funciones de programación visual de Arena. La programación procedimental

implementa complejos algoritmos mucho más eficientes que la programación visual. Usando VBA se puede aprovechar la capacidad integrativa de las tecnologías de Microsoft e interactuar con aplicaciones como Excel, Visio, etc. desde Arena.

Al entorno de programación de VBA puede accederse mediante Tools, Macro y haciendo clic en Show Visual Basic Editor. Esta opción permite que se abra una ventana que muestra el código de VBA, los formularios, y la interfaz para depuración. Aquí pueden escribirse varios tipos de código VBA:

1. Código a ejecutar como respuesta a la ocurrencia de eventos, como el inicio de la simulación o el fin de la simulación.
2. Código de propósito general que se ejecuta en un bloque concreto de arena: VBA Block. Este se ejecuta cada vez que una entidad entra en el bloque.

Los tipos de acción que una aplicación soporta se define por lo que se denomina el "*modelo de objeto*". Los desarrolladores de un programa construyen este modelo para proporcionar una interrelación tal que los lenguajes de programación puedan hacer que la aplicación haga lo que el usuario haría interactivamente con el teclado y el ratón.

El modelo de objeto incluye:

- 1) Una lista de objetos de aplicación que pueden ser controlados: por ejemplo, un documento de excel
- 2) Las propiedades de esos objetos que pueden ser examinadas o modificadas. Por ejemplo, el nombre de un documento, el valor de una celda.
- 3) Los "métodos" o acciones que pueden realizarse con un determinado objeto. Por ejemplo, borrar un documento, crear una tabla o agrupar celdas.

Cuando se instala una aplicación que tiene un modelo de objeto, este queda registrado añadiéndose a la lista de modelos de objeto disponible en el ordenador. De esta forma, si se está utilizando algún lenguaje de programación y se desea acceder a las funcionalidades de la aplicación, puede establecerse una referencia a su modelo de objeto y programar sus objetos directamente sin la interfaz visual. En el procedimiento de construcción del código para la simulación se explicará en detalle cómo hacerlo para el caso del Microsoft Excel. Algunos ejemplos de aplicaciones que admiten este tipo de programación son Microsoft Office, AutoCad y Visio, que pueden ser programados usando lenguajes como C++, VB o Java.

Arena incluye una librería tipo que contiene las descripciones de todos los elementos o constructos, como las propiedades, métodos, eventos, constantes y todo aquello accesible desde VBA. El usuario

puede acceder a ella para hacer consultar sobre el uso de los elementos. Para utilizar esta librería, ha de ser referenciada por el entorno de programación.

En concreto, la librería de Arena ya viene referenciada por defecto, pero en caso de desvincularse o en caso de que con el código se pretenda acceder a objetos de Excel, Visio...sería necesario referenciar sus librerías de objetos de igual modo. La referencia a la librería se hace desde el editor de Visual Basic del siguiente modo:

- 1) Selecciona la opción Referencias (References) del menú de Herramientas (Tools)
- 2) En la lista de referencias disponibles, haz clic en la librería en cuestión y en OK.

El modelo de objeto de Arena contiene las siguientes categorías de objetos:

Model-Window object:

Son todos los elementos que pueden situarse en la ventana que recoge el modelo de arena o que pueden ser visualizados a través de las tablas de datos. Módulos, conexiones, líneas, textos, animaciones, forman parte de esta categoría.

Objeto SIMAN:

Los objetos SIMAN de Arena se utilizan para acceder a información sobre el modelo mientras este se está ejecutando. Pueden obtener mediante cada correspondiente método de acceso valores de variables o de atributos o información del modelo como el número de réplica, tiempo actual. El objeto SIMAN también se usa para acceder a la información de las variables SIMAN (NSYM, AQUE, NQ, NR, MR..etc) o modificar el modelo mediante funciones que inserten o eliminen nuevas entidades. La clave para acceder al objeto SIMAN es que el modelo debe estar ejecutándose. Ejemplos son: valores de las variables, capacidad de los recursos, longitud de colas, tiempo de simulación actual.

(Kelton, 2015)

Empezar a escribir el código:

Como se definió en apartados anteriores, un evento es un procedimiento que cambia el estado del modelo en cierto instante de la simulación.

Al inicio de la simulación, Arena ejecuta una serie de procedimientos predeterminados de manera automática, aunque no necesariamente en todos se ha debido escribir código. Si no se ha hecho, simplemente no se tomará ninguna acción en concreto.

El objeto ThisDocument contiene esa colección de eventos estándares a los que se les puede incluir código. Para hacerlo, se selecciona el objeto ModelLogic en el editor de Visual Basic (en el desplegable a la izquierda) y el evento a programar deseado (de la lista de Procedures a la derecha)

Una de las primeras decisiones a tomar es en qué procedimiento va a incluirse el código, de manera que este se ejecute en el momento adecuado. Los procedimientos se clasifican en tres categorías generales:

- Eventos previos al inicio de la simulación (DocumentOpen, DocumentSave)
- Eventos que ocurren durante la simulación (RunBeginSimulation, RunEndSimulation)
- Eventos generados por el usuario y que ocurren durante la simulación (VBA_Block_Fire, OnFileRead)

Un aspecto importante a tener en cuenta sobre qué código se incluye en cada procedimiento, es que no siempre el mismo tipo de datos está disponible para el código de VBA: En el estado de edición, previo a la puesta en marcha de la simulación, puede accederse a la estructura del modelo de manera que sólo se puede trabajar con los valores de cada campo de los módulos.

Cuando se pone en marcha la simulación, el modelo pasa al estado de ejecución. Arena revisa e inicializa el modelo, traduciendo la información provista en los módulos al formato requerido para el funcionamiento de la simulación. En este estado, puede accederse y modificarse los valores de las variables, estados de los módulos de recursos, estadística... Al final de la simulación, esta información se destruye y se vuelve al estado de edición, por lo que habrá sido conveniente haber guardado la información generada durante la simulación. En apartados posteriores se profundizará en este tema.

Los procedimientos más habituales son, todos recogidos en el objeto ThisDocument:

ModelLogic_RunBegin: se llama antes de chequear el modelo. Aun no se ha iniciado la simulación ni creado ninguna entidad. En este momento pueden hacerse modificaciones en el modelo (por ejemplo, el valor de los campos de los módulos), pero no modificar valores propios de la simulación, como variables o atributos de las entidades).

ModelLogic_RunBeginSimulation: se llama justo antes de la primera réplica y se ejecuta una sola vez en el transcurso de la simulación. En este momento puede obtenerse datos externos, de otras aplicaciones (ej: Excel, Access) o mostrar formularios. Además, pueden crearse entidades o modificarse capacidades de recursos o asignar valores a las variables.

ModelLogic_RunBeginReplication: se llama justo antes del comienzo de cada réplica definida para la simulación. Después de que este evento se ejecute, Arena pone en marcha la simulación.

ModelLogic_RunEndReplication: se llama cuando la réplica se completa. Sin embargo, si la simulación termina de forma forzada, este evento no se ejecuta.

ModelLogic_RunEndSimulation: Se llama después de que la última réplica finalice. Este

procedimiento suele contener código que accede a los datos generados durante la simulación y los escribe en bases de datos o tablas.

Tras este procedimiento, se vuelve al estado de edición y se borran los datos generados durante la simulación.

ModelLogic_RunEnd: Al igual que ocurría en el evento "RunBegin", la información recién generada durante la simulación vuelve a no estar disponible, pero si el resto de funciones de VBA.

Durante la simulación, pueden llamarse otro tipo de procedimientos:

ModelLogic_Block_N_Fire: Este procedimiento se ejecuta cuando una entidad entra en un bloque de visual basic, incorporado al modelo desde el panel de bloques. Cuando una entidad llega a un bloque de Visual Basic, el control de la entidad se cede al procedimiento Sub codificado. El VBA Cookie number especificado en el bloque es único para cada bloque de VBA del modelo, y su procedimiento Sub se crea en el editor de Visual Basic para cada bloque. Por tanto, un bloque con el valor de Cookie 1, tendrá su procedimiento correspondiente en el editor llamado VBA_Block_1_Fire (and an Object entry named VBA_Block_1 in the code editor).

Editar un bloque de VBA es algo diferente a editar otro módulo ya que al hacer doble clic en el bloque no se muestra la ventana de edición de modulo sino el editor de Visual Basic a la altura del código asociado a ese bloque.

A continuación, se describen tres métodos de la librería de Arena habituales para la manipulación de entidades y atributos en los bloques VBA.

Método **ActiveEntity**: *ActiveEntity () As Long*

Devuelve la ubicación de la entidad activa, es decir, la que se encuentra en el bloque de VBA en el momento de la ejecución del procedimiento. Este método es especialmente útil para acceder a los atributos de dicha entidad.

Método **EntityAttribute**: *EntityAttribute (ubicación As Long, número_de_atributo As Long) As Double*.

Establece o recoge el valor del atributo [numero de atributo] para una entidad en cierta ubicación.

Método **SymbolNumber**: *SymbolNumber (nombre_de_elemento As String) As Long*

Todos los elementos de la simulación tienen un número único necesario para referirse a ellas en otros métodos del objeto SIMAN. Como no es habitual conocer ese número, se usa este método, que devuelve el número del elemento con nombre indicado en el argumento. Así, es más frecuente utilizar en *SymbolNumber("NombreDelElemento")* en aquellos argumentos donde se requiera un número de elemento.

5.3 Resolución del problema: Modelos de simulación

A continuación, se detallan los modelos planteados para la comparación de las estrategias descritas en el apartado 3. Se detallan los módulos utilizados y su papel en el modelo, ya que estos pueden representar un proceso físico o lógico. Ambos modelos se encuentran vinculados mediante código de Visual Basic a un archivo de Microsoft Excel que contiene los datos proporcionados para el estudio.

5.3.1 Modelo de estrategia con lógica clásica

Como se explicó en el apartado 3, esta estrategia consta de dos nodos en los cuales se define un rango de valores estrictos para los cuales el contenedor se clasifica como sospechoso y el para el rango de valores complementario, como libre. La figura 11 muestra una vista general del modelo en el cuál se distinguen las diferentes zonas por las cuales puede pasar un contenedor desde su descarga hasta que libera.

Las zonas indicadas en la figura son:

1. Descarga del contenedor, momento en el que se registra la información del precinto RFID.
2. Nodo de inspección 1, donde se evalúa la información del precinto RFID.
3. Nodo de inspección 2, donde se realiza la inspección por rayos X.
4. Zona de inspección manual, donde se dirigen los contenedores clasificados como sospechosos en cualquiera de los dos nodos.

Los módulos no recuadrados se utilizan para comprobar los resultados de la clasificación.

5.3.1.1 Descarga del contenedor

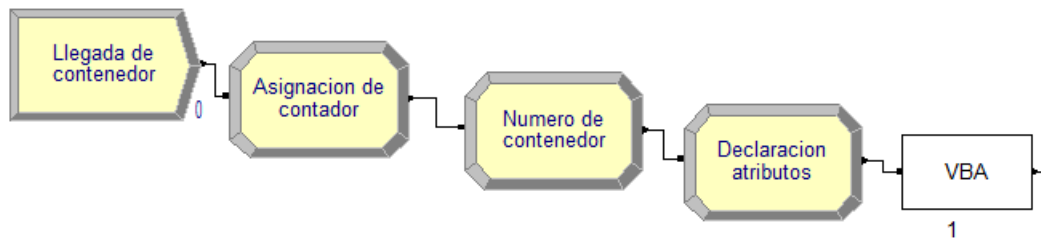


Figura 12: Descarga del contenedor (modelo de lógica difusa)

La figura 12 muestra el conjunto de módulos que permiten simular la descarga de contenedores en el puerto.

Módulo “Llegada de contenedor” (*Create*): Representa la descarga de los contenedores en la terminal mediante grúas portico de descarga en muelles. La velocidad de descarga se representa mediante una normal (3, 0.5) (expresado en minutos).

Módulo “asignación de contador” y “número de contenedor” (*Assign*): A cada contenedor se le asigna un número de identificación. Este aumenta una unidad cada vez que el contenedor entra en el módulo “asignación de contador” y se añade al atributo “NumContenedor” en el módulo “Número de contenedor”. Disponer de este atributo permitirá acceder a las características del contenedor mediante código.

Módulo “declaración de atributos” (*Assign*): Este módulo crea e inicializa los atributos que contienen las características del contenedor, desde aquellos que serán evaluados en cada uno de los nodos (como el valor de RFID, peso, índice de seguridad o análisis de rayos X) hasta los que contendrán los resultados de la clasificación en cada nodo. De esta forma, el código de VBA lee el valor en el archivo de Excel y lo asigna a un atributo previamente creado.

Bloque VBA 1: Como se describió en el apartado 4.2, los bloques de VBA ejecutan parte de código cuando una entidad entra. En este caso, el código asigna a los atributos creados en el módulo anterior los valores de la tabla de datos de Excel que serán evaluados en los nodos.

5.3.1.2 Nodo 1

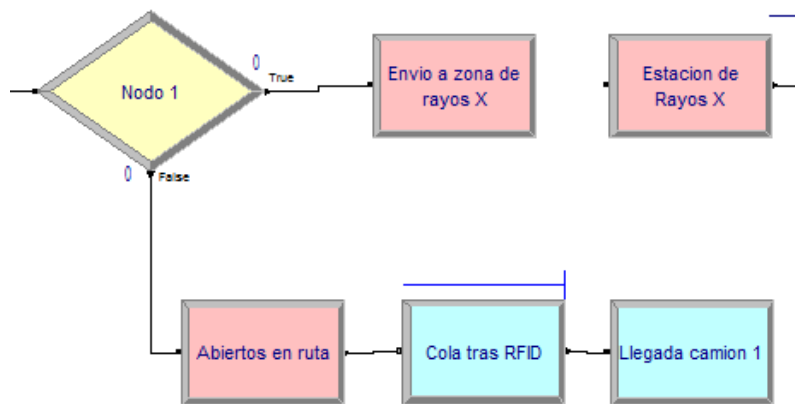


Figura 13: Nodo 1 (modelo de lógica clásica)

La figura 13 muestra el conjunto de módulos que modelan la clasificación en el primer nodo.

Módulo “Nodo 1” (*Decide*): En este modulo se evalúa el atributo “RFID”, que contiene información sobre si el contenedor ha sido abierto o no. En caso de ser 0, el contenedor ha sido abierto y por tanto se envía a la zona de inspección manual. En caso de ser 1, pasa a inspeccionarse mediante rayos X en el nodo 2.

Módulo “Envío a zona de rayos X” (*Route*): Simula el envío de los contenedores al lugar habilitado para la inspección por rayos X y el tiempo empleado en este proceso, que se modela como una función triangular (5,10,15), expresado en minutos.

Módulo “Estación de Rayos X” (*Station*): Se utiliza para indicar el destino de las entidades enviadas a través de un modulo *Route*. Representa la zona habilitada para la inspección por rayos X

Módulos “Abiertos en ruta” (*Station*), “Cola tras RFID” (*Request*) y “Llegada camion 2” (*Transport*): Estos módulos representan el transporte del contenedor de la zona de descarga a la zona de inspección manual de la terminal y el tiempo asociado a este proceso. Para ello, se dispone de una unidad de transporte por cada nodo.

5.3.1.3 Nodo 2

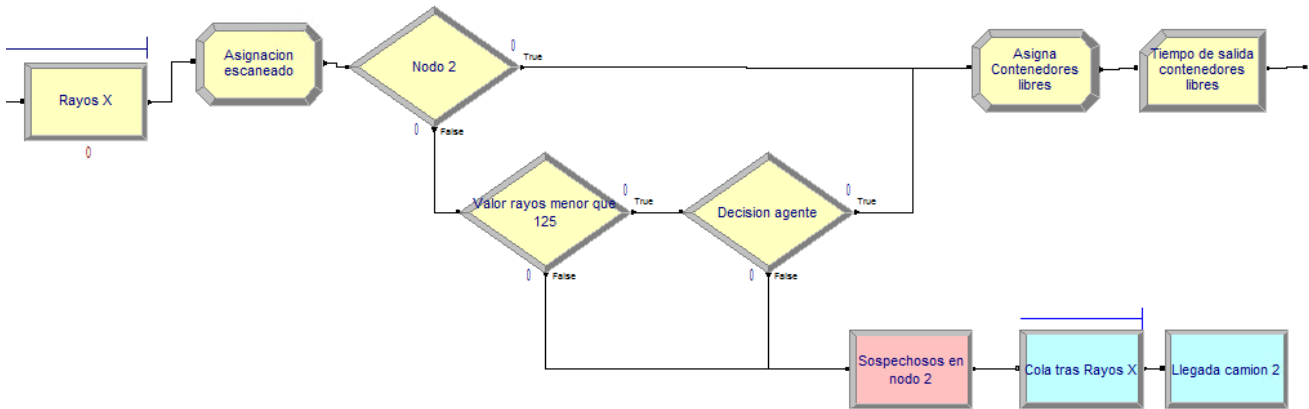


Figura 14: Nodo 2 (modelo de lógica clásica)

La figura 14 muestra el conjunto de módulos que representa el proceso de clasificación en el nodo 2 y el escaneo por rayos X realizado en este punto del control.

Módulo “Rayos X” (*Process*): Representa el proceso de inspección por rayos X, el tiempo empleado y las colas formadas cuando el flujo de entrada es mayor que el de salida. Se dispone de un recurso para este proceso con capacidad para una entidad. El tiempo de proceso se modela como una normal (3, 0.5) expresado en minutos.

Módulo “Asignación escaneado” (*Assign*): Asigna 1 al valor del atributo “escaneado”. En el modelo con lógica difusa esta asignación se hacía mediante cógido.

Módulo “Nodo 2” (*Decide*): En este módulo se hace una división entre las entidades con atributo RAYOS_X igual a 0 y distinto de 0.

Módulo “Valor rayos menor que 125” (*Decide*): En este módulo se hace una división entre las entidades con atributo RAYOS_X mayor de 125, que se envían a inspección manual, y menor de 125.

Módulo “Decisión agente” (*Decide*): Representa la probabilidad de que el agente de aduanas envíe un contenedor a inspección manual. Se considera que esta probabilidad es del 66%.

Módulos “Sospechosos en nodo 2” (*Station*), “Cola tras rayos X” (*Request*) y “Llegada camión 2” (*Transport*): Estos módulos representan el transporte del contenedor de la zona de descarga a la zona de inspección manual de la terminal y el tiempo asociado a este proceso. Para ello, se dispone de una unidad de transporte por cada nodo.

5.3.1.4 Zona de inspección manual

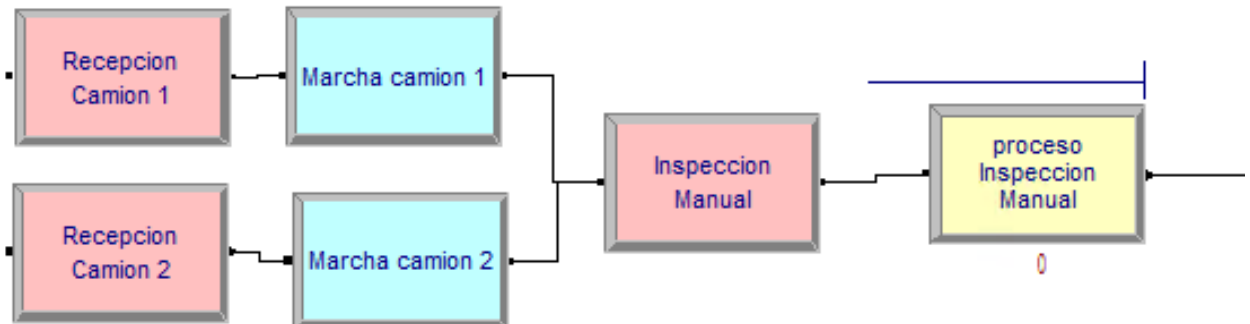


Figura 15: Zona de inspección manual (modelo de lógica difusa)

La figura 15 muestra el conjunto de módulos que modelan la llegada a la zona donde se realiza la inspección manual y el proceso de inspección manual.

Módulos “Recepción” (*Station*) y “Marcha camión” (*Free*): Representan el destino de las unidades de transporte y la liberación de las mismas para poder ser llamadas de nuevo por un módulo “Request”. Físicamente, representan la descarga del contenedor y la marcha del camión para recoger un contenedor.

Módulo “Zona de inspección manual” (*Station*): Se utiliza en el modelo para hacer converger las tres líneas de llegada de contenedores.

Módulo “Inspección manual” (*Process*): Este módulo representa el proceso de inspección manual y el tiempo asociado a este. Este tiempo se modela como una distribución que depende de si el contenedor ha sido previamente inspeccionado mediante rayos X. De esta forma, el tiempo de inspección en el caso de que lo haya sido sigue una distribución triangular (1,3,5) y en caso contrario una distribución triangular (2,6,10). Esta diferencia de tiempo se debe a que, si el contenedor ha sido previamente escaneado mediante rayos X, la inspección manual se podrá focalizar en aquellas áreas del contenedor donde la imagen proporcionada detecte mercancía sospechosa. Para esta inspección se cuenta con un recurso con capacidad para tres entidades. Es decir, pueden inspeccionarse tres contenedores simultáneamente. También modela la cola de entidades originada cuando el flujo de entrada es mayor que el flujo de salida. El tiempo de proceso se modela mediante la expresión “ $TRIA(2,6,10) * (escaneado == 0) + TRIA(1,3,5) * (escaneado == 1)$ ”, donde “escaneado” es el atributo de la entidad que representa si el contenedor ha sido o no escaneado.

Módulo “Tiempo de salida unidades inspeccionadas” (*Record*): Este módulo recoge estadísticas del tiempo “TNOW” en el cual la entidad “contenedorInspeccionado” entra en el módulo, o equivalentemente, termina el control de seguridad.

5.3.2 Modelo de estrategia con lógica difusa

Cómo se explicó en el apartado 3, esta estrategia consta de tres nodos en los cuales, aplicando un algoritmo de lógica difusa, se determina qué clasificación se hace del contenedor. Se muestra una vista general del modelo en el cuál se distinguen las diferentes zonas por las cuales puede pasar un contenedor desde su descarga hasta que se libera.

Las zonas indicadas en la figura son:

1. Descarga del contenedor, momento en el que se registra la variación de peso del contenedor, su índice de seguridad de forma telemática y la información del precinto RFID.
2. Nodo de inspección 1, donde se evalúa la información del precinto RFID.
3. Nodo de inspección 2, donde se evalúa la variación de peso y el índice de seguridad.
4. Nodo de inspección 3, donde se realiza la inspección por rayos x y se evalúa su resultado junto a los dos evaluados en el nodo anterior.
5. Zona de inspección manual, donde se dirigen los contenedores clasificados como sospechosos en cualquiera de los tres nodos.

Los módulos no recuadrados se utilizan para comprobar los resultados de la clasificación.

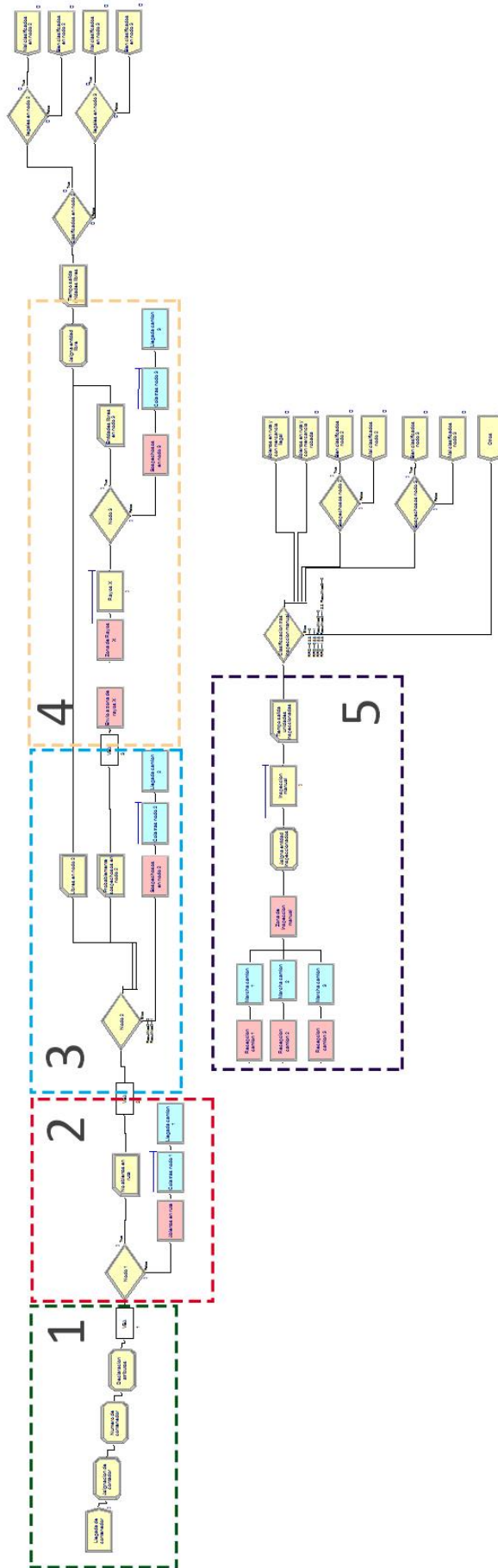


Figura 16: Vista general del modelo con lógica difusa

5.3.2.1 Descarga del contenedor

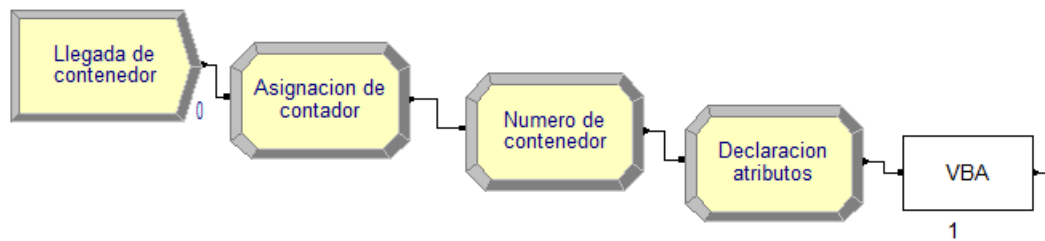


Figura 17: Descarga del contenedor (modelo de lógica difusa)

La figura 17 muestra los módulos que representan la descarga de los contenedores en la terminal.

Módulo “Llegada de contenedor” (*Create*): Representa la descarga de los contenedores en la terminal mediante grúas portico de descarga en muelles. La velocidad de descarga se representa mediante una normal (3, 0.5) (expresado en minutos).

Módulo “asignación de contador” y “número de contenedor” (*Assign*): A cada contenedor se le asigna un número de identificación. Este aumenta una unidad cada vez que el contenedor entra en el modulo “asignación de contador” y se añade al atributo “NumContenedor” en el modulo “Número de contenedor”. Disponer de este atributo permitirá acceder a las características del contenedor mediante código.

Módulo “declaración de atributos” (*Assign*): Este módulo crea e inicializa los atributos que contienen las características del contenedor, desde aquellos que serán evaluados en cada uno de los nodos (como el valor de RFID, peso, índice de seguridad o análisis de rayos X) hasta los que contendrán los resultados de la clasificación en cada nodo. De esta forma, el código de VBA lee el valor en el archive de Excel y lo asigna a un atributo previamente creado.

Bloque VBA 1: Como se describió en el apartado 4.2, los bloques de VBA ejecutan parte de código cuando una entidad entra. En este caso, el código asigna a los atributos creados en el modulo anterior los valores de la tabla de datos de Excel que serán evaluados en los nodos.

5.3.2.2 Nodo 1

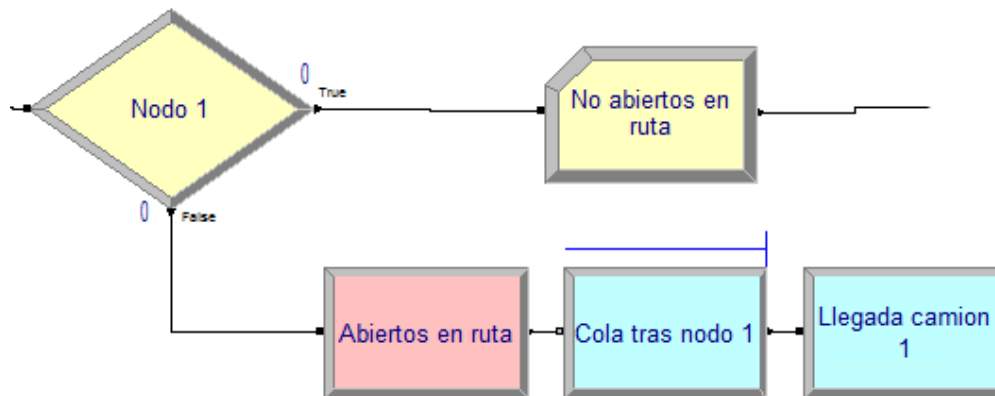


Figura 18: Nodo 1 (modelo de lógica difusa)

La figura 18 representa el conjunto de módulos que modelan la clasificación de los contenedores en el nodo 1.

Módulo “Nodo 1” (Decide): A partir del valor del atributo “RFID”, determina el estado del precinto RFID. Si es 1, el precinto no ha sido abierto y pasa al siguiente nodo. Si es 0, el precinto da señal de haber sido manipulado y se considera que debe pasar automáticamente a inspección manual.

Módulos “Abiertos en ruta” (Station), “Cola tras nodo 2” (Request) y “Llegada camion 1” (Transport): Estos módulos representan el transporte del contenedor de la zona de descarga a la zona de inspección manual de la terminal y el tiempo asociado a este proceso. Para ello, se dispone de una unidad de transporte por cada nodo.

Módulo “No abiertos en ruta” (Record): Este módulo recoge estadísticas del número de contenedores que superan el control del estado del precinto.

5.3.2.3 Nodo 2

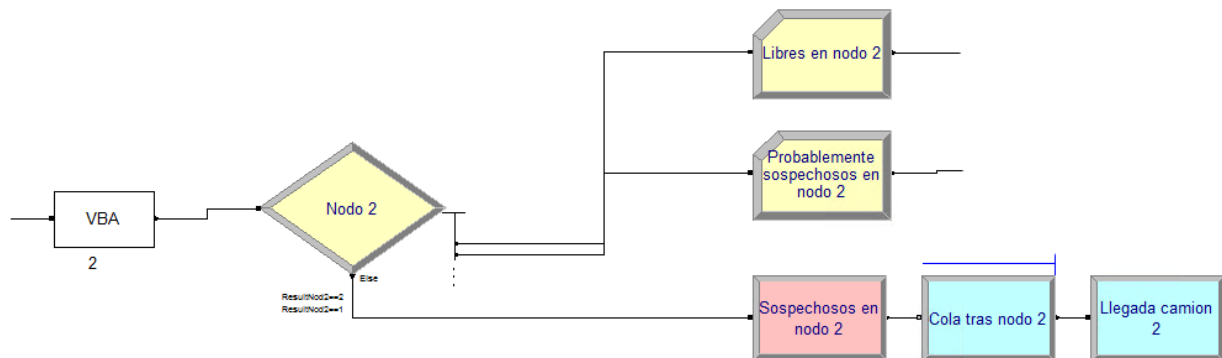


Figura 19: Nodo 2 (modelo de lógica difusa)

La figura 19 representa el conjunto de módulos que modela la clasificación de los contenedores en el nodo 2, así como el envío de los contenedores sospechosos a la inspección manual.

Bloque VBA 2: Cuando una entidad “contenedor” entra en este módulo, aplica el algoritmo basado en lógica difusa descrito en la sección 3.1.1 para determinar la clasificación que debe hacerse en el nodo 2 de dicha entidad. Este código recoge los valores de los atributos, aplica el algoritmo, y devuelve un valor con el resultado de la clasificación y los asocia al atributo “ResultNod2”

Módulo *Nodo 2 (Decide)*: Clasifica la entidad “contenedor” partir del valor del atributo “ResultNod2”. En caso de ser valer 2, la entidad se clasifica como libre y sale del control de seguridad. En caso de ser 1, la entidad continua al nodo 3. En caso de ser 0, la entidad pasa a la zona de inspección manual.

Módulo “Libres en nodo 2” y “Probablemente sospechosos en nodo 2” (*Record*): recogen estadísticas del número de entidades clasificadas de una forma u otra.

Módulos “Sospechosos en nodo 2” (*Station*), “Cola tras nodo 2” (*Request*) y “Llegada camión 2” (*Transport*): Estos módulos representan el transporte del contenedor de la zona de descarga a la zona de inspección manual de la terminal y el tiempo asociado a este proceso. Para ello, se dispone de una unidad de transporte por cada nodo.

5.3.2.4 Nodo 3

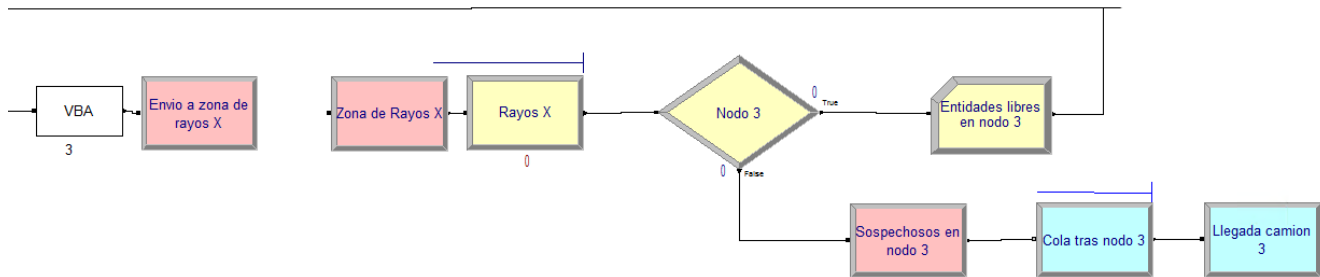


Figura 20: Nodo 3 (modelo de lógica difusa)

En la figura 20 se muestran los módulos que representan la inspección por rayos X y la clasificación de los contenedores en virtud de los resultados del examen por rayos X y de los valores de índice de seguridad y variación de peso.

Bloque VBA 3: Cuando una entidad entra en ese módulo, se llama al Código de VBA que aplica el algoritmo de lógica difusa en el nodo 3 y devuelve el resultado de la clasificación del nodo 3 en el atributo “ResultNod3”.

Módulo “Envío a zona de rayos X” (*Route*) y “Zona de rayos X” (*Station*): Estos módulos representan el envío de los contenedores a la zona habilitada para la inspección por rayos X. El tiempo de este proceso se modela como una función triangular (5,10,15) expresado en minutos.

Módulo “Rayos X” (*Process*): Este módulo representa el proceso de inspección por rayos X, para el cual se dispone de un solo recurso de capacidad unitaria, y cuyo tiempo de procesamiento se modela como una normal (3, 0.5) (expresado en minutos) (Morales, 2017). También, representa las colas formadas cuando la frecuencia de llegada de contenedores supera la frecuencia de salida.

Módulo “Nodo 3” (*Decide*): Evalúa el resultado de la clasificación mediante el algoritmo de lógica difusa aplicado en el bloque VBA 3 guardado en el atributo “ResultNod3”. En caso de ser 1, la entidad ha sido clasificada como libre y sale del control de seguridad.

Módulos “Sospechosos en nodo 3” (*Station*), “Cola tras nodo 3” (*Request*) y “Llegada camión 3” (*Transport*): Estos módulos representan el transporte del contenedor de la zona de descarga a la zona de inspección manual de la terminal y el tiempo asociado a este proceso. Para ello, se dispone de una unidad de transporte por cada nodo.

5.3.2.5 Zona de inspección manual

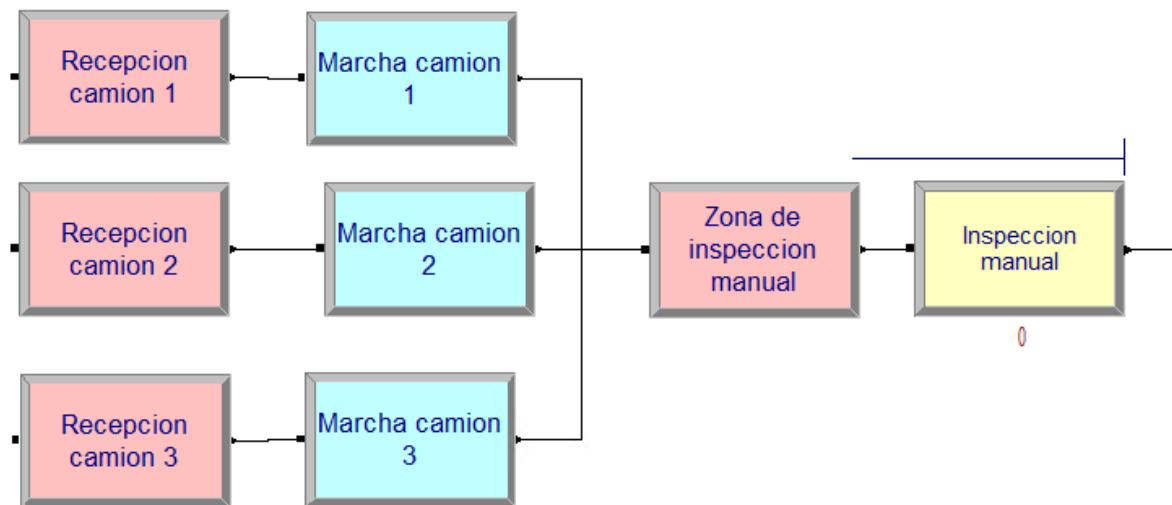


Figura 21: Zona de inspección manual (modelo de lógica difusa)

La figura 21 modela la llegada de los contenedores a la zona de inspección manual

Módulos “Recepción” (*Station*) y “Marcha camión” (*Free*): Representan el destino de las unidades de transporte y la liberación de las mismas para poder ser llamadas de nuevo por un módulo “Request”. Físicamente, representan la descarga del contenedor y la marcha del camión para recoger un contenedor.

Módulo “Zona de inspección manual” (*Station*): Se utiliza en el modelo para hacer converger las tres líneas de llegada de contenedores.

Módulo “Inspección manual” (*Process*): Este módulo representa el proceso de inspección manual y el tiempo asociado a este. Este tiempo se modela como una distribución que depende de si el contenedor ha sido previamente inspeccionado mediante rayos X. De esta forma, el tiempo de inspección en el caso haberlo sido es una triangular (1,3,5) y triangular (2,6,10) en caso contrario. Para esta inspección se cuenta con un recurso con capacidad para tres entidades. Es decir, pueden inspeccionarse tres contenedores simultáneamente. También modela la cola de entidades originada cuando el flujo de entrada es mayor que el flujo de salida. El tiempo de proceso se modela mediante la expresión “ $TRIA(2,6,10)*(escaneado==0)+TRIA(1,3,5)*(escaneado==1)$ ”, donde “escaneado” es el atributo de la entidad que representa si el contenedor ha sido o no escaneado.

Módulo “Tiempo de salida unidades inspeccionadas” (*Record*): Este módulo recoge estadísticas del tiempo “TNOW” en el cual la entidad “contenedorInspeccionado” entra en el módulo, o equivalentemente, termina el control de seguridad.

6 RESULTADOS

En este capítulo se muestra el procedimiento empleado para comprobar la clasificación realizada por ambas estrategias, así como los resultados de las mismas en cuanto a acierto y tiempo.

Puesto que en la simulación entran en juego variables aleatorias, el resultado de una sola simulación no es representativo de la realidad. Para obtener un resultado que sí lo sea es necesario generar múltiples escenarios, de manera que lo que se obtenga no sea un único valor sino una distribución de probabilidades. Así, se disminuye el error cometido al representar la realidad mediante una simulación. Cuanto mayor sea el número de muestras, menor será el error cometido. En este trabajo, los resultados se generan a partir de cuarenta muestras.

Tras hacer una descripción de los módulos utilizados para comprobar la clasificación y para recoger estadísticas de tiempo, se muestran gráficos descriptivos de los resultados de las estrategias y de las distribuciones del tiempo de finalización de las inspecciones.

6.1 Resultados de la estrategia con lógica clásica

La figura 22 muestra el conjunto de módulos utilizados para recoger estadísticas de tiempo y comprobar el número de aciertos en los contenedores clasificados como libres.

Para comprobar los resultados de la clasificación en el nodo 2, las entidades convergen en un único módulo de asignación “Asigna contenedores libres” (Assign) en el cual el tipo de entidad pasa a ser “ContenedoresLibres”. Esto servirá para recoger estadísticas en cuanto al número de entidades clasificadas de este modo. En el módulo “Tiempo de salida contenedores libres” (Record), se recoge el tiempo “TNOW” en el cual las entidades entran en dicho módulo. Esto se utilizará para recoger estadísticas sobre el tiempo de finalización del proceso. En el módulo “Libres en nodo 2” (Decide), se evalúa el atributo “I” de los contenedores, que contiene información sobre si el contenedor finalmente tendría mercancía ilegal. Si el valor es 0, el contenedor tendría mercancía ilegal. Si el valor es 1, el contenedor no tendría mercancía ilegal.

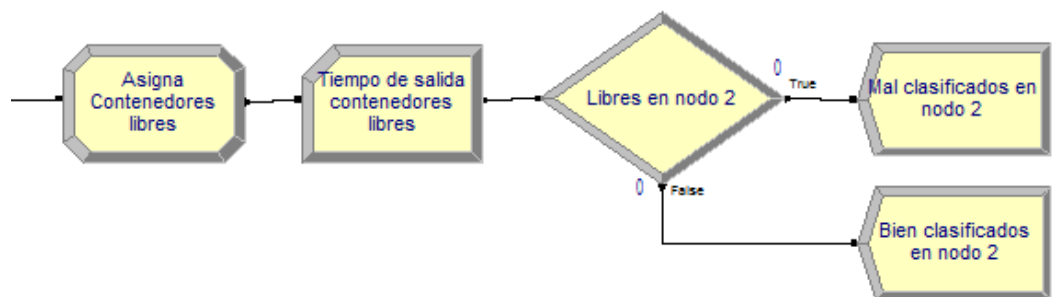


Figura 22: Visualización de la clasificación de los contenedores libres (modelo con lógica clásica)

De igual modo, la figura 23 muestra el conjunto de módulos que permite recoger estadísticas de tiempo y de número de aciertos en los contenedores que fueron dirigidos a la inspección manual. Las entidades que representan los contenedores que han pasado por inspección manual convergen al módulo “Asignación inspeccionado” (Assign) en el cual se le asigna el tipo “ContenedorInspeccionado”, que servirá para recoger estadísticas sobre las entidades de este tipo. En el módulo “Tiempo salida contenedores inspeccionados” (Record) se recoge el tiempo “TNOW” en el cual la entidad pasa por dicho módulo. En el módulo “Clasificación tras inspección manual” (Decide), las entidades se dividen en función del nodo de procedencia para facilitar la visualización y, tras él, en los módulos “Sospechosos nodo 1” y “Sospechosos nodo 2” se dividen en función del valor del atributo “I”, que recoge si los contenedores tendrían finalmente mercancía ilegal.

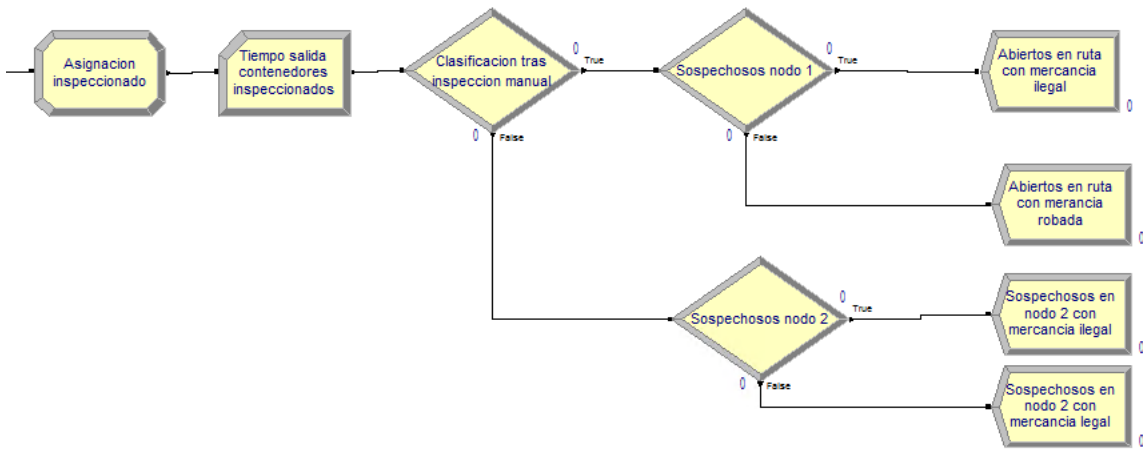


Figura 23: Visualización de la clasificación de contenedores sospechosos (modelo con lógica clásica)

Finalmente, la clasificación de todos los contenedores queda del modo indicado en la figura 24.

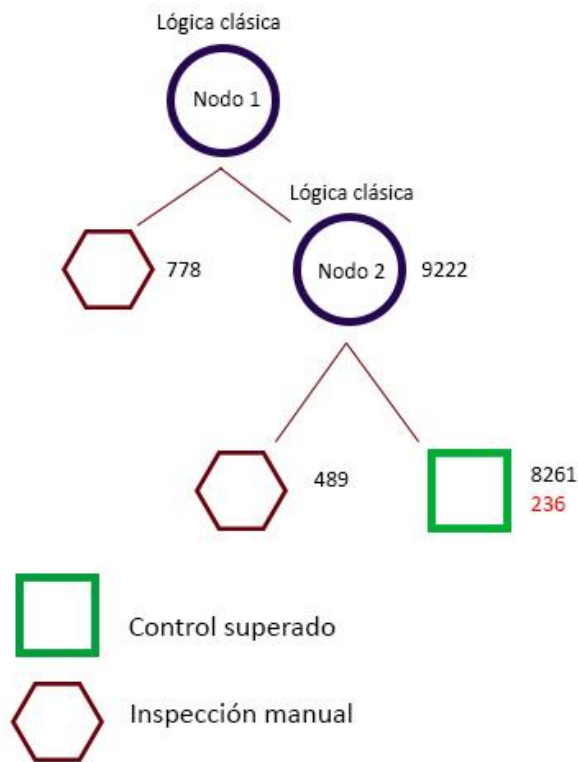


Figura 24: Resultados de la clasificación (modelo con lógica clásica)

En el primer nodo, se detectó 778 contenedores que fueron abiertos en ruta mediante la señal del precinto RFID. Tras la inspección manual, se comprueba que 129 contienen mercancía ilegal mientras

que de los 649 restantes se había sustraído mercancía. El resto, 9222 continúan al nodo 2 para ser inspeccionados por rayos X.

En el nodo 2, aquellos contenedores en los que no se detectó ningún tipo de objeto sospechoso se clasifican como libres. Por otra parte, ningún contenedor presentó muestras evidentes de contener mercancía ilegal. En 725, el resultado de los rayos X no proporcionó suficiente información acerca del contenido o la proporcionó de forma imprecisa, por lo que se pasaron al criterio del agente de aduanas. Al ver este resultado, el agente de aduanas envía cada uno de los contenedores a inspección manual con una probabilidad del 66%, por tanto, la distribución de contenedores clasificados como correctos por el agente se define en la figura 25:

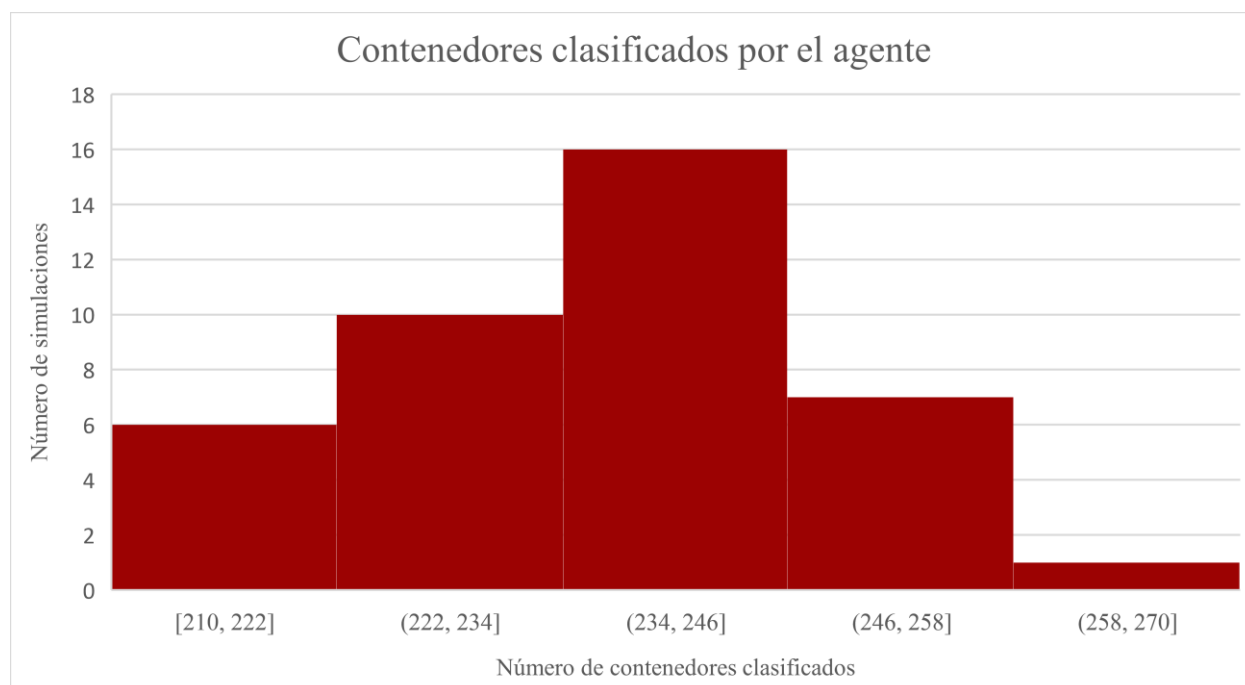


Figura 25: Distribución de número de contenedores clasificados como libres por el agente de aduanas

En media, el agente dejó libres 236 contenedores, con una desviación típica de 11. De estas, todas resultan tener mercancía ilegal, convirtiéndose en clasificaciones incorrectas. Por otra parte, todos los contenedores que el agente envió a inspección manual resultaron contener mercancía ilegal.

El error cometido se calcula como el cociente entre el número de contenedores clasificados incorrectamente y el número total de contenedores sometidos al control de seguridad. El error cometido con esta estrategia se obtiene según dos criterios:

- Criterio 1: Considerando error inspeccionar manualmente los contenedores con mercancía robada, ya que no hubieran comprometido la seguridad. Por tanto, el error se calcula a partir

de los 649 contenedores que se mandaron a inspección manual en el nodo 1 sumado a los contenedores que el agente clasifica incorrectamente:



Figura 26: Distribución de porcentaje de error según el criterio 1

Calculando el error medio a partir de la media de contenedores que el agente clasifica como libre:

$$Error = \frac{(649 + 236) \cdot 100}{1000} = 8.85\%$$

Se comete una media de un 8.85% de error, con una desviación típica de 0.11

- Criterio 2: Considerando acierto inspeccionar cualquier contenedor cuyo interior haya sido manipulado, independientemente del fin. Por tanto, el error se calcula a partir de los contenedores que el agente clasifica incorrectamente:



Figura 27: Distribución del porcentaje de error cometido según el criterio 2

$$Error = \frac{236 \cdot 100}{10000} = 2.36\%$$

Donde el error cometido de media es del 2.36% con una desviación típica de 0.11.

En cuanto al tiempo de finalización de la inspección, se distinguen dos tipos de contenedores: aquellos que debieron pasar por inspección manual y aquellos que se clasificaron como libres tras la inspección por rayos X. En la figura 28 se muestra la distribución de tiempos de finalización del control de contenedores que fueron inspeccionados de forma manual. En media, las inspecciones finalizan tras 2050.5 horas, con una desviación típica de 18 horas.

Esta amplia variabilidad responde principalmente a la aleatoriedad del tiempo individual de inspección manual de los contenedores, que depende de si estos han pasado previamente por el escáner de rayos X, además de la aleatoriedad del número total de contenedores que el agente de aduanas envía a inspección manual.

En la figura 29 se muestra la distribución del tiempo de finalización de los contenedores que no se someten a inspección manual. En media, todos estos contenedores abandonan el control tras 501.18 horas, con una desviación típica de 5.89 horas. Esta variabilidad se debe únicamente al proceso de inspección de rayos X y a los tiempos de transporte.

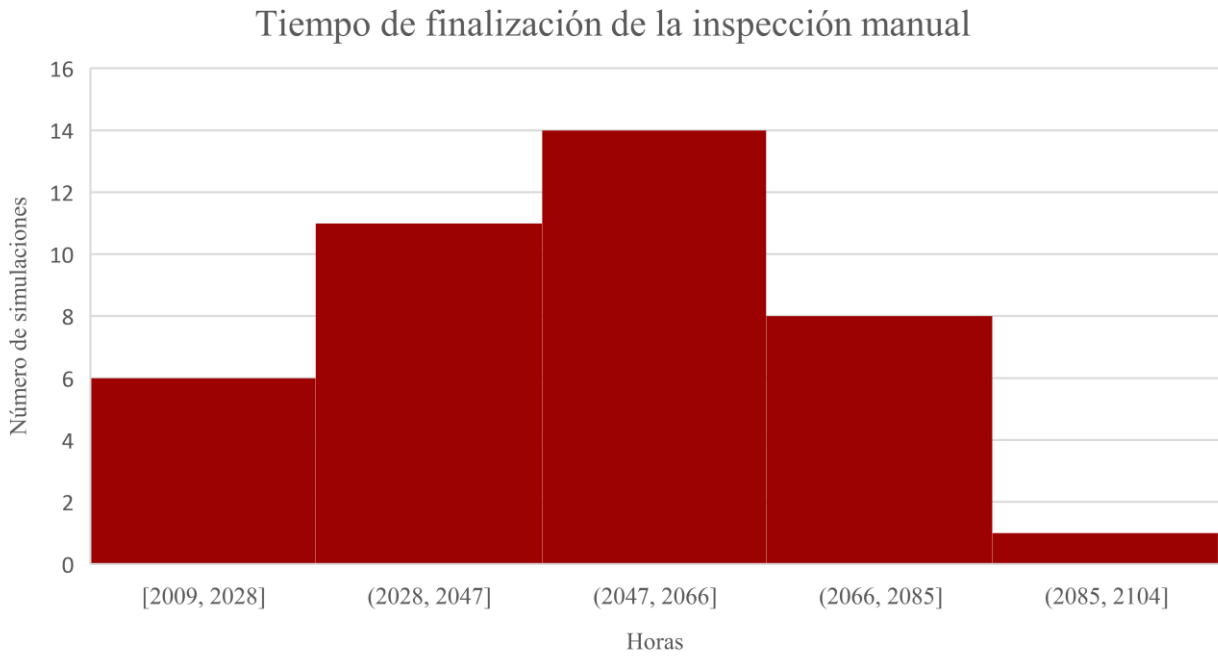


Figura 28: Distribución de tiempo de finalización de la inspección manual

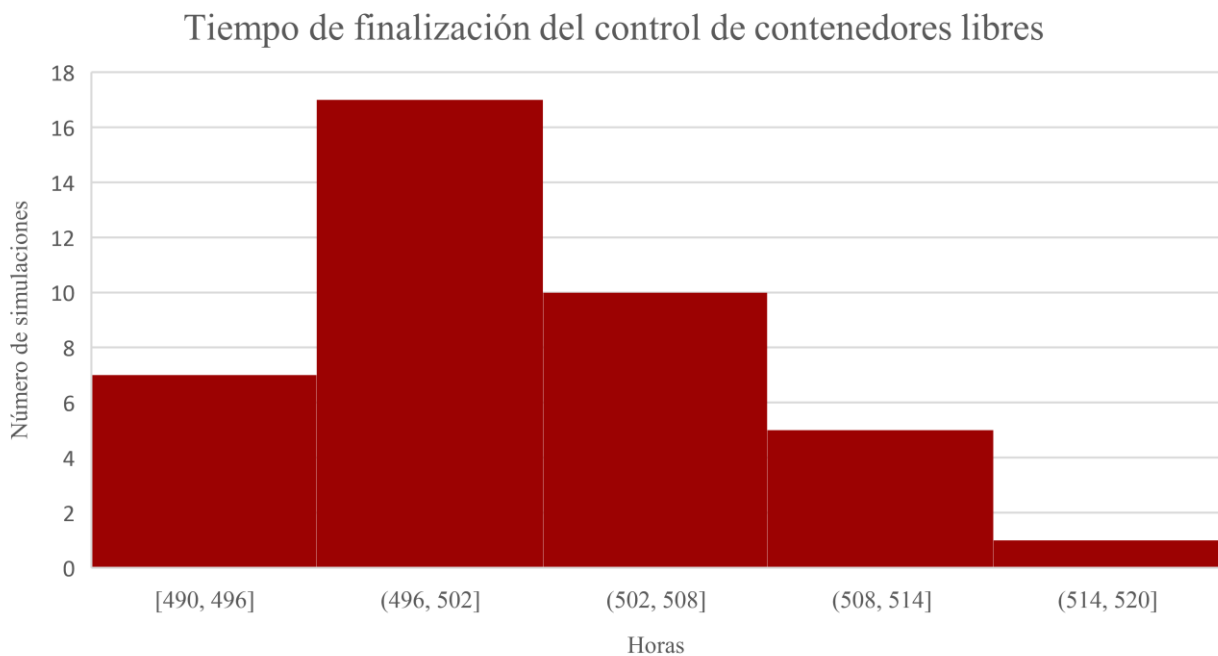


Figura 29: Distribución del tiempo de finalización del control de contenedores libres

6.2 Resultado modelo de estrategia con lógica difusa

En esta sección se comprueba la clasificación de la estrategia basada en lógica difusa y se muestran las estadísticas de tiempo recogidas. En primer lugar, se detalla cómo se ha modelado la comprobación de los contenedores clasificados como libres y tras esto, la comprobación de los clasificados como sospechosos. Además, se detalla el razonamiento según el cual el algoritmo basado en lógica difusa asigna un resultado a cada contenedor en virtud de las variables tenidas en cuenta según el nodo de inspección como se describió en el capítulo 4.

La figura 30 muestra el conjunto de módulos utilizados para comprobar si los contenedores clasificados como libres contenían finalmente mercancía ilegal. Estas unidades, clasificadas tanto en el nodo 2 como en el nodo 3 convergen en un único módulo “Asigna entidad libre” (*Assign*) donde el tipo de entidad cambia de “Contenedor” a “ContenedorLibre”. Esto se utilizará para recoger estadísticas de tiempo sobre los contenedores que fueron clasificados como libres en cualquiera de los nodos. En el módulo “Tiempo salida unidades libres”, se recogen estadísticas “TNOW”, tiempo en el cual la entidad entra en el modulo. Esto servirá para determinar el tiempo de salida de la última unidad libre.

Para comprobar el resultado de la clasificación, en los módulos “Ilegales en nodo 2” y “Ilegales en nodo 3”, las entidades dividen según en valor del atributo “I”, que contiene si finalmente el contenedor tendría mercancía ilegal o no. Si el valor es 0, el contenedor tendría mercancía ilegal. Por tanto, la clasificación fue incorrecta. Si el valor es 1, el contenedor no tenía mercancía ilegal, por tanto, la clasificación fue correcta.

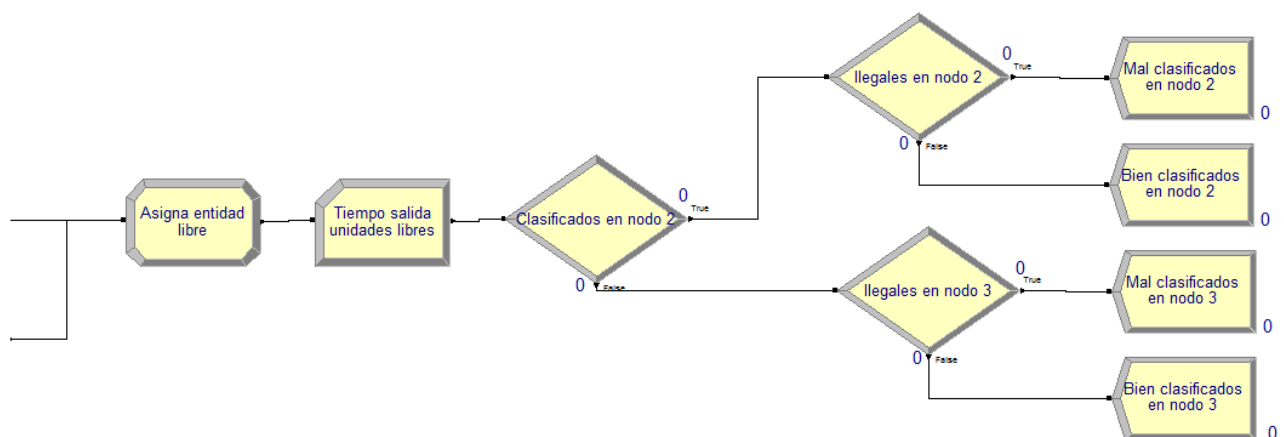


Figura 30: Visualización de la clasificación de los contenedores libres (modelo de lógica difusa)

De igual modo, las unidades clasificadas como sospechosas convergen en el proceso de inspección manual, como se muestra en la figura 31, pudieron haber pasado antes por un análisis de rayos X o no. El módulo “Asigna entidad inspeccionados” (*Assign*): Hasta ahora, el tipo de entidad manipulado había sido “contenedor”. Tras este módulo, la entidad cambia a ser de tipo “contenedorInspeccionado”. Esto servirá para obtener las estadísticas de tiempo, diferenciando entre las entidades que se llevaron a inspección manual y las que se dejaron libres tras pasar por cualquiera de los nodos. La entidad entra en el módulo “Tiempo salida unidades inspeccionadas” (*Record*) donde se recogen estadísticas del tiempo “TNOW” en el cual la entidad entra en el módulo. Esto se utilizará para determinar el momento en el que la última unidad inspeccionada sale del control de seguridad.

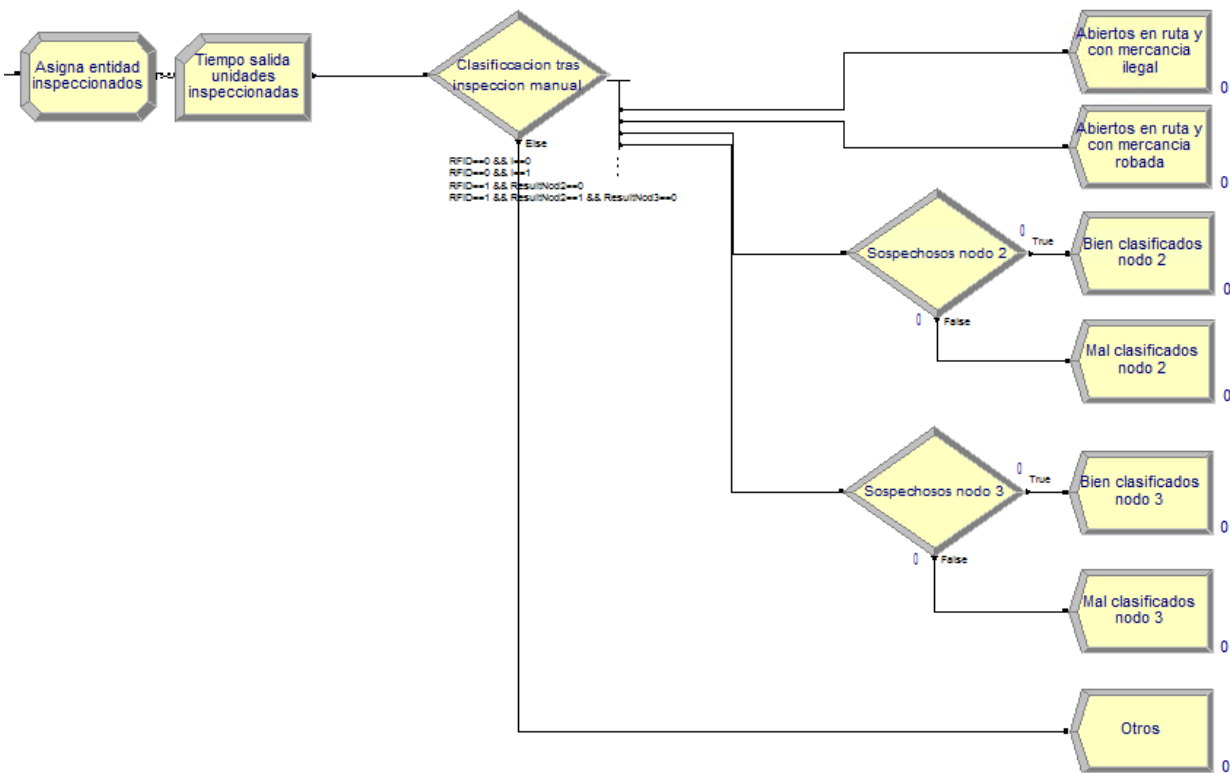


Figura 31: Visualización de la clasificación de los contenedores sospechosos (modelo de lógica difusa)

Para comprobar el resultado de la clasificación, en el módulo “Clasificación tras inspección manual” (*Decide*) se separan los contenedores según el nodo desde el que fueron enviados a inspección manual. En los módulos “sospechosos nodo 2” y “sospechosos nodo 3” (*Decide*) se hace una división según el atributo “I” de las entidades, que recoge si los contenedores finalmente tendrían mercancía ilegal.

La información detalla de las variables del algoritmo difuso se escriben en un archivo de excel que se genera al final de la simulación. De esta forma, puede comprobarse de qué modo el algoritmo realiza

la clasificación. La figura 33 muestra el resultado de la clasificación.

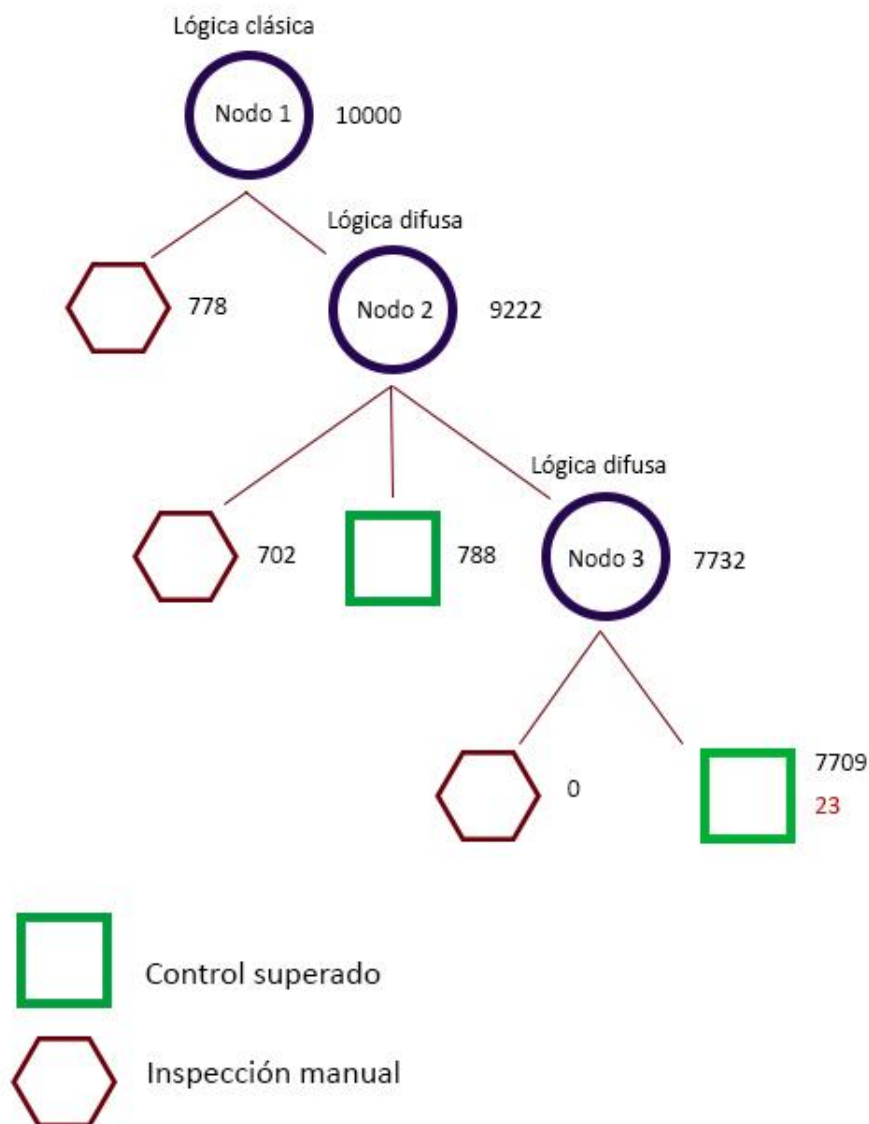


Figura 32: Resultado general de la estrategia con lógica difusa

En el nodo 1 se detectaron 778 contenedores cuyo precinto RFID daba señal de haber sido manipulado. Tras la inspección manual, se comprobó que 129 efectivamente contenían mercancía ilegal y que de los 649 restantes se había sustraído mercancía.

En el nodo 2, 788 contenedores se clasifican como libres y salen del control de seguridad. Finalmente se comprueba que ninguno de ellos contenía mercancía ilegal, por lo que la clasificación se había hecho correctamente. Para ver el por qué de esta clasificación, se observan los valores de pertenencia a las funciones y los valores de salida de la base de reglas: estos 788 son contenedores no experimentan variación de peso en ruta y cuentan con un índice de seguridad superior al 0.775, es el punto de corte de la función de pertenencia a Z y a S. Por tanto, se tienen dos tipos de contenedores:

Con variación de peso nula y coeficiente de seguridad superior 0.8, por lo que pertenecen completamente a Z en variación de peso y a S en índice de seguridad. Por tanto, se activa solamente la regla $R2 \rightarrow P$ y se clasifican como libres.

Con variación de peso nula y coeficiente de seguridad ente 0.775 y 0.8, por lo que pertenecen completamente a Z en variación de peso y a S y a Z en índice de seguridad. Sin embargo, en las funciones de pertenencia del índice de seguridad, tras el punto de corte 0.775 la función S queda por encima de la función Z, por lo que siempre va a pertenecer a S en mayor medida que a Z. De igual modo, se activarán las reglas $R2 \rightarrow P$ y $R5 \rightarrow Sc$, pero por lo recién comentado, P será mayor que Sc, por lo que tras la defusificación, se clasificará como libre y no como probablemente sospechoso.

También en el nodo 2, 702 contenedores se clasifican como sospechosos, enviándose a inspección manual. Tras este examen, se comprueba que todos contenían mercancía ilegal. Aquí se diferencian también dos tipos:

Con variación de peso menor de 0.25 toneladas y coeficiente de seguridad 0.677. Por tanto, la variación de peso pertenece completamente a +R y el coeficiente de seguridad completamente a R. De esta forma sólo se activa la regla $R9 \rightarrow M$ y el contenedor se clasifica como ilegal.

Con variación de peso entre 0.2 y 0.25 toneladas y coeficiente de seguridad 0.677. Así, el coeficiente de seguridad pertenece completamente a R+ y la variación de peso pertenece tanto a Z como a +R, por lo que se activan las reglas $R8 \rightarrow Sc$ y $R9 \rightarrow M$. Como entre los valores de 0.2 y 0.25 la función de R+ queda por encima de Z, siempre pertenece en mayor medida a R+ por lo que M es mayor que Sc y tras defusificar se clasifica como ilegal.

El resto, 7732, se clasifican como probablemente sospechosos, continuando al nodo 3 para ser inspeccionados por rayos X.

En el nodo 3, los 7732 se clasifican como legales, se los cuales 23 resultan ser ilegales. Estos 23 contenedores tienen 0,677 como coeficiente de seguridad, una variación de peso inferior a 0.20 y un valor de Se de como máximo 0,2, valor de rayos X a que se le asocia una pertenencia al conjunto difuso seguro muy próxima a 1..

El error cometido se calcula según varios criterios. Al no depender a clasificación de valores aleatorios, no se plantea una distribución de probablidades:

- Criterio 1: Considerando error inspeccionar manualmente los contenedores con mercancía robada, ya que no hubieran comprometido la seguridad:

$$Error = \frac{(649 + 23) \cdot 100}{10000} = 6.72\%$$

- Criterio 2: Considerando acierto inspeccionar cualquier contenedor cuyo interior haya sido manipulado, independientemente del fin:

$$Error = \frac{23 \cdot 100}{10000} = 0.23\%$$

- Criterio 3: Evaluando únicamente el resultado de los nodos en los que se aplica lógica difusa:

$$Error = \frac{23 \cdot 100}{9222} = 0.25\%$$

En cuanto al tiempo total de inspección, se ha hecho una distinción entre el tiempo de finalización de los contenedores que fueron inspeccionados manualmente y los que fueron liberados en el segundo nodo, no teniendo que pasar por el control de rayos X, o liberados en el nodo 3 tras pasar por el control de rayos X.

Para ello, se toma una muestra de cuarenta simulaciones para elaborar una distribución del tiempo de finalización de la inspección manual. Se comprueba que el total de los 1480 contenedores que son sometidos a inspección manual tarda una media de 2965 horas, con una desviación típica de 23.35 horas.

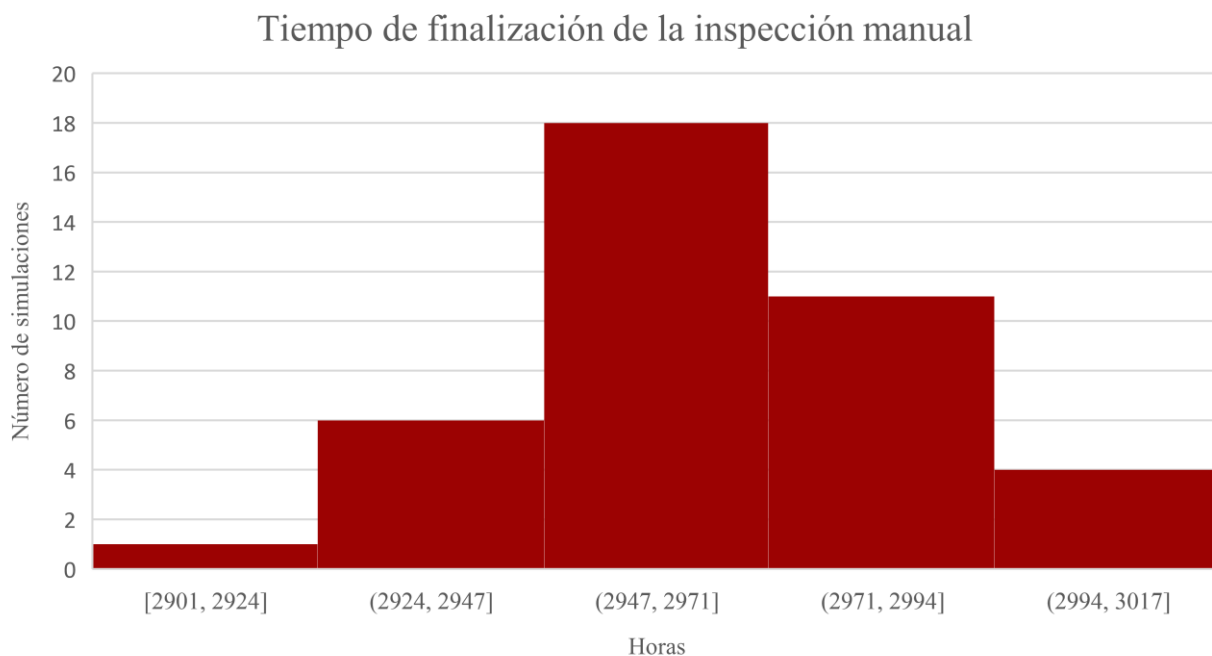


Figura 33: Distribución de tiempos de finalización de la inspección manual

El tiempo de finalización del control de seguridad de los contenedores clasificados como libres, en cambio, no presenta tanta variabilidad: el tiempo medio de finalización es de 500.8 horas, con una

desviación típica de 0.86 horas. Esto se debe a que no se cuenta con la mayor fuente de variabilidad del proceso, que es el paso por la inspección manual.

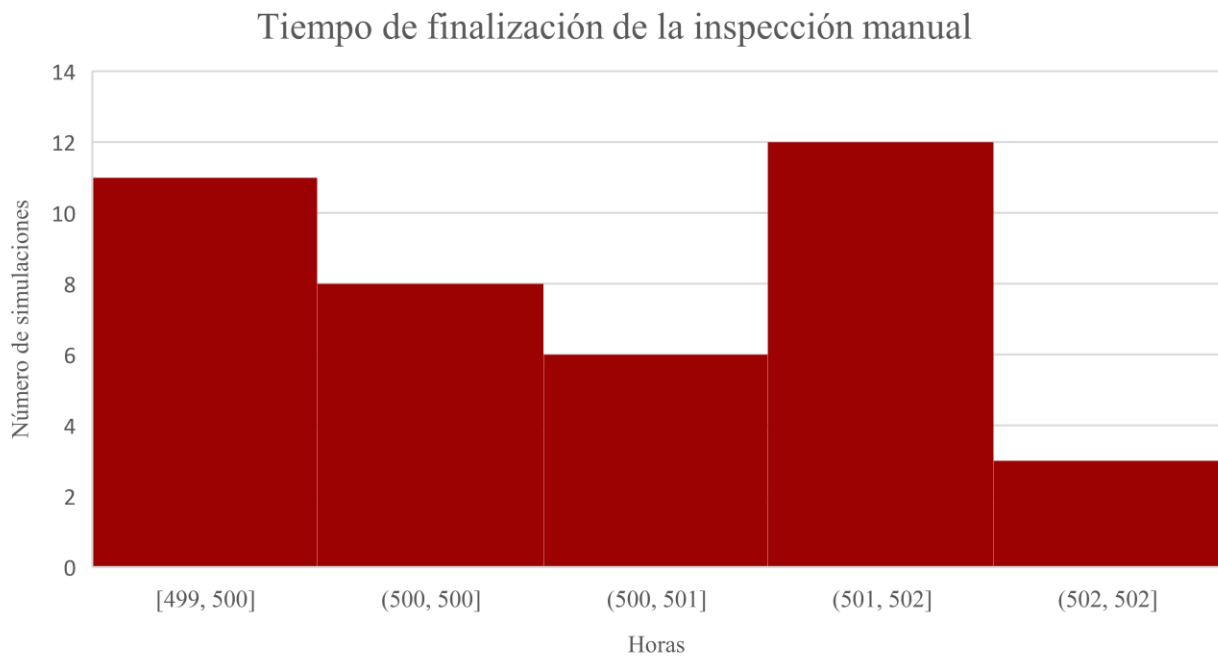


Figura 34: Distribución de tiempos de finalización del control de las unidades libres

7 CONCLUSIONES

Las crecientes demandas de eficiencia en la cadena suministro global, hace que el diseño de nuevas estrategias, apoyadas en tecnologías innovadoras y buenos criterios de evaluación de riesgo, suponga un reto actual.

Para ello, este trabajo ha consistido en simular dos estrategias de inspección que pretenden conseguir este compromiso entre garantía de seguridad y eficiencia. Simulando su funcionamiento a partir de unos datos proporcionados para el estudio, se ha obtenido la tasa de acierto de cada una de ellas y estadísticas acerca del tiempo de finalización de las inspecciones.

Comparando los resultados de ambas estrategias se puede concluir que la estrategia basada en lógica difusa es más prometedora. Tener en consideración el índice de seguridad y la variación de peso del contenedor previamente a inspeccionarlo mediante rayos X, permite descartar anticipadamente contenedores que contienen mercancía ilegal, evitando así el error cometido al evaluar los contenedores mediante rayos X, que en una gran proporción de los casos no daba suficiente información acerca del contenido. La tabla 1 muestra una comparativa de los porcentajes de error en la clasificación utilizando los criterios 1 y 2, comunes a ambas estrategias. Para el caso de la estrategia basada en lógica clásica, se muestra el valor medio del error.

Tabla 1: Comparativa de porcentaje de error según los criterios 1 y 2

	Criterio 1	Criterio 2
Estrategia con lógica clásica	$\frac{(649 + 236)}{10000} \cdot 100 = 8.85\%$	$\frac{236}{10000} \cdot 100 = 2.36\%$
Estrategia con lógica difusa	$\frac{(649 + 23)}{10000} \cdot 100 = 6.72\%$	$\frac{23}{10000} \cdot 100 = 0.23\%$

Sin embargo, en cuanto al tiempo total de finalización del control, la estrategia basada en lógica clásica resulta más eficiente. Esto se debe a que, aunque se consuman recursos por la inspección por rayos X, este tiempo invertido se recupera ya que disponer de una imagen sobre el interior del contenedor permite ubicar más fácil y rápidamente la posible mercancía ilegal, así como disponer anticipadamente de los recursos necesarios para abrir el contenedor y inspeccionarlo de forma segura en caso de detectar una mercancía peligrosa. La tabla 2 muestra una comparativa del tiempo de finalización en horas tanto de los contenedores sometidos a inspección manual como de los contenedores clasificados como libres según ambas estrategias. Se muestra el valor medio de dichos tiempos en horas.

Tabla 2: Tiempos en horas de finalización de las inspecciones

	Tiempo de finalización de la inspección manual	Tiempo de finalización de la inspección de contenedores libres
Estrategia con lógica clásica	2050.5	501.18
Estrategia con lógica difusa	2965	500.8

La estrategia con lógica clásica finaliza la inspección de los 1267 contenedores que, en media, se destinan a inspección manual tras 2050.5 horas. La estrategia con lógica difusa finaliza la inspección manual de 1480 contenedores tras 2965 horas. Es decir, con la estrategia basada en lógica clásica es posible inspeccionar manualmente una media de 0.61 contenedores por hora, mientras que con la estrategia basada en lógica difusa tan sólo es posible inspeccionar 0.5 contenedores por hora. En este sentido, la estrategia basada en lógica difusa resulta ser también más costosa para el puerto, ya que aumenta la necesidad de espacio dedicado a su almacenamiento durante la espera, además de aumentar el coste financiero que supone mantener la mercancía inmovilizada.

Aún teniendo en cuenta estas consideraciones, el aumento de tiempo de inspección que supone aplicar la estrategia basada en lógica difusa justifica su aplicación gracias al aumento de garantía de seguridad que se obtiene a cambio.

REFERENCIAS

- Banomyong, R., & Banomyong, R. (2007). The impact of port and trade security initiatives on maritime supply-chain management, 8839. <https://doi.org/10.1080/0308883042000326102>
- Estado, J. D. E. L. (2012). Boletín oficial del estado. *BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO Jueves 30 de Junio, Núm. 157, Sec. I, 1974, 26876–26967*. <https://doi.org/BOE-A-2012-5403>
- Flynn, S. E., & Gans, N. F. (2011). Estimating the Operational Impact of Container Inspections at International Ports, 57, 1–20.
- González Morcillo, C. (2011). Lógica Difusa, una introducción práctica. *Técnicas de Softcomputing*, 29. Retrieved from <http://www.esi.uclm.es/www/cglez/index.php?lang=es&sec=teaching>
- Juang, Y. (2015). The Application of the RFID and E-Seals in Container Shipping.
- Kaur, M., Sandhu, M., Mohan, N., & Sandhu, P. S. (2011). RFID Technology Principles , Advantages , Limitations & Its Applications, 3(1), 151–157.
- Kelton, W. D. (2015). *Simulation with Arena*. (McGraw-Hill, Ed.) (6th ed.).
- Kidson, R., Rutherford, T., Malarz, A., & Mahony, S. O. (2015). Impact of increasing container ship size on container handling productivity at Australian ports, (October), 1–15.
- Morales, L. (2017). Algoritmo difuso para el diseño de una Estrategia de inspección de seguridad en una terminal de contenedores tomando en cuenta el peso del contenedor.
- Patel, Y. J. (2017). Future Scope of RFID Technology and Advantages & Applications, 3(8), 542–548.
- Richardson, D. (2017). Increasing Supply Chain Security: The Requirement for RFID Technology on Containerized Cargo By Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Marine Management at, (April), 1–66.
- Shi, X., Tao, D., & Voß, S. (2011). RFID technology and its application to port-based container logistics. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, 21(4), 332–347. <https://doi.org/10.1080/10919392.2011.614202>
- Torres M., A., & Tranchita R., C. (2004). ¿INFERENCIA Y RAZONAMIENTO PROBABILÍSTICO O DIFUSO? (Spanish). *Revista de Ingeniería*, (19), 157–165. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i19.450>
- Tóth-Laufer, E., & Takács, M. (2012). The effect of aggregation and defuzzification method selection on the risk level calculation. *IEEE 10th Jubilee International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, SAMI 2012 - Proceedings*, 131–136. <https://doi.org/10.1109/SAMI.2012.6208943>

- Tribunal de Cuentas Europeo. (2016). *Informe Especial nº23: El transporte marítimo en la UE se mueve en aguas turbulentas — mucha inversión ineficaz e insostenible*. <https://doi.org/10.2865/86612>
- U.S. H.R. 4954-15. Security and Accountability For Every Port Act of 2006. (2006). *United States of America Government*, (1), 1–2.
- UNCTAD, N. U. (2017). *Review of Maritime Transport 2017*.
- Visser, W., Schwaninger, A., Flisch, A., Hassler, U., Dorion, I., & Marciano, A. (2016). Automated Comparison of X-Ray Images for Cargo Scanning.
- W C O. (2015). SAFE Framework of Standards to secure and facilitate global trade. *World Customs Organisation*, 13.
- WSC. (2012). *Statement Regarding Legislation to Require 100 % Container Scanning*.
- Zadeh, L. a. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions On*, (1), 28–44. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1973.5408575>
- Zadeh, L. A. (1982). FUZZY SYSTEMS THEORY : Framework for the Analysis of Humanistic Systems, 25–26.

ANEXO I: CÓDIGO DEL ALGORITMO

```
Option Explicit
Public XL As Object
Public M As Model
Public s As SIMAN
'Public s As SIMAN ' declaracion de variable tipo SIMAN
'Public m As Model ' declaracion de variable del tipo model
Public NumContenedor As Integer
Public Wo As Double
Public SI As Double
Public deltaW As Double
Public W_1 As Double
Public X_RAY As Double
Public Se As Double
Public Sc As Double
Public P As Double
Public Mm As Double
Public resultado As Double
Public output As Double
'Variables que contienen el valor de la funcion de membresía de DeltaW
Public RNEG_deltaw As Double, Z_deltaw As Double, RPOS_deltaw As Double
'Variables que contienen el valor de la funcion de membresia de SI
Public R_SI As Double, Z_SI As Double, S_SI As Double
Public M_center As Double, Sc_center As Double, P_center As Double
Public V As Double
Public S_Se As Double
Public R_Se As Double
Public Z_Se As Double
Dim R1 As Double
Dim R2 As Double
Dim R3 As Double
Dim R4 As Double
Dim R5 As Double
Dim R6 As Double
```

```
Dim R7 As Double
Dim R8 As Double
Dim R9 As Double
Dim R11 As Double
Dim R12 As Double
Dim R13 As Double
Dim R14 As Double
Dim R15 As Double
Dim R16 As Double
Dim R17 As Double
Dim R18 As Double
Dim R19 As Double
Dim R21 As Double
Dim R22 As Double
Dim R23 As Double
Dim R24 As Double
Dim R25 As Double
Dim R26 As Double
Dim R27 As Double
Dim R28 As Double
Dim R29 As Double
Dim R31 As Double
Dim R32 As Double
Dim R33 As Double
Dim R34 As Double
Dim R35 As Double
Dim R36 As Double
Dim R37 As Double
Dim R38 As Double
Dim R39 As Double
'Dim s As SIMAN
'Dim M As Model
Public oXLApp As Excel.Application
Public oXLWorkBook As Excel.Workbook
Public oXLWorkSheet As Excel.Worksheet

Public Sub ModelLogic_RunBeginSimulation()
```

```
Dim M As Model
Set M = ThisDocument.Model

Dim FileToOpen As String
Dim ArenaDir As String
Set XL = GetObject("", "Excel.Application")
ArenaDir = Mid(M.FullName, 1, Len(M.FullName) - Len(M.Name))
FileToOpen = ArenaDir & "data.xlsx"
XL.Workbooks.Open FileToOpen
Set oXLApp = CreateObject("Excel.Application")
oXLApp.SheetsInNewWorkbook = 1
Set oXLWorkBook = oXLApp.Workbooks.Add
Set oXLWorkSheet = oXLWorkBook.Activesheet
With oXLWorkSheet
    .Activate
    .Cells(1, 1).value = "R1"
    .Cells(1, 2).value = "R2"
    .Cells(1, 3).value = "R3"
    .Cells(1, 4).value = "R4"
    .Cells(1, 5).value = "R5"
    .Cells(1, 6).value = "R6"
    .Cells(1, 7).value = "R7"
    .Cells(1, 8).value = "R8"
    .Cells(1, 9).value = "R9"
    .Cells(1, 10).value = "ResultNod2"
    .Cells(1, 11).value = "R11"
    .Cells(1, 12).value = "R12"
    .Cells(1, 13).value = "R13"
    .Cells(1, 14).value = "R14"
    .Cells(1, 15).value = "R15"
    .Cells(1, 16).value = "R16"
    .Cells(1, 17).value = "R17"
    .Cells(1, 18).value = "R18"
    .Cells(1, 19).value = "R19"
    .Cells(1, 21).value = "R21"
    .Cells(1, 22).value = "R22"
    .Cells(1, 23).value = "R23"
    .Cells(1, 24).value = "R24"
    .Cells(1, 25).value = "R25"
```

```
.Cells(1, 26).value = "R26"  
.Cells(1, 27).value = "R27"  
.Cells(1, 28).value = "R28"  
.Cells(1, 29).value = "R29"  
.Cells(1, 31).value = "R31"  
.Cells(1, 32).value = "R32"  
.Cells(1, 33).value = "R33"  
.Cells(1, 34).value = "R34"  
.Cells(1, 35).value = "R35"  
.Cells(1, 36).value = "R36"  
.Cells(1, 37).value = "R37"  
.Cells(1, 38).value = "R38"  
.Cells(1, 39).value = "R39"  
.Cells(1, 40).value = "RNEG_deltawNODO2"  
.Cells(1, 41).value = "Z_deltawNODO2"  
.Cells(1, 42).value = "RPOS_deltawNODO2"  
.Cells(1, 43).value = "R_SINODO2"  
.Cells(1, 44).value = "Z_SINODO2"  
.Cells(1, 45).value = "S_SINODO2"  
.Cells(1, 46).value = "RNEG_deltawNODO3"  
.Cells(1, 47).value = "Z_deltawNODO3"  
.Cells(1, 48).value = "RPOS_deltawNODO3"  
.Cells(1, 49).value = "R_SINODO3"  
.Cells(1, 50).value = "Z_SINODO3"  
.Cells(1, 51).value = "S_SINODO3"  
.Cells(1, 52).value = "S_Se"  
.Cells(1, 53).value = "Z_Se"  
.Cells(1, 54).value = "R_Se"  
.Cells(1, 55).value = "Mm"  
.Cells(1, 56).value = "P"  
.Cells(1, 57).value = "0 Si ilegal"
```

End With

End Sub

Public Sub VBA_Block_1_Fire()

Dim s As SIMAN

Set s = ThisDocument.Model.SIMAN

```
NumContenedor = s.EntityAttribute(s.ActiveEntity,
s.SymbolNumber("NumContenedor"))
s.EntityAttribute(s.ActiveEntity,s.SymbolNumber("SI")) =
XL.Workbooks(1).Worksheets(1).Cells(NumContenedor, 3).value
s.EntityAttribute(s.ActiveEntity,s.SymbolNumber("Wo")) =
XL.Workbooks(1).Worksheets(1).Cells(NumContenedor, 4).value
s.EntityAttribute(s.ActiveEntity,s.SymbolNumber("W_1")) =
XL.Workbooks(1).Worksheets(1).Cells(NumContenedor, 5).value
s.EntityAttribute(s.ActiveEntity,s.SymbolNumber("RFID")) =
XL.Workbooks(1).Worksheets(1).Cells(NumContenedor, 2).value
s.EntityAttribute(s.ActiveEntity,s.SymbolNumber("X_RAY")) =
XL.Workbooks(1).Worksheets(1).Cells(NumContenedor, 11).value
s.EntityAttribute(s.ActiveEntity,s.SymbolNumber("I")) =
XL.Workbooks(1).Worksheets(1).Cells(NumContenedor, 7).value
```

End Sub

Public Sub VBA_Block_2_Fire()

```
Dim s As SIMAN
```

```
Set s = ThisDocument.Model.SIMAN
```

```
NumContenedor = s.EntityAttribute
```

```
(s.ActiveEntity,s.SymbolNumber("NumContenedor"))
```

```
SI = s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("SI"))
```

```
Wo = s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("Wo"))
```

```
W_1 = s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("W_1"))
```

```
deltaW = W_1 - Wo
```

```
M_center = 0
```

```
Sc_center = 30
```

```
P_center = 60
```

```
If (deltaW <= -0.25) Then
```

```
    RNEG_deltaw = 1
```

```
    Z_deltaw = 0
```

```
    RPOS_deltaw = 0
```

```
End If
```

```
If (deltaW > -0.25) And (deltaW <= -0.15) Then
```

```
    RNEG_deltaw = -10 * deltaW - 3 / 2
```

```
    Z_deltaw = 10 * deltaW + 5 / 2
```

```
    RPOS_deltaw = 0
End If
If (deltaW > -0.15) And (deltaW <= 0.15) Then
    RNEG_deltaw = 0
    Z_deltaw = 1
    RPOS_deltaw = 0
End If
If (deltaW > 0.15) And (deltaW <= 0.25) Then
    RNEG_deltaw = 0
    Z_deltaw = -10 * deltaW + 2.5
    RPOS_deltaw = 10 * deltaW - 1.5
End If
If (deltaW > 0.25) Then
    RNEG_deltaw = 0
    Z_deltaw = 0
    RPOS_deltaw = 1
End If
If (SI <= 0.7) Then
    R_SI = 1
    Z_SI = 0
    S_SI = 0
End If
If (SI > 0.7) And (SI <= 0.75) Then
    R_SI = -20 * SI + 15
    Z_SI = 20 * SI - 14
    S_SI = 0
End If
If (SI > 0.75) And (SI <= 0.8) Then
    R_SI = 0
    Z_SI = -20 * SI + 16
    S_SI = 20 * SI - 15
End If
If (SI > 0.8) Then
    R_SI = 0
    Z_SI = 0
    S_SI = 1
End If
```



```

s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("RNEG_deltaw"))
= RNEG_deltaw
s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("Z_deltaw")) =
Z_deltaw
s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("RPOS_deltaw"))
= RPOS_deltaw
s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("R_SI")) = R_SI
s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("Z_SI")) = Z_SI
s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("S_SI")) = S_SI

oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 40).value = RNEG_deltaw
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 41).value = Z_deltaw
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 42).value = RPOS_deltaw
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 43).value = R_SI
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 44).value = Z_SI
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 45).value = S_SI

R1 = Min1(RNEG_deltaw, S_SI)
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 1).value = R1
R2 = Min1(Z_deltaw, S_SI)
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 2).value = R2
R3 = Min1(RPOS_deltaw, S_SI)
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 3).value = R3
R4 = Min1(RNEG_deltaw, Z_SI)
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 4).value = R4
R5 = Min1(Z_deltaw, Z_SI)
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 5).value = R5
R6 = Min1(RPOS_deltaw, Z_SI)
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 6).value = R6
R7 = Min1(RNEG_deltaw, R_SI)
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 7).value = R7
R8 = Min1(Z_deltaw, R_SI)
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 8).value = R8
R9 = Min1(RPOS_deltaw, R_SI)
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 9).value = R9

Sc = ((R1) ^ 2 + (R3) ^ 2 + (R4) ^ 2 + (R5) ^ 2 + (R6) ^ 2 + (R8)
^ 2) ^ 0.5

```

```

P = R2
Mm = ((R7) ^ 2 + (R9) ^ 2) ^ 0.5

'Obtener centroide
output = (Sc * Sc_center + Mm * M_center + P * P_center) / (Sc +
P + Mm)
If (output <= 15) Then
'Sospechoso
    resultado = 0
Else
    If (output > 15) And (output <= 45) Then
'Siguiente nodo
        resultado = 1
    Else
'Libre
        resultado = 2
    End If
End If
s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("ResultNod2")) =
resultado
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 10).value = resultado
End Sub
Public Sub VBA_Block_3_Fire()
    Dim s As SIMAN
    Set s = ThisDocument.Model.SIMAN
    Dim SI As Double, NumContenedor As Integer, Wo As Double, W_1 As
Double, deltaW As Double, I As Integer
    Dim resultado As Integer
    Dim M_center As Integer, Sc_center As Integer, P_center As
Integer
    Se = s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("X_RAY"))
    NumContenedor = s.EntityAttribute(s.ActiveEntity,
s.SymbolNumber("NumContenedor"))

V = 250
If (Se <= V) Then
    S_Se = -Se / V + 1

```

```
Z_Se = Se / V
R_Se = 0
End If
If (Se > V) And (Se <= 500) Then
    S_Se = 0
    Z_Se = -Se / V + 2
    R_Se = Se / V - 1
End If
If (Se > 500) Then
    S_Se = 0
    Z_Se = 0
    R_Se = 1
End If

RNEG_deltaw = s.EntityAttribute(s.ActiveEntity,
s.SymbolNumber("RNEG_deltaw"))
Z_deltaw = s.EntityAttribute(s.ActiveEntity,
s.SymbolNumber("Z_deltaw"))
RPOS_deltaw = s.EntityAttribute(s.ActiveEntity,
s.SymbolNumber("RPOS_deltaw"))

R_SI = s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("R_SI"))
Z_SI = s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("Z_SI"))
S_SI = s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("S_SI"))
I = s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("I"))
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 46).value = RNEG_deltaw
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 47).value = Z_deltaw
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 48).value = RPOS_deltaw
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 49).value = R_SI
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 50).value = Z_SI
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 51).value = S_SI
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 52).value = S_Se
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 53).value = Z_Se
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 54).value = R_Se
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 57).value = I

R11 = Min(R_Se, RNEG_deltaw, S_SI)
oXLWorkSheet.Cells(NumContenedor + 1, 11).value = R11
R12 = Min(R_Se, Z_deltaw, S_SI)
```

```
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 12).value = R12
R13 = Min(R_Se, RPOS_deltaw, S_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 13).value = R13
R14 = Min(R_Se, RNEG_deltaw, Z_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 14).value = R14
R15 = Min(R_Se, Z_deltaw, Z_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 15).value = R15
R16 = Min(R_Se, RPOS_deltaw, Z_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 16).value = R16
R17 = Min(R_Se, RNEG_deltaw, R_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 17).value = R17
R18 = Min(R_Se, Z_deltaw, R_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 18).value = R18
R19 = Min(R_Se, RPOS_deltaw, R_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 19).value = R19
R21 = Min(Z_Se, RNEG_deltaw, S_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 21).value = R21
R22 = Min(Z_Se, Z_deltaw, S_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 22).value = R22
R23 = Min(Z_Se, RPOS_deltaw, S_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 23).value = R23
R24 = Min(Z_Se, RNEG_deltaw, Z_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 24).value = R24
R25 = Min(Z_Se, Z_deltaw, Z_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 25).value = R25
R26 = Min(Z_Se, RPOS_deltaw, Z_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 26).value = R26
R27 = Min(Z_Se, RNEG_deltaw, R_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 27).value = R27
R28 = Min(Z_Se, Z_deltaw, R_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 28).value = R28
R29 = Min(Z_Se, RPOS_deltaw, R_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 29).value = R29
R31 = Min(S_Se, RNEG_deltaw, S_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 31).value = R31
R32 = Min(S_Se, Z_deltaw, S_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 32).value = R32
```

```

R33 = Min(S_Se, RPOS_deltaw, S_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 33).value = R33
R34 = Min(S_Se, RNEG_deltaw, Z_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 34).value = R34
R35 = Min(S_Se, Z_deltaw, Z_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 35).value = R35
R36 = Min(S_Se, RPOS_deltaw, Z_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 36).value = R36
R37 = Min(S_Se, RNEG_deltaw, R_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 37).value = R37
R38 = Min(S_Se, Z_deltaw, R_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 38).value = R38
R39 = Min(S_Se, RPOS_deltaw, R_SI)
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 39).value = R39

```

$$Mm = ((R11)^2 + (R12)^2 + (R13)^2 + (R14)^2 + (R15)^2 + (R16)^2 + (R17)^2 + (R18)^2 + (R19)^2 + (R24)^2 + (R26)^2 + (R27)^2 + (R29)^2 + (R37)^2 + (R39)^2)^{0.5}$$

$$P = ((R21)^2 + (R22)^2 + (R23)^2 + (R25)^2 + (R28)^2 + (R31)^2 + (R32)^2 + (R33)^2 + (R34)^2 + (R35)^2 + (R36)^2 + (R38)^2)^{0.5}$$

```
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 55).value = Mm
```

```
oXLWorksheet.Cells(NumContenedor + 1, 56).value = P
```

```
'Obtener centroide
```

```
If (P > Mm) Then
```

```
    resultado = 1
```

```
Else
```

```
    resultado = 0
```

```
End If
```

```
s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("ResultNod3")) = resultado
```

```
s.EntityAttribute(s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("escaneado")) =
```

1

End Sub

```
Public Sub ModelLogic_RunEnd()
```

```
    Dim M As Model
```

```
    Set M = ThisDocument.Model
```

```
    XL.Quit
```

```
    oXLApp.DisplayAlerts = False
```

```
    oXLWorkBook.SaveAs M.Path & "resultadossimulacion2.xls"
```

```
    oXLApp.Quit
```

```
    Set oXLApp = Nothing
```

```
End Sub
```

```
Public Function Min(x As Double, y As Double, z As Double) As Double
```

```
    Min = y
```

```
    If (x <= y) And (x <= z) Then
```

```
        Min = x
```

```
    End If
```

```
    If (z <= y) And (z <= x) Then
```

```
        Min = z
```

```
    End If
```

```
End Function
```

```
Public Function Min1(x As Double, y As Double) As Double
```

```
    Min1 = x
```

```
    If (y <= x) Then
```

```
        Min1 = y
```

```
    End If
```

```
End Function
```