

E-FLOW - SISTEMA INTEGRAL INTELIGENTE DE SOPORTE A LA EVACUACIÓN (1ª Parte)

Trabajo presentado en el 52º Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima que se celebró en Madrid, del 23 al 25 de octubre.

Ernö Péter Cosma, Francisco Pérez Arribas¹
Augusto Morales, Tomás Robles²

¹ Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales (ETSIN)
Universidad Politécnica de Madrid (España)

² Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones
Universidad Politécnica de Madrid (España)

Índice

Resumen / Abstract

1 Tesis doctoral "Modelo híbrido de ayuda al Capitán"

- A Las herramientas que componen el sistema
- B Herramientas para el diseño de redes de evacuación - e-Flow Net Design
- C Herramientas para la Simulación - e-Flow Simulator
- D Algoritmos
- E Infraestructura física y de servicios
 - a Puesto de control
 - b Aplicación para dispositivos móviles
 - c Monitorización e interacción
 - d Infraestructura

2 Proyecto e-Flow - Esquema global

- A Infraestructura física
 - a tecnologías para creación de red e-Flow
 - b Sensores y actuadores
 - c Posibilidades
- B Infraestructura de servicios
 - a Creación y gestión de la infraestructura
 - b Aplicaciones móviles
 - c Posibilidades
- C Seguridad
- D Evaluación de la implementación

3 Agradecimientos

4 Referencias

Resumen

Este artículo trata dos temas estrechamente vinculados: por un lado, se presenta parte del trabajo realizado en la Tesis denominada "Modelo Híbrido de Ayuda al Capitán", cuyos planteamientos han servido de base para la realización del proyecto de I+D+i denominado "e-Flow. Sistema integral de soporte a la evacuación", segundo tema que se trata en este artículo.

Se describirá una herramienta desarrollada para la creación de un modelo de las redes de evacuación (Macromodelo) y otra para realizar simulaciones de comportamiento de individuos (Micromodelo), se hablará de alternativas a los simulacros y se especificarán los requerimientos de una infraestructura física y de servicios para un sistema de ayuda al Capitán. Sobre el proyecto e-Flow, se dará una visión general, describiendo la infraestructura física y de servicios. Se mostrará el potencial que puede suponer la implantación de un sistema cuyas posibilidades van más allá del soporte a la evacuación.

Abstract

This article deals with two topics that are for its intrinsic nature, linked: on one hand it is shown part of the work performed in the Thesis named "Hybrid Model for Captain's support" whose essence is part of the base for the R&D&I project called "E-Flow, Integral system for evacuation support", second issue concerned in this article.

As an outline, in this paper a general description of the tool developed for the creation of the evacuation network model (Macromodel) will be made, as well as for other tool developed for the individual's behavior simulation (Micromodel); different alternatives for the evacuation simulation will be exposed, and the requirements to comply concerning the physical infrastructures and services for implementation of the Captain's support system will be specified. About e-Flow project, a general outline will be drawn, describing physical and services infrastructure, along with the great potential that may have the implementation of this system whose possibilities go far beyond evacuation support.

1. Tesis doctoral "Modelo híbrido de ayuda al Capitán"

En esta Tesis, sobre la que se empezó a trabajar en 2009, se plantea una nueva forma de entender la evacuación apoyándonos en tecnologías existentes y accesibles que permitirán verla y tratarla como un proceso dinámico. Se trata de una metodología que implica, no solo el uso de herramientas de análisis que proporcionen la definición de planes de evacuación en tiempo real, sino que también plantea la creación de una infraestructura física que nutre al sistema con información actualizada, de forma que a medida que evolucionan los acontecimientos sea posible la propuesta en tiempo real de planes alternativos que se adapten a esas nuevas circunstancias.

De la misma manera que la infraestructura física abastece de datos en tiempo real al sistema, también será la que transmita dichas modificaciones al personal de abordaje y al pasaje, constituyendo así una gran plataforma que facilite tanto la toma de decisiones durante el incidente, como la gestión de la información.

En el momento en que la infraestructura de monitorización detecte en una zona una alteración significativa en alguno de los parámetros que muestra un sensor, o detecta una tendencia en mediciones que pueda llegar a desencadenar una situación de emergencia, se comunicará con la aplicación principal de Ayuda al Capitán que será reportado de la incidencia para que pueda tomar las medidas oportunas. Desde la aplicación de Ayuda al Capitán tendrá el control de la señalización dinámica y dependiendo de la alternativa de evacuación seleccionada la señalización se modificará de forma acorde a la configuración que se defina.

Esquema general del modelo propuesto:

Para la generación de planes de evacuación alternativos durante una situación de emergencia, el Capitán dispondrá de una aplicación que se denomina e-Flow y que englobará:

- Los datos que se han obtenido a partir del diseño de la red de evacuación mediante la herramienta **e-Flow Net Design**.
- Los datos provenientes de las simulaciones realizadas con el Micromodelo, en nuestro caso el Micromodelo que se plantea en la Tesis y que se denomina **e-Flow Simulator**.
- La información proveniente de la red física implantada en el buque y que remite información a la aplicación de la situación general del buque (Escora, trimado,...) así como la información particular de cada una de las zonas monitorizadas (Humo, temperatura, ocupación,...).
- Comunicación bidireccional entre el personal propio asignado a tareas de emergencias incluyendo también los medios externos.

Para entender todo el concepto en la Ilustración 1 podemos ver la representación global de todo el sistema.

Bloque A: este bloque trata de la gestión local de las zonas y se basa en la monitorización automatizada de zonas dotadas con los sensores necesarios y con los medios de centralización y tratamiento de la información para el pre-procesamiento de la misma para remitirla mediante sistemas de comunicación que pueden ser tanto alámbricos como inalámbricos.

Cada zona tendrá una unidad central de procesamiento que consistirá en una CPU con suficiente capacidad como para poder procesar la información proveniente de todos los sensores y también estará conectado a un sistema de señalización configurable, de forma que permita la visualización de información acorde con el plan de evacuación en curso.

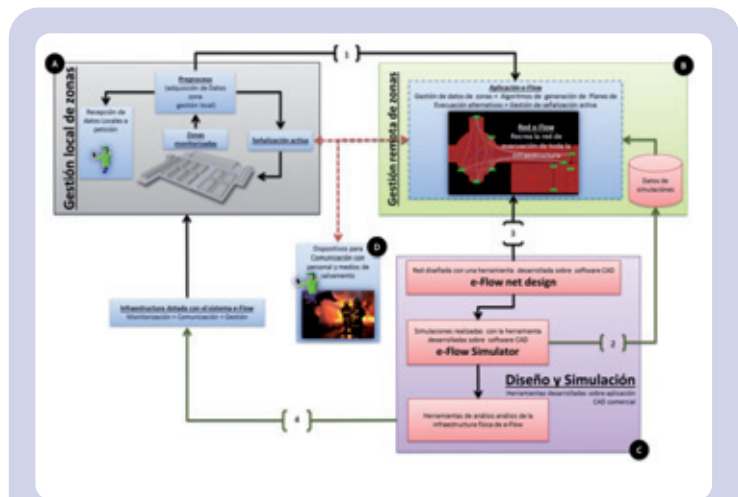


Ilustración 1. Esquema global del Modelo Híbrido de Ayuda al Capitán

Por otro lado, en este bloque también se encuentra la tripulación, que recibirá instrucciones puntuales desde la aplicación de Ayuda al Capitán y podrá enviar también información estableciendo una red de intercambio de datos que permitan una mejor coordinación.

Con independencia de la situación, la información de cada zona será accesible a petición tanto desde la aplicación de Ayuda al Capitán como desde los dispositivos con los que se equiparían a los miembros de la tripulación, de forma que toda la información proveniente de la monitorización pueda ser útil para realizar controles de calidad ambiental, hacer estudios de los niveles de ocupación para tener estadísticas, etc.

Otro aspecto potencialmente interesante reside en la señalización dinámica, que fuera de las ventajas que puede tener durante una situación de emergencia, también tiene grandes aplicaciones durante la operación normal del buque, aportando todo tipo de información al pasaje sobre actividades, ofertas comerciales, etc.

Bloque C: engloba las herramientas que permiten la creación de la estructura de red sobre la cual la aplicación de Ayuda al Capitán va a trabajar generando los planes de evacuación alternativos y los datos de simulaciones de cada zona definida como **ÁREA MODELO**.

En esta Tesis se ha avanzado de forma notable en la creación de las dos herramientas, siendo uno de los aspectos más destacables el hecho de haberlas desarrollado sobre una aplicación CAD comercial como un plugin adicional que aporta dos nuevas barras de herramientas que permiten realizar las operaciones necesarias.

Las dos herramientas desarrolladas son:

- **e-Flow Net Design:** En este grupo de herramientas se encuentra todo lo necesario para crear la red de áreas y nodos así como establecer las relaciones existentes entre ellos y de esa forma tener totalmente definida la red a nivel de macro-modelo. Esta aplicación generará como *input* para la aplicación de Ayuda al Capitán toda la información de las geometrías de las áreas existentes en la infraestructura así como toda la configuración de accesos, de forma que se tendrá totalmente definida la Red.
- **e-Flow Simulator:** Grupo de herramientas que permitirán al usuario realizar simulaciones a nivel de individuo (Micromodelo), siendo el objetivo final la automatización del proceso para todo el conjunto de Áreas e-Flow previamente definidas con e-Flow Net Design. Con estas utilidades, se generarán, entre otras cosas, todos los datos de simulación que alimentarán a la aplicación de Ayuda al Capitán y que permitirán, teniendo en cuenta factores como el de la ocupación, determinar la ruta en cada momento.

Bloque B: Este bloque es el que incluye la aplicación de Ayuda al Capitán y centraliza toda la información y realiza la interacción con los medios de salvamento externos, sistemas de señalización dinámicos y tripulación.

Bloque D: Uno de los elementos fundamentales de este sistema es integrar los medios de salvamento externos e incorporarlos en el flujo de datos, con objeto de que el intercambio de información entre el medio a evacuar y los medios externos sea continuo, de forma que se tenga un conocimiento preciso de la situación por parte de los medios que van a acudir en rescate del buque que está sufriendo la emergencia, por lo que a esos medios externos se les dotaría de la herramienta que facilitase ese intercambio de información proveniente de la aplicación de Ayuda al Capitán.

A. Las herramientas que componen el sistema

A la hora de abordar la programación de una aplicación enfocada a la simulación o al diseño de redes de evacuación, una de las tareas más arduas y que mayor tiempo de desarrollo requerirá es la creación de las herramientas que permitan el diseño de la red, en el caso del Macromodelo, y el diseño del escenario de simulación, en el caso del Micromodelo, siendo estas dos utilidades imprescindibles.

La solución a esta necesidad pasa por dos alternativas, importar los escenarios creados con software CAD a la aplicación de diseño de red o de simulación, o bien, dotar a las aplicaciones de herramientas que permitan el diseño del entorno.

Adoptando cualquiera de las dos opciones el desarrollo del entorno gráfico y de herramientas manejables no es nada trivial.

Más allá de la simple recreación del entorno de trabajo y de la creación de los elementos gráficos que intervendrán durante la simulación o el diseño de redes, existen complejos cálculos a realizar relativos a la detección de colisiones, distancias, trayectorias y un largo etcétera, y todo ello deberá ser soportado en la nueva aplicación antes de plasmar el modelo de comportamiento propuesto o el diseño de una red sobre la que trabajará el algoritmo que aporte planes de evacuación alternativos, siendo estas dos cuestiones las que realmente se quieren someter a estudio. Es por ello que el planteamiento seguido a la hora de abordar la creación de una aplicación enfocada hacia el diseño de las redes de evacuación y otra hacia la simulación del comportamiento de personas, se ha orientado como el diseño de un conjunto de herramientas integradas en un software consolidado de diseño CAD que permite, no solo el uso de la potencia de una herramienta de diseño gráfico con utilidades y resultados consolidados que resuelve sobradamente las necesidades de diseño de redes y escenarios, sino que también cuenta con toda una biblioteca de funciones y subrutinas que resuelve la mayor parte de las necesidades en cuanto análisis de geometrías que están necesariamente implicadas en una simulación o en un diseño de red evitándonos decenas de miles de líneas de código y un tiempo de desarrollo enorme, sobre todo si se da el salto de un entorno bidimensional al tridimensional.

Un desarrollo sobre una aplicación CAD permitirá disponer de una herramienta con gran potencia de cálculo y con desarrollos consolidados, así que el criterio que se sigue es llevar todo lo que implique diseño a una herramienta creada para el diseño y construir sobre ella de la misma forma que se desarrollan en base a estas herramientas plugins que permiten el análisis de estructuras, crear animaciones, etc.

Son muchas las aplicaciones CAD existentes en el mercado, y hoy en día todas ellas, o al menos las más conocidas, podrían servir como plataforma para estos desarrollos. Basta con que dispongan de la po-

sibilidad de crear scripts propios enmarcados en barras de herramientas propias, por lo que lo que se está desarrollando en estos momentos podría ser extrapolable a cualquier otra aplicación CAD 3D y posiblemente sin excesivo esfuerzo, debido a que los elementos utilizados son prácticamente comunes en todos ellos (Capas, líneas, curvas, distancias, intersecciones, propiedades, etiquetas, etc.).

Rhinoceros^[1] es una herramienta creada por Robert McNeel & Associates basada en NURBS que se desarrolló originalmente como un agregado para AutoCAD de Autodesk.

La versión sobre la cual se desarrolla la herramienta para el diseño de las redes de evacuación y la simulación a nivel de micro-modelo es la 4.0.

A la hora de elegir la aplicación sobre la cual desarrollar estas herramientas se han tenido en cuenta varios aspectos:

- Como herramienta de diseño: Se buscaba una herramienta de manejo intuitivo y eficaz tanto en 2D como 3D, con máximas capacidades de importación y exportación de ficheros CAD y con capacidad de renderizado.
- Interface de usuario: No olvidemos que al construir nuestras herramientas sobre una aplicación existente, no podemos definir el interface de usuario y el manejo de las herramientas según nuestro criterio, sino que debemos seleccionar aquella aplicación que más se aproxime a lo que entendemos como ideal para el objetivo que buscamos.
- Programación: Otra de las condiciones era un entorno de desarrollo accesible, sencillo y potente, que permita aprovechar toda la capacidad de la aplicación CAD. Era también importante tener acceso a manuales de programación específicos y la existencia de foros, tutoriales, blogs, etc. que pudiesen dar respuesta a problemas que puedan surgir durante el desarrollo.
- Coste: También era importante tener en cuenta el coste de la aplicación ya que, aunque el conjunto de herramientas desarrolladas están enfocadas hacia su uso exclusivo por parte de los instaladores de la infraestructura e-Flow (el objetivo no es su comercialización), un coste excesivo de la aplicación sobre la que cree también implicará menores posibilidades de acceso por parte de terceros. No obstante, como ya se menciona en párrafos anteriores, sería igualmente factible repetir este desarrollo (con las adaptaciones necesarias) sobre otras aplicaciones que reúnan condiciones similares a las de Rhinoceros.

Todas estas condiciones las reúne Rhinoceros, una aplicación enfocada hacia el diseño industrial, arquitectura, industria naval, joyería, CAD/CAM, prototipado rápido, ingeniería inversa, diseño gráfico y multimedia, con un amplio soporte^[2] para desarrolladores a través de manuales, tutoriales, foros, soporte, etc.

Uno de los puntos fuertes de la elección de Rhinoceros es la existencia de un editor de scripts denominado Monkey^[2], el cual incluye un compilador que traduce los scripts creados con Monkey (archivos de extensión .rvb) en plugins de extensión .rhp. Este editor facilita notablemente las tareas de programación de las diferentes funciones y subrutinas que componen el conjunto de herramientas desarrolladas tanto por sus características como editor, como por incorporar una completa descripción de todos los métodos disponibles en Rhinoceros.

El lenguaje de programación se denomina RhinoScript^[3] y está basado en Visual Basic, un lenguaje de programación de alto nivel que permite una programación sencilla y de fácil comprensión.

B. Herramientas para el diseño de redes de evacuación – e-Flow Net Design

Para el diseño de la red de evacuación se han desarrollado un conjunto de herramientas que permiten la creación de la red que será pos-

teriormente exportada a la aplicación que gestionará la información de las zonas monitorizadas por la red física implantada en la infraestructura dotada de este sistema y que determinará las alternativas para la evacuación en función de las condiciones del momento.

Entre las herramientas de e-Flow Net Design se encuentra todo lo necesario para crear la red de áreas y nodos así como establecer las relaciones existentes entre ellos y de esa forma tener totalmente definida la red a nivel de macro-modelo.

Las fases a la hora de diseñar la red son sencillas, lo más complejo es diseñar el escenario que puede tener tanto detalle como se desee, teniendo en cuenta que estamos trabajando con una herramienta de diseño y tenemos todas las posibilidades a nuestro alcance.

Creamos con las herramientas de Rhinoceros las superficies que consideraremos como Áreas e-Flow dentro de los elementos que constituyen la red e-Flow y representaremos con circunferencias los Nodos de la red e-Flow, siendo estos Nodos los accesos a cada área de forma que su diámetro es el ancho del acceso (Ilustración 2).

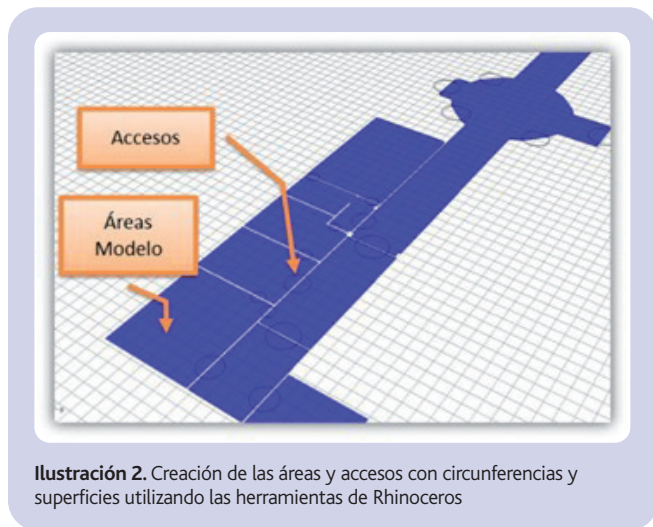


Ilustración 2. Creación de las áreas y accesos con circunferencias y superficies utilizando las herramientas de Rhinoceros

Una vez llegado a este punto se utiliza la herramienta "Add e-Flow Elements" que permite la incorporación de accesos (representados con círculos) y áreas (representadas por superficies). La herramienta identifica automáticamente si el elemento seleccionado será un Nodo o un Área Modelo por el tipo de elemento gráfico del que se trate, lo cual hace que este proceso sea rápido.

Una vez empleada esta herramienta, las superficies y circunferencias definidas sobre la arquitectura pasan a tener un aspecto como el que se puede apreciar en la Ilustración 3.

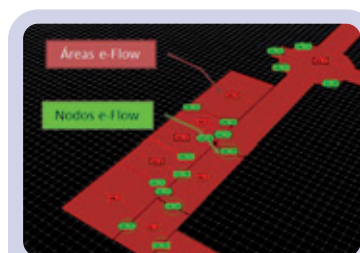


Ilustración 3. Nodos y áreas de e-Flow

Los nodos y las áreas que pertenecerán a la red e-Flow se representarán de forma distinguible del resto del diseño de la siguiente forma:

Nodos: Capa color verde con etiquetado verde y con nomenclatura efn_ (índice de elemento) situado en el centro del nodo.

Áreas: Capa color rojo con etiquetado rojo y con nomenclatura efa (índice de elemento) situado en el centroide de la superficie. Una vez

definidos estos elementos de la red se determinará la relación existente entre cada área y sus respectivos accesos, para lo cual se utilizará la herramienta

"Manual Relations". Esta herramienta solicita primero un Área e-Flow y luego los nodos relacionados con la misma, tras lo cual crea unas líneas de color azul denominadas "Relations" que expresan gráficamente esta relación y que parten del centroide del Área hasta cada uno de los centros de los diferentes nodos asociados a la misma. Esta misma herramienta genera todos los path (ramas) posibles entre los nodos asociados mediante curvas (inicialmente rectas) (Ilustración 4).

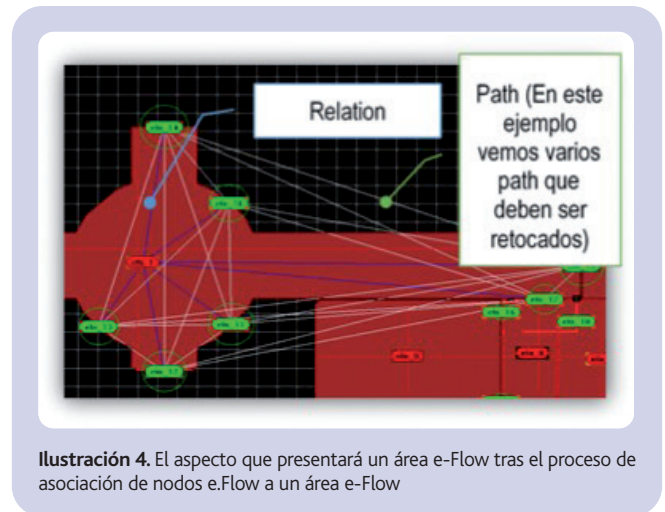


Ilustración 4. El aspecto que presentará un área e-Flow tras el proceso de asociación de nodos e-Flow a un área e-Flow

Tras generar esta asociación, es importante retocar todas las ramas que representen la trayectoria entre dos nodos en caso de que se produzca alguna interferencia con mobiliario o elementos estructurales (Paredes, columnas, etc). Para esta tarea se ha incluido en la barra de herramientas una de las ya existentes en Rhinoceros con el fin de que sea más accesible durante el diseño. Esta herramienta permite la activación y desactivación de los puntos de control del Path y la modificación de su posición y por ende del trazado de la curva.

Repetiendo este proceso entre tendremos definidos todos los elementos que constituirán la red de e-Flow y que serán finalmente:

- **Nodos:** representa los accesos.
- **Áreas:** representa las zonas de la infraestructura que se corresponderán con una zona monitorizada por la red de sensores e-Flow.
- **Path:** Son las ramas de la red y representan la trayectoria que debe recorrer un individuo que vaya de un nodo a otro (lo ideal sería la

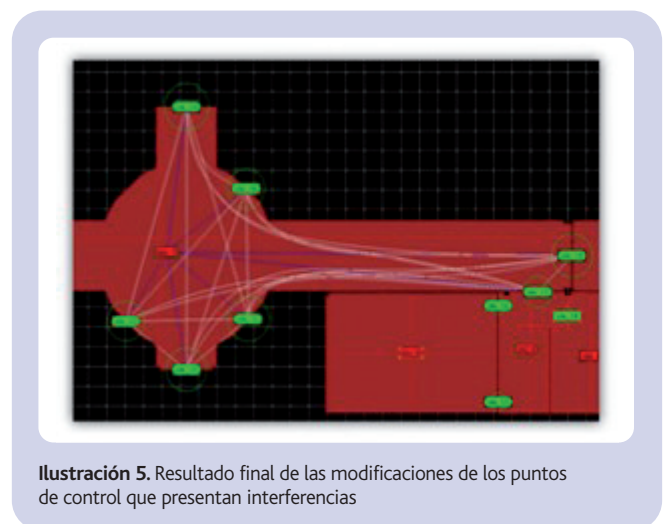


Ilustración 5. Resultado final de las modificaciones de los puntos de control que presentan interferencias






	Herramienta que detecta de forma automática los elementos de tipo superficie y circunferencia, convirtiéndolos en Áreas y Nodos de e-Flow.
	Esta herramienta permite que el usuario seleccione un área de la red e-Flow y buscará todos los nodos que estén relacionados con esta área, generándose de forma automática todas las relations entre el área y los nodos asociados, así como todos los paths existentes entre los nodos asociados a las ramas.
	Esta herramienta automatiza el proceso de la herramienta anterior, de forma que detecta automáticamente todas las áreas que se han incorporado a la colección de Áreas e-Flow y crea todos los path y relations existentes.
	El objetivo de esta otra herramienta es poder quitar de la colección de elementos de e-Flow un área o nodo. Las paths y relations que puedan existir entre los elementos afectados se eliminarán de forma automática, manteniendo así la consistencia de la información asociada a las áreas y nodos.
	Esta herramienta inicializa el diseño de la red haciendo que todos los accesos y áreas dejen de ser elementos de e-Flow y eliminando todas las relaciones y ramas creadas.

Tabla 1. Otras herramientas de e-Flow Net Design


trayectoria de mínima distancia) (aunque con Rhinoceros se puede añadir en cualquier momento puntos de control a una curva, se ha facilitado el trabajo de diseño creando las ramas como una curva recta con cuatro puntos de control, lo suficiente para hacer la mayor parte de las modificaciones en la trayectoria).

• *Relations*: No se trata de un elemento que defina la red, pero si permite visualizar la correcta asociación de nodos a las áreas.

El procedimiento explicado es un procedimiento manual que el usuario controla de principio a fin, pero dentro del bloque de herramientas se han creado varias que agilizan el proceso:

Para aprovechar todas las herramientas que permiten automatizar el proceso de generación de la red, es preciso que se realice el diseño de toda la geometría de la infraestructura usando de forma adecuada las capas, de manera que se pueda gestionar adecuadamente la visualización de las superficies y curvas que pasarán a formar parte de la red e-Flow haciendo invisible todo aquel elemento que no pase a ser elemento de e-Flow ya que la detección automática se hace sobre todas las curvas y superficies visibles.

Además de las herramientas de diseño de red existen otras dos que son fundamentales:

 “Export to Excel” Esta herramienta generara una imagen del área de la que se obtiene información y un archivo excel, también para cada área, con el siguiente contenido: Nombre del área, superficie útil (m²), coordenadas (x, y, z) del centroide, lista de nodos (accesos) asociados paths existentes en el área con todos los parámetros que los definen.

La distribución de anchos a lo largo de un Path indica, por ejemplo, el ancho de un pasillo a lo largo de una trayectoria entre dos nodos, siendo los valores iniciales y finales los anchos de los accesos representados por los nodos. Esta información será utilizada en la aplicación de gestión de planes de evacuación.

A la hora de determinar los anchos de sección la herramienta tendrá en cuenta los “huecos” que producen elementos estructurales que estén presentes en el diseño y que reducirán, en consecuencia, los anchos de sección a lo largo de la trayectoria definida con el path.

Con este conjunto de herramientas se obtiene de una forma muy sencilla una gran cantidad de información que nos permitirá definir con detalle un diseño completo de la red de evacuación. El consumo de recursos a la hora de crear e-Flow Net Design es muy inferior al que requeriría un desarrollo desde cero de una aplicación capaz de realizar estas mismas tareas y la calidad de los cálculos

geométricos están sustentados en los desarrollos de un producto comercial específicamente creado para trabajar con modelos 3D, por lo que los resultados en ese sentido están abalados por el desarrollador.

C. Herramientas para la Simulación – e-Flow Simulator

Tras el diseño de la red de evacuación con las herramientas de e-Flow net Design, se tendrán identificadas las Áreas e-Flow y los accesos asociados a cada una de ellas.

Partiendo de esta base, se desarrolla otro paquete de herramientas que constituyen el e-Flow Simulator que permitirán al usuario realizar simulaciones a nivel de individuo (Micromodelo), siendo el objetivo final la automatización del proceso para todo el conjunto de Áreas e-Flow.

La herramienta “Test Area” será la que se utilizará para realizar la simulación, de forma que lo primero que se solicitará al usuario es que seleccione un área perteneciente a la red e-Flow.

En la fase actual de desarrollo, la herramienta generará el número de individuos que indique el usuario distribuyéndolos de forma aleatoria en el área seleccionada. Las características de los individuos también se generarán de forma aleatoria entre unos valores máximos y mínimos o mediante estados según el tipo de parámetro que caracterice al individuo.

Algunas de las características definitorias de cada individuo que se encuentran implementadas en esta fase de desarrollo son:

- Identificador: cada individuo será bautizado con un identificador único (W_nº de individuo)
- Motrices: Velocidad [m/s]: Esta velocidad será la máxima que puede alcanzar el individuo y que podrá ser modificada por factores como la densidad, inclinación y otros factores que se encuentran ya incorporados al modelo o cuya implementación está prevista.
- Sensitivas: Ángulo de visión [Medida angular en grados] y Alcance visual [m]
- Antropométricas: Estatura [m], tórax [m], ancho de hombros [m]

Se han añadido otros elementos que influyen en el comportamiento del individuo como por ejemplo el Objetivo:

Un individuo podrá seguir un objetivo, y dicho objetivo puede ser: Una salida activa (7), una señal (Ilustración 6) o un individuo que sigue un objetivo (Ilustración 8).

El orden de prioridades para el individuo será el mismo que aparece en la lista, de forma que si detecta una salida activa, ésta será su objetivo durante la simulación. El individuo optará por seguir el camino más despejado (Ilustración 9) en caso de carecer de cualquiera de los tipos de objetivo enumerados. En la descripción del algoritmo de comportamiento se detalla la forma en la que se trata la gestión de objetivos.

La herramienta para simular una determinada Área e-Flow también da la opción al usuario de definir zonas asociadas al Área con de objeto permitir al usuario definir la ubicación de los individuos que se dispondrán de forma aleatoria sobre esta o estas delimitaciones, de esta manera se pueden colocar por ejemplo, alrededor de una mesa, en camarotes o habitaciones, especificando la zona.

La siguiente fase en el proceso de preparación de una simulación es definir una forma humanoide tridimensional, si el usuario así lo de-

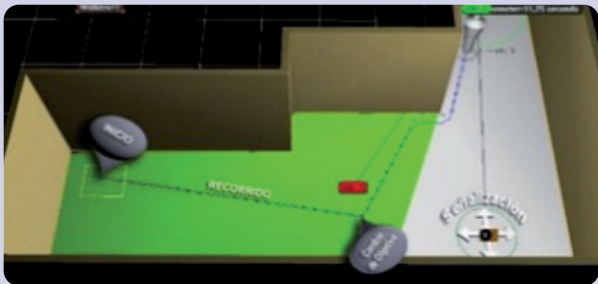


Ilustración 6. Individuo dirigiéndose hacia señal hasta que la salida entra en su campo visual

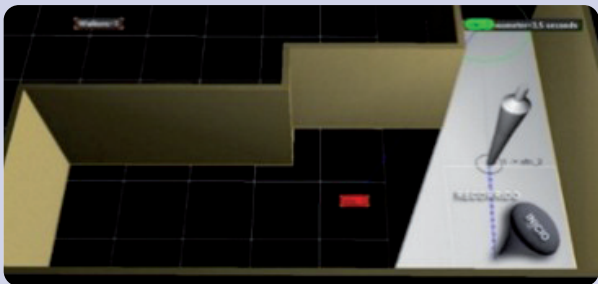


Ilustración 7. Individuo dirigiéndose a salida



Ilustración 8. Individuo 1 sigue a individuo 2 que tiene un objetivo, en este caso la salida

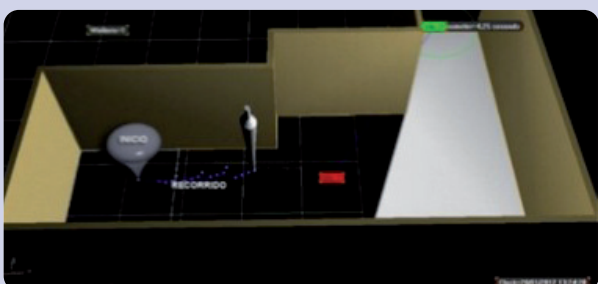


Ilustración 9. individuo siguiendo el camino más despejado

sea. En caso contrario los humanoides se verán representados como elipses donde el diámetro mayor será el ancho de hombros y el menor lo define el tamaño del tórax (Ilustración 11).

La representación 2D aparecerá en cualquier caso y tendrá asociada a cada individuo una etiqueta que indicará:

- **N1:** el nombre del individuo
- **N2:** indica el identificador del objetivo, pudiendo ser el identificador de una salida o de otro individuo que ha encontrado algún objetivo. En caso de no encontrar objetivo aparecería la palabra "None".

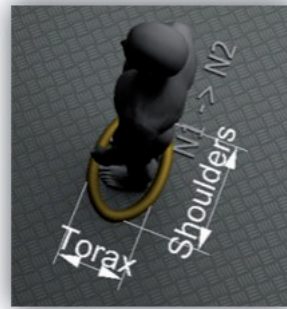


Ilustración 10. modelo 2D y modelo 3D

En principio solo se da la opción de asignar una única figura humanoide que se posicionará sobre la elipse 2D y se escalará de forma que encaje perfectamente en el cilindro de sección elíptica que se define con el ancho de hombros, el tórax y la estatura de cada individuo. Uno de los próximos pasos que se dará será la definición del género y la edad como propiedades de los individuos de forma que podamos llegar a asignar un modelo 3D para hombres, mujeres, niños y ancianos permitiendo que la visualización de la simulación aporte mucha más información a primera vista en lo referente a la distribución de la población.

Tras este paso, lo único que resta es definir el nº de simulaciones que se quiere realizar para cada configuración de accesos. A partir del momento en que se indique el último valor, se pone en marcha el proceso de simulación, y será un proceso que se desarrollará de forma totalmente automática.

Para cada configuración de accesos se realizará el número de simulaciones solicitadas por el usuario. El número de configuraciones posibles de accesos sigue el denominado "Triángulo de Pascal, de Tartaglia o Aritmético" (Ilustración 13), donde la suma de los valores de una fila de la pirámide da como resultado el número de configuraciones posibles de las salidas.

Para n salidas posibles el número de simulaciones a realizar en un área considerándola como origen será:

$$NTZO = 2^n - 1$$

Ecuación 1: Número de test como zona origen

El "1" que se descuenta es por el test para 0 salidas habilitadas, test que no tiene sentido realizar.

Otras simulaciones que se pueden llegar a implementar más adelante en este proceso automático, serán los de las áreas como zonas de paso, de forma que lo que se analizará serán los tiempos de paso de

La ordenación de los elementos de esta matriz triangular en forma de pirámide recibe el nombre de "Triángulo de Pascal, de Tartaglia o Aritmético"

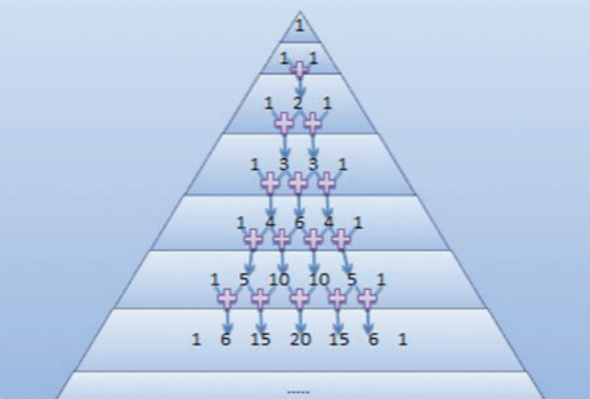


Ilustración 11. triángulo de Pascal, Tartaglia o Aritmético

un individuo de un acceso habilitado a otro (Esto solo tendrá sentido en áreas con más de un acceso). En este caso, el nº de simulaciones a realizar será:

$$NTPZ = n(n-1)/2$$

Ecuación 2: Número de Test como zona de paso

En total, si se implementan ambas simulaciones tendremos que a la suma de NTZP y NTZO hay que multiplicarle el nº de simulaciones definidas por el usuario para cada caso a analizar.

Al final de este proceso que se realiza para cada Área Modelo, la información se volcará en una base de datos en la que se tendrán los tiempos de salida del primer y último individuo por cada salida habilitada que se encontraba en el área a estudio y todo ello en función de la ocupación.

Estos datos alimentarán a la aplicación e-Flow junto con la información que aportará la infraestructura física de monitorización.

Todo este proceso definido para un área será el que se realice de forma automatizada para cada una de las áreas definidas con **e-Flow Net Design**.

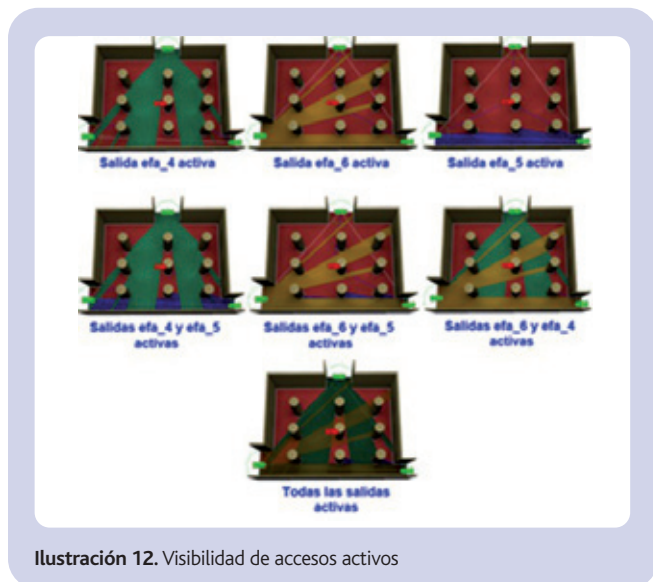


Ilustración 12. Visibilidad de accesos activos

Con esta única herramienta se ponen en marcha las simulaciones, pero para preparar el escenario se han creado otras herramientas que ofrecen interesantes posibilidades:

La herramienta **Shadow Areas** es una utilidad que permite comprobar, antes de realizar las simulaciones, las zonas desde las cuales no se ven los accesos, teniendo en cuenta su posición y los elementos estructurales que puedan impedir la visibilidad de las mismas.

Esta herramienta, combinada con otra que se comentará a continuación y que permite crear elementos de señalización, permitirá optimizar la posición de dichas señales, de forma que con independencia de los accesos que estén habilitados, un individuo pueda llegar a ellos.

En la Ilustración 13 se puede ver para un área con 3 accesos, las diferentes configuraciones que se pueden dar y que deberán ser simuladas.

Las zonas de color rojo nos muestran aquellas regiones en las que un individuo no podrá ver la situación de la salida o salidas activas y por tanto, se debe realizar un refuerzo a base de señales para cubrir las zonas desde las cuales los accesos no son visibles.

La herramienta "Create Signal" será de gran utilidad en combinación con la herramienta "Shadow Areas". Esta herramienta considera que la señalética será dinámica, tal y como se define en el proyecto de forma que, según los accesos habilitados, las señales se configurarían indicando la dirección hacia la salida habilitada más próxima o la siguiente señal que se encuentre más cerca de una salida, creando una cadena de indicaciones.

Es conveniente ejecutar previamente la herramienta "Shadow Areas" para tener claras las zonas desde las que no son visibles los accesos. Posicionar una señal en un lugar u otro puede ser adecuado para una configuración de accesos, mientras que para otra puede que esa señal no aporte nada, por lo que lo ideal sería conseguir que las señales posicionadas sean útiles para la mayor parte de configuraciones de accesos. Esto se conseguirá ubicando las señales en regiones en las que se intersecten todas, o la mayor parte de las zonas que marcan la visibilidad de cada acceso, ya que una señal posicionada de esa manera tendrá su propia región desde la que será visible y además, desde ella, serán visible la mayor parte de accesos. Otra máxima a seguir es hacer que una señal siempre esté sobre la región desde la que sea visible al menos otra señal, de forma que sea posible seguir una cadena de señales y no quede ninguna aislada.

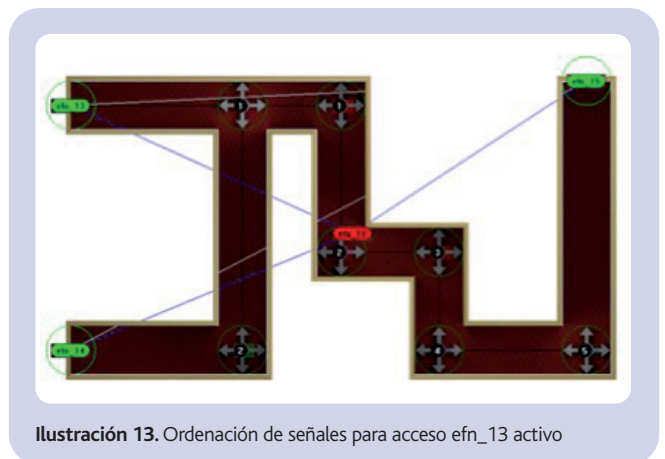


Ilustración 13. Ordenación de señales para acceso efn_13 activo

Las señales dispuestas sobre el escenario de simulación se orientarán de manera automática y el método que se seguirá para determinar la orientación consiste en fijar el orden de prelación de las mismas basando el proceso en una relación de visibilidad en cadena tomando como primera referencia la salida activa hasta la última señal (Ilustración 13).

En caso de que exista más de una salida activa, la señal tendrá como posición en la ordenación, aquella que sea más baja, es decir, más próxima a una de las salidas. Esto no implica que se recorra menos distancia hacia una salida, sino que el número de indicaciones a seguir hasta la salida será menor.

Se podría decir que es un sistema similar al de potenciales utilizado en el proyecto SIFBUP^[16] pero con la salvedad de que en este caso no se condiciona el movimiento de los individuos indicando claramente por donde deben avanzar, sino que trata de simular lo que en la realidad sucede cuando un individuo busca una indicación y la sigue de forma natural. En el Micromodelo del proyecto SIFBUP el individuo conocía el camino a seguir, mientras que aquí el individuo busca el camino, una diferencia importante que permitiría optimizar la señalización dinámica para emergencias.

Esta ordenación se realizará de forma automática antes de iniciarse la simulación para cada configuración de accesos de la batería de simulaciones, aunque es conveniente realizar una comprobación previa

con objeto de determinar si realmente existe una cadena de señalización hacia la salida o salidas existentes. Este proceso de comprobación previo también detectará la presencia de señales aisladas, es decir, señales que al ser seguidas por un individuo, este no podrá encontrar ninguna otra señal que indique hacia dónde debe ir y tampoco ninguna salida, implicando esto un fallo de diseño en la señalización que debe ser subsanado.

La herramienta "Test Signals" permite realizar este análisis indicando qué salidas del área consideramos activas. Una vez se crea la configuración de accesos que se quiere probar, el algoritmo detectará las señales aisladas y la cadena de señalización que se generará para el caso que se está probando.

Para distintos accesos activos el proceso de ordenación daría resultados también distintos, por lo que el método a seguir puede no ser único y dependiendo de cuál se elija, el resultado también cambia. La alternativa que se tomará en este caso es mantener el orden más bajo, es decir, si desde un acceso la señal tiene una posición 2 y desde otro una posición 3, lo que haremos será mantener el índice 2.



Ilustración 14. Creación de obstáculos

Una vez que el individuo entra dentro del radio de la circunferencia que simboliza una señal, el individuo amplía su campo de visión y busca en los 360° el siguiente objetivo, asegurándose de esta forma que el objetivo a seguir será el adecuado siempre que la señalización sea correcta.

Otra de las herramientas que forman parte de e-Flow Simulator permite añadir o quitar obstáculos al escenario, de forma que los individuos verán alterada su trayectoria por la presencia de los mismos. La forma básica de añadir un obstáculo es situar sobre el área una superficie coplanaria representando la proyección del obstáculo sobre el suelo del escenario. Para que el vídeo generado de la simulación sea más completo, se puede superponer a esa superficie el modelo 3D del obstáculo en cuestión (Ilustración 14).

El modelo está siendo preparado para ser afectado por la pendiente, de forma que se pueda simular el comportamiento de los individuos con un escenario como el de un buque que sufre una determinada escora, trimado o una combinación de ambos. Se podrá implementar los datos obtenidos de la experimentación e incluir así el efecto de la pendiente sobre la velocidad de cada individuo, para lo cual se aplican las rotaciones necesarias al escenario para reproducir la escora y trimado con las herramientas propias de Rhinoceros. También se pretende incluir el efecto del movimiento del buque, para lo cual se ha creado esta herramienta que pide como entradas: Trimado y escora inicial así como sus amplitudes y frecuencias. Por el momento se ha comprobado la viabilidad de este tipo de simulación y se intuye que el movimiento es comparable en cuanto a trayectorias se-

guidas, pero aún es pronto para decir que los datos que se obtienen se ajustan suficientemente a la realidad.

La herramienta "Analyze distances between elements" es de gran utilidad, ya que permite detectar zonas que son excesivamente estrechas de una forma rápida, basta con seleccionar el área a estudio e indicar cuál es la distancia a partir de la cual se considera que el estrechamiento es excesivo. En el proceso se utilizan tanto los contornos del escenario como todos los obstáculos que se encuentren en él.

Tras el proceso se genera un mapa como el que aparece en la Ilustración 16, viéndose claramente las zonas críticas apareciendo a la derecha del escenario una barra con los gradientes de color que representa las diferentes distancias para un análisis rápido.



Ilustración 15. Análisis de distancias críticas

Vistas las posibilidades que se pueden plantear con e-Flow Simulator es importante destacar que durante el proceso de simulación se generan varias salidas de datos de forma totalmente automática para cada configuración de accesos presente en el área a estudio, generándose para cada caso, varios archivos Excel con toda la información tomada durante la simulación, y con los datos de las poblaciones.

También se crean completos informes con resultados estadísticos calculados a partir de los datos.

También existe la posibilidad de generar una animación completa de la simulación (Ilustración 16).

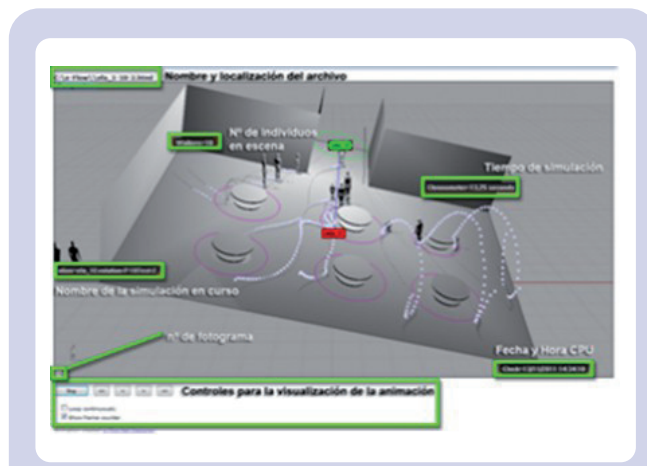


Ilustración 16. Análisis de distancias críticas

Por otro lado, se crea para cada simulación Archivo Rhinoceros con la configuración de partida para la configuración de accesos que se simula.

D. Algoritmos

En la Tesis se han creado multitud de algoritmos que se han implementado en los diferentes desarrollos realizados.

Se puede decir que los más importantes se han creado en el ámbito de la obtención de alternativas para los planes de evacuación en base a la situación de la infraestructura, para lo cual se ha creado una familia de algoritmos que se han denominado Minimum Decision Algorithms (MDA).

La premisa principal sobre la que se plantea esta familia algoritmos es que la clave no está en que la prioridad para determinar la ruta asignada a los pasajeros sea la de mínima distancia, sino que la prioridad está en determinar la ruta que implique tomar un menor número de decisiones teniendo en cuenta que la distancia no supere una distancia máxima que vendría definida por el hecho de que para la evacuación se determina un tiempo máximo y por ende, el último pasajero deberá alcanzar el objetivo en un tiempo menor o igual a ese tiempo máximo.

Todos estos algoritmos se han probado sobre grafos creados en la aplicación e-Flow, siendo una modificación de una de ellas la que se utiliza para la gestión de las señales dinámicas cuando no se dispone del dato de la ocupación, pero si del estado de la infraestructura.

Las limitaciones de espacio obligan a dejar este tema para futuras publicaciones y nos centraremos en el algoritmo desarrollado para simular el comportamiento de los individuos con e-Flow Simulator que realmente se compone de dos algoritmos concatenados, uno que decide una dirección preferente y otro que ejecuta el movimiento en base a esa dirección preferente.

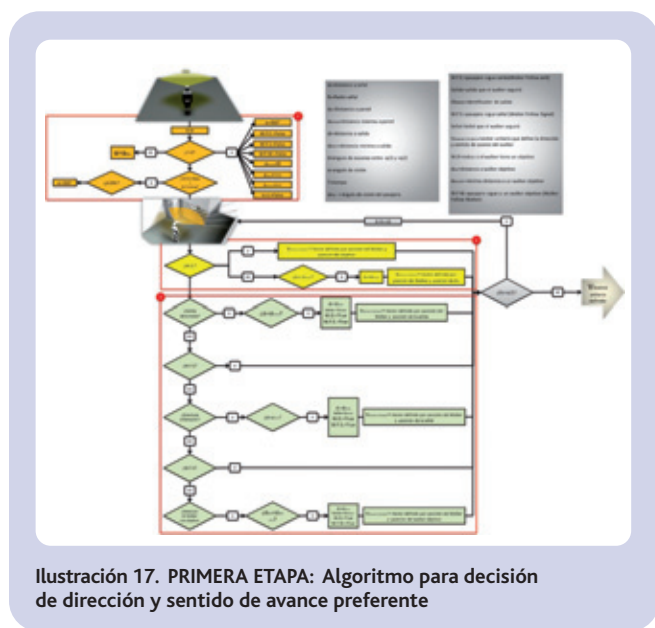


Ilustración 17. PRIMERA ETAPA: Algoritmo para decisión de dirección y sentido de avance preferente

Chequeos y cálculos previos^[1]

- Iniciamos varias variables del proceso de escaneo de entorno
- Cálculo del efecto de inclinación del terreno sobre el individuo (función "Inclination_effect")
- Representación de la densidad de ocupación en torno al Walker (Función "Density"). En este caso calculamos la densidad para un radio entorno al individuo de 0.56419 m para que sea un disco de 1m2
- Comprobación de que el individuo está dirigiéndose hacia una salida que detecto previamente. Esta será hacia la que se dirija a no ser que encuentre una más próxima en el proceso de escaneo
- Al iniciarse el movimiento del individuo lo primero que realiza es un escaneo de 360° para analizar todo el entorno. Este mismo proceso lo realiza si alcanza el radio de acción de un elemento señalizador.

¿Se trata de un individuo objetivo?^[2]

- En caso de que el individuo que se está analizando tiene definido un objetivo su vector de avance unitario es el que apunta desde su centro al centro del objetivo, pero aun teniendo ya un objetivo, el individuo sigue el proceso de detección para buscar objetivos mejores a los que dirigirse o seguir. Una de las mejoras que se pretende implementar en futuras versiones es la reducción del campo de visión del individuo si éste ya sigue el objetivo. Conceptualmente parece lógico que sea así ya que el individuo centra realmente más su atención en el objetivo que sigue que en el entorno. Este cambio también agilizará el proceso de simulación ya que reducirá las iteraciones.
- En caso de que no siga ningún objetivo se dirigirá allá donde el camino esté más despejado.

Escaneo del entorno

- Se hace mediante haces rectos de origen el centro de la elipse que representa al individuo y de extremo el punto de contorno con el que colisiona el haz.
- El escaneo se realiza entre $(-dblViewingAngle/2)$ y $(dblViewingAngle/2)$ con un paso de $dblAngleStep$ siendo $dblViewingAngle$ el ángulo de visión.

¿Qué se busca durante el escaneo?^[3]

- Prioridad 1: Detección de salidas
- Prioridad 2: Detección de Señalización
- Prioridad 3: Detección de individuos que tienen alguna referencia de una salida. Este análisis utiliza la función "VisualInterference" que analiza la visual entre dos individuos, es decir, determina si un individuo puede ver a otro ya que un individuo solo podrá seguir a otro que sea visible para él.
- Prioridad 4: Búsqueda del camino más despejado
- El individuo, si no satisface una prioridad pasará a la siguiente.
- En caso de encontrar varios objetivos con el mismo nivel de prioridad la premisa será elegir siempre el objetivo más próximo
- Asignación de propiedades al individuo que ha encontrado una salida o una referencia de salida lo cual lo convierte también en referencia para otros individuos

Fin del proceso de decisión de dirección y sentido de Avance

- Tras el proceso anterior ya se dispone de un nuevo vector unitario que define la dirección y sentido de avance del individuo basado en un modelo de prioridades

Tabla 2.