



**Universidad de las Ciencias Informáticas**  
**Facultad 5**

# **Percepción auditiva para el Sistema de Percepción Genérico**

Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero en  
Ciencias Informáticas

**Autor:** Ernesto Tejeda Poveda

**Tutor:** Ing. Alexey Broche Medina

Ciudad de la Habana

Julio de 2012

**DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Declaro ser autor de la presente tesis y reconozco a la Universidad de las Ciencias Informáticas los derechos patrimoniales de la misma, con carácter exclusivo.

Para que así conste firmo la presente a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ del año \_\_\_\_\_.

---

**Autor:** Ernesto Tejeda Poveda

---

**Tutor:** Ing. Alexey Broche Medina

## **DATOS DE CONTACTO**

### **Datos generales del Tutor:**

**Nombre y apellidos:** Ing. Alexey Broche Medina

**Especialidad:** Ingeniería en Ciencias Informáticas

**Años de experiencias:** 3 años

**Correo electrónico:** abroche@uci.cu

**Teléfono de contacto:** 837 8849

**AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco a todos los que ayudaron de una forma u otra a realizar esta tesis de grado.*

## DEDICATORIA

*A mi familia, especialmente a mi madre.*

## **RESUMEN**

En la actualidad se desarrollan entornos virtuales con fines educativos, de entretenimiento, de entrenamiento militar, entre otros. La percepción es uno de los aspectos más importantes de la inteligencia artificial, es un factor clave para la toma de decisiones de los agentes autónomos. Entre los tipos de percepción que existen y que aportan realismo a los videojuegos, se encuentra la percepción auditiva, por lo cual se realiza esta investigación con el fin de dotar con esta capacidad al Sistema de Percepción Genérico para agentes autónomos en videojuegos (SPG) que se desarrolla en la universidad.

Para la realización de este trabajo se realizó un estudio del existente SPG y se desarrolló la percepción auditiva para integrar a este sistema. Se proponen varios niveles de percepción y se permite al programador, escoger qué nivel asignar a cada uno de los agentes. Los niveles consisten en algoritmos implementados con distintos grados de complejidad, basados en un estudio físico sobre propagación del sonido. Con la percepción auditiva incorporada el agente es capaz de escuchar un sonido cuando es audible para él, y de esta forma podrá tomar la acción correspondiente.

**TABLA DE CONTENIDO**

INTRODUCCIÓN ..... 1

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA ..... 4

    Introducción ..... 4

    1.1 La percepción..... 4

    1.2 Agentes autónomos ..... 4

    1.3 Percepción en agentes autónomos ..... 4

    1.4 Estudios relacionados con la percepción de agentes autónomos..... 5

    1.5 La física del sonido..... 6

        1.5.1 Ondas sonoras..... 6

            1.5.1.1 Percepción de ondas sonoras ..... 7

        1.5.2 Intensidad del sonido ..... 8

            1.5.2.1 Variación de la intensidad con la distancia ..... 8

            1.5.2.2 La escala de decibeles..... 9

        1.5.3 El efecto de los obstáculos durante la propagación del sonido.....10

            1.5.3.1 Reflexión .....11

            1.5.3.2 Absorción .....12

            1.5.3.3 Transmisión .....13

            1.5.3.4 Difracción .....14

    1.6 Sistema de Percepción Genérico para agentes autónomos en videojuegos.....15

    Conclusiones del capítulo .....15

CAPÍTULO 2: PROPUESTA Y DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN .....17

    Introducción .....17

    2.1 Metodologías y herramientas de desarrollo de software.....17

        2.1.1 Metodología de desarrollo de software.....17

        2.1.2 Lenguaje de modelado .....18

        2.1.3 Herramienta de modelado .....18

        2.1.4 Lenguaje de programación.....18

    2.2 Descripción de la solución.....19

        2.2.1 Percepción auditiva básica.....19

        2.2.2 Percepción auditiva avanzada.....20

    2.3 Modelo del dominio .....23

    2.4 Descripción de los objetos del dominio.....24

    2.5 Requerimientos del sistema .....25

        2.5.1 Requisitos funcionales .....25

---

2.5.2	Requisitos no funcionales.....	26
2.6	Modelo de casos de uso del sistema.....	26
2.6.1	Actor del sistema.....	26
2.6.2	Diagrama de Casos de uso del sistema .....	27
2.6.3	Descripción de los casos de uso del sistema .....	28
	Conclusiones del capítulo .....	32
CAPÍTULO 3: DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS .....		33
	Introducción .....	33
3.1	Arquitectura del Sistema de Percepción Genérico para agentes autónomos en videojuegos.....	33
3.1.1	Contenedores de datos .....	34
3.1.2	Componentes de un agente .....	35
3.2	Modelo del diseño .....	35
3.2.1	Diagrama de clases del diseño.....	35
3.2.2	Patrones de diseño .....	37
3.2.3	Diagramas de secuencia del diseño.....	38
3.3	Modelo de implementación.....	42
3.3.1	Diagrama de componentes .....	42
3.3.2	Diagrama de despliegue .....	44
3.4	Resultados .....	44
	Conclusiones del capítulo .....	51
CONCLUSIONES GENERALES .....		52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Propagación de la onda sonora ..... 6

Figura 1.2. Efecto de los obstáculos en la propagación del sonido .....11

Figura 1.3. Reflexión del sonido .....12

Figura 1.4 Absorción del sonido .....13

Figura 1.5. Transmisión del sonido .....14

Figura 1.6. Difracción del sonido .....15

Figura 2.1 Pseudocódigo del algoritmo del nivel básico de percepción auditiva .....20

Figura 2.2 Pseudocódigo del algoritmo del nivel avanzado de percepción sonora .....23

Figura 2.3 Modelo del dominio .....24

Figura 2.4. Diagrama de CU del sistema. ....27

Figura 3.1 Arquitectura del Sistema de Percepción Genérico para agentes autónomos en videojuegos .....34

Figura 3.2. Diagrama de clases del diseño. Agentes y sensores. ....36

Figura 3.3. Diagrama de clases del diseño. Contenedores de datos. ....37

Figura 3.4 Adicionar objeto medioambiental. ....38

Figura 3.5 Eliminar objeto medioambiental. ....39

Figura 3.6 Adicionar evento sonoro. ....39

Figura 3.7 Eliminar evento sonoro. ....39

Figura 3.8 Establecer nivel de percepción auditiva del agente. ....40

Figura 3.9 Modificar mínima intensidad audible del agente. ....40

Figura 3.10 Modificar mínima frecuencia audible del agente. ....40

Figura 3.11 Sesión Modificar máxima frecuencia audible del agente. ....41

Figura 3.12 Determinar eventos sonoros percibidos por el agente. ....41

Figura 3.13. Diagrama de componentes .....43

Figura 3.14. Diagrama de despliegue .....44

Figura 3.15 Escenario para realizar las pruebas. ....45

Figura 3.16 Caso de prueba 1 a) Nivel básico de percepción auditiva b) Nivel avanzado de percepción auditiva .....46

Figura 3.17 Caso de prueba 2 a) Nivel básico de percepción auditiva b) Nivel avanzado de percepción auditiva .....47

Figura 3.18 Caso de prueba 3 a) Nivel básico de percepción auditiva b) Nivel avanzado de percepción auditiva .....48

Figura 3.19 Caso de prueba 4 a) Nivel básico de percepción auditiva b) Nivel avanzado de percepción auditiva .....49

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1.1 Rango audible (6) .....	8
Tabla 1.2 Niveles de intensidad del sonido de diversas fuentes (valores representativos) (7) ....	10
Tabla 2.1. Actor del sistema .....	27
Tabla 2.2 Descripción del CU Gestionar objeto medioambiental. ....	28
Tabla 2.3 Descripción del CU Gestionar evento sonoro. ....	29
Tabla 2.4 Descripción del CU Establecer nivel de percepción auditiva del agente. ....	30
Tabla 2.5 Descripción del CU Modificar rango audible del agente. ....	31
Tabla 2.6 Descripción del CU Determinar eventos sonoros percibidos por el agente .....	32
Tabla 3.1 Nivel básico de percepción sonora .....	50
Tabla 3.2 Nivel avanzado de percepción sonora .....	51

## **INTRODUCCIÓN**

Los entornos virtuales interactivos proporcionan un poderoso medio para el aprendizaje y el entrenamiento experimental, siendo casi ilimitado el conjunto de situaciones que se pueden vivir en ellos, así como los grados de interactividad que se pueden experimentar. Con el desarrollo cada vez más avanzado de la Realidad Virtual (RV), se ha ido incrementando la creación de videojuegos, simuladores, paseos virtuales, entre otras áreas relacionadas con la RV. Debido a la demanda de los usuarios, la industria de los videojuegos se ha hecho cada vez más poderosa. Uno de los secretos para el éxito de esta industria es tratar de agregar mayor realismo a sus productos y en este aspecto juega un papel crucial la Inteligencia Artificial (IA).

En este intento de simular las apariencias y la funcionalidad de la vida real con el uso de la IA, es casi inevitable intentar imitar al propio ser humano. A menudo, los Entornos Virtuales (EV) incorporan personajes con forma humana y varios grados de inteligencia, obteniendo lo que se conoce como Agentes Autónomos (AA).

En el campo de la RV, muchos trabajos tienen como objetivo proveer a los AA de un alto nivel de realismo en cuanto a su representación física o su comportamiento, sin embargo, muy pocos estudios se han centrado en la percepción de estos agentes. De la percepción depende el conocimiento que tendrían los AA del entorno y por tanto sus reacciones en el mundo virtual. Todo esto incrementaría de forma indirecta la coherencia psicológica del EV con la vida real. En el caso de la percepción auditiva, es la que le permite al agente autónomo determinar qué sonidos escucha de los que hay en el entorno, para reaccionar ante estos y tomar decisiones que se acerquen más al comportamiento humano.

En Cuba, se ha incrementado la creación de videojuegos, jugando un papel importante la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI). En la facultad 5 de esta universidad, el Centro de Informática Industrial (CEDIN) realiza grandes esfuerzos por crear videojuegos. Estos no cuentan con mecanismos de percepción, por lo que actualmente se desarrolla el Sistema de Percepción Genérico para agentes autónomos en videojuegos (SPG). Este sistema aún no tiene incorporado percepción auditiva, por lo que pueden suceder situaciones surrealistas en las cuales los agentes no reaccionen ante ningún evento sonoro o simulen escuchar sonidos que no debería percibir. Por consiguiente, los productos realizados en la universidad carecen de realismo en cuanto a la respuesta de los AA a los eventos sonoros del entorno. De ahí que surja como **problema científico** del presente trabajo: ¿Cómo dotar a los agentes autónomos en videojuegos de percepción auditiva? Para ello se sigue como **objetivo general**: Desarrollar la percepción auditiva para el Sistema de Percepción Genérico para agentes autónomos en

videojuegos. Será **objeto de estudio** la percepción en los seres humanos y en agentes autónomos. Finalmente el estudio se centrará en la percepción auditiva en los seres humanos y en agentes autónomos.

Para cumplir el objetivo general propuesto en el presente trabajo se definen las siguientes **tareas de investigación**:

1. Realización del diseño teórico del trabajo.
2. Estudio de la arquitectura del Sistema de Percepción Genérico para agentes autónomos en videojuegos.
3. Propuesta de soluciones técnicas según el estudio de la fundamentación teórica de la investigación.
4. Diseño de la percepción auditiva para el Sistema de Percepción Genérico para agentes autónomos en videojuegos.
5. Implementación de los algoritmos de percepción auditiva para el Sistema de Percepción Genérico para agentes autónomos en videojuegos.
6. Documentación de los resultados del trabajo.

Con la incorporación de la percepción auditiva en el Sistema de Percepción Genérico para agentes autónomos en videojuegos, los AA podrán tomar decisiones basándose en los eventos sonoros que perciben del entorno virtual.

Para el desarrollo de la investigación se hizo uso de los siguientes métodos científicos:

Nivel teórico:

- Histórico – Lógico: Permite la búsqueda de información acerca de los sistemas de percepción a nivel mundial y análisis del estado de los mismos en la actualidad.
- Analítico – Sintético: Posibilita buscar y analizar documentación referente a este tema y sintetizar los aspectos propiamente de esta investigación.

Nivel empírico:

- La consulta de fuentes de información: Permite realizar un estudio actual de las distintas bibliografías que existen del tema tratado.
- Observación científica: Permite observar el desempeño de los agentes inteligentes cuando utilizan el SPG para identificar errores que pueda tener.

Este documento expone en su primer capítulo: Fundamentación teórica, los principales conceptos y estudios relacionados con la percepción tanto en los seres humanos como en los agentes virtuales. Se muestra además un análisis del comportamiento del sonido y la percepción del mismo, así como una breve descripción del SPG. En el capítulo 2: Propuesta y descripción de la solución, se describen las características que presenta el sistema como solución al problema científico planteado. Se realiza además la modelación del negocio y la captura de los requisitos funcionales y requisitos no funcionales con la generación de sus respectivos artefactos. El tercero y último capítulo: Diseño, implementación y resultados, incluye la generación de los artefactos del diseño y la implementación del trabajo. Se muestran los diagramas de clases del diseño y diagramas de secuencia de cada uno de los casos de usos generados, a partir de los requisitos funcionales definidos en el capítulo 2. Además, se exponen los resultados del trabajo.

### CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### Introducción

En el presente capítulo se realiza un análisis de los estudios relacionados con la percepción en humanos y la percepción en AA. Se describe lo referente al comportamiento del sonido, sus características y la percepción del mismo en los seres humanos y en los agentes autónomos. Además se presenta la descripción del Sistema de Percepción Genérico para agentes autónomos en videojuegos.

#### 1.1 La percepción

La esencia de la percepción humana reside en la capacidad de la mente de detectar movimiento en el campo visual, el reconocimiento de la tristeza en un tono de voz, la percepción de una amenaza sobre un tablero de ajedrez (1). La percepción es un proceso nervioso que permite al organismo, a través de los sentidos, recibir, elaborar e interpretar la información proveniente de su entorno. Es el primer proceso cognoscitivo a través del cual los sujetos captan información del entorno. Esta información llega a los sistemas sensoriales y le permite al individuo animal, incluyendo al hombre, formar una representación de la realidad de su entorno.

#### 1.2 Agentes autónomos

En el mundo de la inteligencia artificial los agentes autónomos son llamados también “agentes”. Estos agentes son vistos como entidades inteligentes que pueden percibir su ambiente a través de sensores y pueden tomar decisiones por medio de mecanismos de razonamiento sencillo o complejo. Muchos expertos han dado su criterio en relación con dicho término y de acuerdo a la situación en que se encuentran; algunos de los cuales se mencionan a continuación: (2)

- “Un agente es una entidad que percibe y actúa sobre un entorno”.
- “Los agentes son sistemas computacionales que habitan en entornos dinámicos complejos, perciben y actúan de forma autónoma en ese entorno, realizando un conjunto de tareas y cumpliendo objetivos para los cuales fueron diseñados”.

#### 1.3 Percepción en agentes autónomos

La percepción en los agentes autónomos requiere un gran esfuerzo computacional, sin embargo, los seres vivos realizan esta función de manera inconsciente y automática. En la

actualidad incorporar completamente esta capacidad en agentes autónomos, es algo computacionalmente muy complejo incluso en los más potentes supercomputadores.

La percepción se considera uno de los temas más importantes dentro de la robótica y los videojuegos que son creados bajo la base de la IA. La percepción es mucho más que ver y oír, abarca todas las maneras en que un personaje no controlado por el jugador o *Non Player Character* (NPC) obtiene la información sobre el mundo, incluyendo la topología del entorno y los agentes. Provee de información a los agentes inteligentes para que parezcan lo más real posible. (3)

### 1.4 Estudios relacionados con la percepción de agentes autónomos

En el mundo se ha desarrollado varios sistemas de percepción, estos son aplicables entre otras cosas a la detección, monitorización y modelado de fuegos forestales, protección del medio ambiente, aplicaciones de visión artificial en acuicultura y videojuegos. A continuación se muestran algunos ejemplos de sistemas de percepción que existen en la actualidad:

- **Modelo de percepción para agentes virtuales inteligentes basado en el sistema de percepción de los seres humanos:** sistema que permite introducir una percepción sensitiva similar a la que poseen los seres humanos, que permite a los agentes virtuales inteligentes, percibir en tiempo real el entorno que le rodea con una claridad de percepción similar a la que poseen los seres humanos (3).
- **Control de crecimiento y densidad de cultivos de Piscifactoría:** se realiza la aplicación de técnicas de visión por computadora mediante procesamiento de imágenes y- sensores de proximetría para determinar el número, tamaño y forma de individuos de diferentes especies en diferentes estados de crecimiento. La adquisición de imágenes se realiza tanto desde el exterior de los tanques como en su interior (4).
- **Sistema de Simulación para estudiar la percepción humana:** estudia los mecanismos unidos a la percepción sensorial del movimiento y del espacio, permitiendo principalmente una optimización de las herramientas empleadas en materia de realidad virtual. El objetivo del sistema es estudiar los lazos que establece un individuo con el espacio que le rodea en una situación de conducción. En concreto, se trata de investigar las sensaciones de desplazamiento, como la aceleración y el frenado. Los investigadores estudiarán mediante este sistema también el escenario próximo al conductor, y particularmente su percepción en el hábitat (5).

De estas investigaciones la única que trata el tema de la percepción sonora es el Modelo de Percepción para agentes virtuales inteligentes basado en el sistema de percepción de los seres humanos. Es importante destacar, que en lo que se refiere a percepción sonora, la base de esa investigación es el comportamiento y características del sonido como fenómenos físicos. Por tal motivo es necesario analizar la percepción del sonido desde este enfoque.

### 1.5 La física del sonido

Desde el punto de vista de la física “el sonido es un movimiento organizado de moléculas causado por un cuerpo vibrante en un medio – agua, aire, tierra o cualquiera que sea”. El sonido también puede ser considerado como una descripción de una sensación: “La sensación auditiva producida por el oído por la alteración de presión, desplazamiento de partículas o velocidad de partículas, en un medio elástico” (6). Ambas definiciones son correctas, la única diferencia es que la primera lo describe como una causa y la segunda como un efecto.

“El sonido se propaga como una onda longitudinal (el desplazamiento del medio es paralelo a la propagación de la onda) y mecánica (se requiere un medio para la propagación) transportando energía” (6). Cuando se produce una perturbación periódica en el aire, se originan ondas de presión. Por ejemplo, si se golpea un diapasón con un martillo, las ramas vibratorias emiten este tipo de ondas y el humano, que actúa como receptor de ellas, las interpreta como sonido (Figura 1.1).

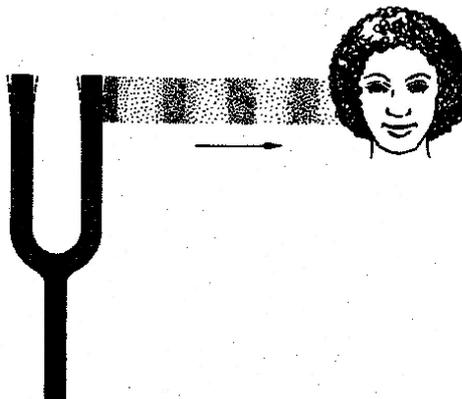


Figura 1.1 Propagación de la onda sonora.

#### 1.5.1 Ondas sonoras

Las ondas sonoras más sencillas son las senoidales, con frecuencia, amplitud y longitud de onda definidas. El oído humano es sensible a ondas en el intervalo de frecuencias de 20 a 20000 Hz, llamado **intervalo de frecuencia audible**, pero también es usado el término sonido

para ondas similares con frecuencias mayores (**ultrasónicas**) y menores (**infrasónicas**) a este intervalo (7). Las ondas sonoras suelen dispersarse en todas las direcciones a partir de una fuente de sonido, con una amplitud, dirección y distancia desde la fuente. Tal onda se describe con una función de onda  $y(\mathbf{x}, t)$ , que da el desplazamiento instantáneo de una partícula en el medio, en la posición  $\mathbf{x}$  en el instante  $t$ .

Las ondas sonoras también pueden describirse en términos de variación de presión en diversos puntos. En una onda sonora senoidal en el aire la presión fluctúa por arriba y por debajo de la presión atmosférica ( $p_a$ ) en forma senoidal con la misma frecuencia que los movimientos de las partículas de aire. El oído humano opera detectando tales variaciones de presión. Una onda sonora que entra en el canal auditivo ejerce una presión fluctuante sobre un lado del tímpano; el aire del otro lado, está a presión atmosférica. La diferencia de presión entre ambos lados del tímpano lo mueve. Los micrófonos y dispositivos similares por lo regular también detectan diferencias de presión, no desplazamientos.

### 1.5.1.1 Percepción de ondas sonoras

Las características físicas de una onda sonora tienen una relación directa con la percepción de ese sonido por un oyente. A una frecuencia dada, cuanto mayor sea la amplitud de presión de una onda sonora senoidal, mayor es el volumen percibido. La relación entre la amplitud de presión y el volumen no es sencilla, y varía de una persona a otra. Un factor importante es que el oído no es igualmente sensible a todas las frecuencias de la gama audible. Un sonido con una frecuencia determinada, puede parecer más fuerte que otro con igual amplitud de presión a una frecuencia distinta. A 1000 Hz la amplitud de presión mínima aceptable con un oído normal es de cerca de  $3 \times 10^{-5}$  Pa; para producir el mismo volumen a 200 Hz o 15 000 Hz se requiere cerca de  $3 \times 10^{-4}$  Pa. El volumen percibido también depende de la salud del oído. Es natural que con la edad se pierda la sensibilidad a altas frecuencias, y esto puede agravarse por niveles de sonido excesivos. Ciertos estudios han demostrado que muchos músicos de rock jóvenes han sufrido daños permanentes y tienen un oído típico de personas de 65 años de edad. Los auriculares estéreo empleados con alto volumen presentan una amenaza similar para el oído (7).

La frecuencia de una onda sonora es el factor primordial que determina el tono de un sonido, lo que nos permite clasificarlos como “agudo” o “grave”. Cuanto más alta sea la frecuencia de un sonido (dentro de la gama audible), más agudo será el tono percibido. La amplitud de presión también ayuda a determinar el tono. Cuando un oyente compara dos ondas senoidales con la

misma frecuencia pero diferente amplitud de presión, aquella con mayor amplitud suele percibirse como más fuerza pero también un poco más grave.

La siguiente tabla representa los intervalos de frecuencia, de intensidad y de presión audible para los seres humanos con un oído sano. Los valores de intensidad y presión están definidos para una frecuencia de 1000 Hz.

Frecuencia	$2 \times 10^1 \text{ Hz} - 2 \times 10^4 \text{ Hz}$
Intensidad	$1 \times 10^{-12} - 1 \times 10^1 \text{ W/m}^2$ Correspondiente con: $0 - 1.2 \times 10^2 \text{ dB}$
Presión	$2 \times 10^{-5} - 6 \times 10^1 \text{ N/m}^2$ Correspondiente con: $2 \times 10^{-10} - 6 \times 10^{-4} \text{ atm}$

Tabla 1.1 Rango audible (6)

## 1.5.2 Intensidad del sonido

Las ondas sonoras viajeras, al igual que todas las ondas viajeras, transfieren energía de una región del espacio a otra. Se define la intensidad de una onda (denotada con  $I$ ) como la razón media a la cual la onda transporta energía, por unidad de área, a través de una superficie perpendicular a la dirección de propagación. Es decir, la Intensidad  $I$  es la potencia media por unidad de área. También se puede definir como la magnitud de la sensación de audibilidad producida por la onda sonora.

### 1.5.2.1 Variación de la intensidad con la distancia

Si se considera una fuente de sonido como un punto, la intensidad a una distancia  $r$  de la fuente es inversamente proporcional a  $r^2$ . Esto se deriva directamente de la conservación de la energía; si la potencia promedio de salida de la fuente es  $P_{av}$ , la intensidad media  $I$  a través de una esfera con radio  $r$  y área  $4\pi r^2$  es (7):

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

**Ecuación 1.1. Intensidad del sonido (7)**

Por tanto la intensidad  $I$  a cualquier distancia  $r$  es inversamente proporcional a  $r^2$ . Esta relación “del inverso del cuadrado” se cumple en otras situaciones de flujo de energía con una fuente puntual, como es el caso de la luz. La relación del inverso del cuadrado entre la intensidad del sonido y la distancia desde la fuente no se aplica en interiores porque la energía sonora también puede llegar al oyente por reflexión en las paredes y en el techo. De hecho, parte del trabajo de un arquitecto al diseñar un auditorio es adaptar tales reflexiones de modo que la intensidad sea lo más constante posible en todo el recinto (7).

### 1.5.2.2 La escala de decibeles

Dado que el oído es sensible a una gama tan amplia de intensidades, suele usarse una escala de intensidad logarítmica. El nivel de intensidad sonora  $\beta$  de una onda sonora está definido por la ecuación 1.2. En esta ecuación,  $I_0$  es una intensidad de referencia que se toma como  $10^{-12} \text{ W/m}^2$ , aproximadamente el umbral del oído humano a 1000 Hz, es necesario recordar que “log” significa logaritmo base 10. Los niveles de intensidad sonora se expresan en decibeles abreviado dB. Un decibel es  $\frac{1}{10}$  de un bel, unidad así llamada en honor a Alexander Graham Bell (inventor del teléfono). El bel es demasiado grande para casi todos los fines, así que el decibel es la unidad usual de nivel de intensidad de sonido.

$$\beta = (10 \text{ dB}) \log \frac{I}{I_0}$$

**Ecuación 1.2. Definición de nivel de intensidad de sonido (7)**

Si la intensidad de una onda sonora es igual a  $I_0$  ( $10^{-12} \text{ W/m}^2$ ), su nivel de intensidad sonora es de 0 dB. Una intensidad de  $1 \text{ W/m}^2$  corresponde a 120 dB. La tabla 1.2 muestra los niveles de intensidad de sonido en decibeles de varios sonidos comunes. Se puede usar la Ecuación 0.2 para verificar el valor del nivel de intensidad de sonido dado para cada intensidad de la tabla.

FUENTE O DESCRIPCION DEL SONIDO	NIVEL DE INTENSIDAD DEL SONIDO. $\beta$ (dB)	INTENSIDAD. $I$ ( $W/m^2$ )
Umbral del dolor	120	1
Remachadora	95	$3.2 \times 10^{-3}$
Tren elevado	90	$10^{-3}$
Tráfico urbano Intenso	70	$10^{-5}$
Conversación ordinaria	65	$3.2 \times 10^{-6}$
Automóvil silencioso	50	$10^{-7}$
Radio con bajo volumen en el hogar	40	$10^{-8}$
Murmullo ordinario	20	$10^{-10}$
Susurro de hojas	10	$10^{-11}$
Umbral de audición	0	$10^{-12}$

Tabla 1.2 Niveles de intensidad del sonido de diversas fuentes (valores representativos) (7)

### 1.5.3 El efecto de los obstáculos durante la propagación del sonido

Si no existen obstáculos, el sonido emitido por una fuente se propaga en campo libre por el aire hasta alcanzar al receptor sin más atenuación que la debida a la distancia entre ambos y a la absorción del aire. Pero si se interpone un obstáculo entre la fuente y el receptor, la propagación del sonido resulta modificada. Cuando una onda sonora encuentra un obstáculo sólido, una parte de la energía es reflejada por el obstáculo, otra parte es absorbida por el mismo, penetrando en su interior y transformándose en vibraciones mecánicas que pueden eventualmente radiar nuevas ondas acústicas (transmisión). Finalmente, el resto de la energía "bordea" el obstáculo, produciéndose una perturbación del campo acústico por efecto de la difracción.

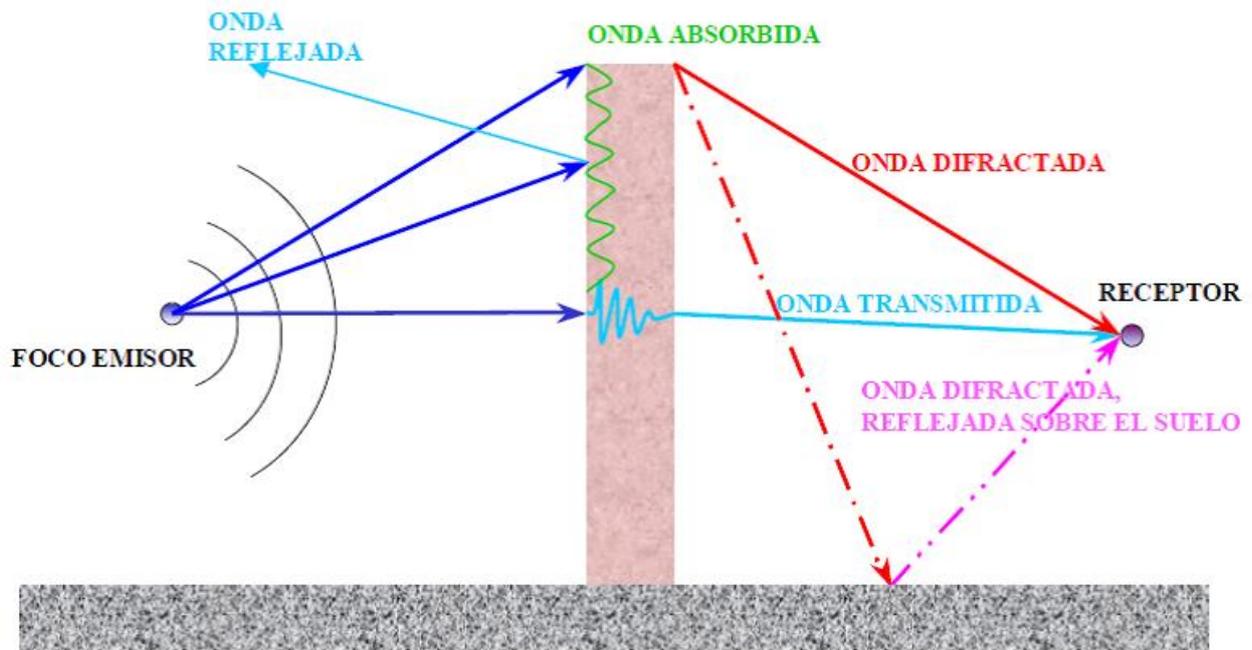


Figura 1.2. Efecto de los obstáculos en la propagación del sonido

### 1.5.3.1 Reflexión

La reflexión de una onda es el rebote que experimenta cuando llega a un obstáculo grande, como una pared. Aunque el obstáculo absorba parte de la energía recibida (incluso vibrando si entra en resonancia) se produce también reflexión en la que se transmite de vuelta parte de la energía a las partículas del medio incidente. La presión sonora en un punto es debida no sólo a la radiación directa de la fuente, sino también al sonido indirecto procedente de todas las reflexiones que se producen. Si la energía reflejada es alta, es porque existe una superficie reflectante, acústicamente dura, que se comporta de un modo similar a los espejos con la luz. Para los estudios y cálculos de las reflexiones suele utilizarse la teoría geométrica basada en la propagación del sonido en línea recta. De ahí el concepto utilizado de rayo sonoro por analogía con el rayo luminoso. Dependiendo de las características del obstáculo donde se produce la reflexión, el rayo sonoro puede reflejarse en una sola dirección o en varias direcciones, con lo que el estudio de su comportamiento se hará más complejo.

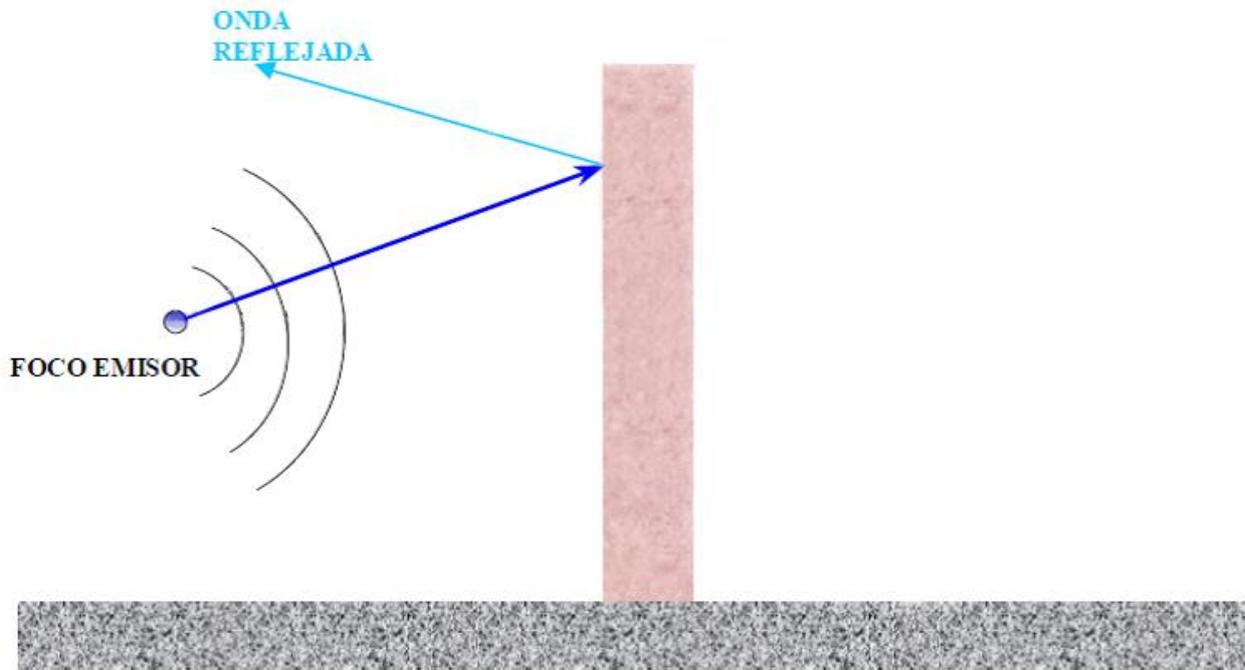


Figura 1.3. Reflexión del sonido

### 1.5.3.2 Absorción

Cuando una onda sonora incide sobre una superficie, una pequeña parte de la energía se disipa absorbida por la misma. La absorción de la superficie es una función que depende de bastantes parámetros tales como rugosidad, porosidad, flexibilidad, y, en algunos casos, sus propiedades resonantes. La eficacia de una superficie o material absorbente se expresa como un número entre 0 y 1, llamado coeficiente de absorción,  $\alpha$ , de manera que 0 representa la no absorción, es decir, reflexión perfecta y 1 corresponde a la absorción perfecta. La expresión es:

$$\alpha = \frac{\text{Energía absorbida}}{\text{Energía incidente}}$$

Ecuación 0.3. Coeficiente de absorción.

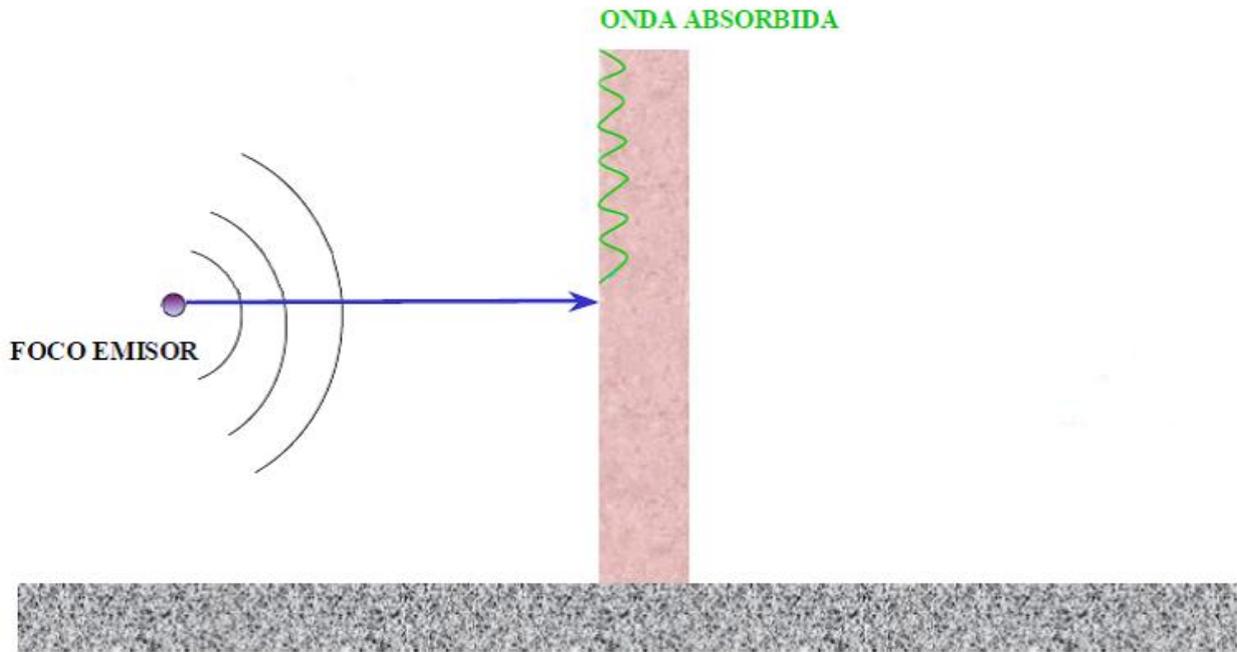


Figura 1.4 Absorción del sonido

### 1.5.3.3 Transmisión

Los obstáculos que encuentra una onda sonora en su propagación actúan como "barreras" ante el sonido. La capacidad que presenta un material o un obstáculo para oponerse al paso de la energía sonora a través del mismo (transmisión) se conoce como aislamiento. El mayor o menor aislamiento depende fundamentalmente del espesor y la masa superficial del obstáculo. La pérdida por transmisión (TL) es la relación entre la energía sonora incidente y la energía sonora transmitida y se expresa en decibelios

$$TL = 10 \log \left( \frac{E_i}{E_t} \right)$$

Ecuación 1.4. Pérdida por transmisión

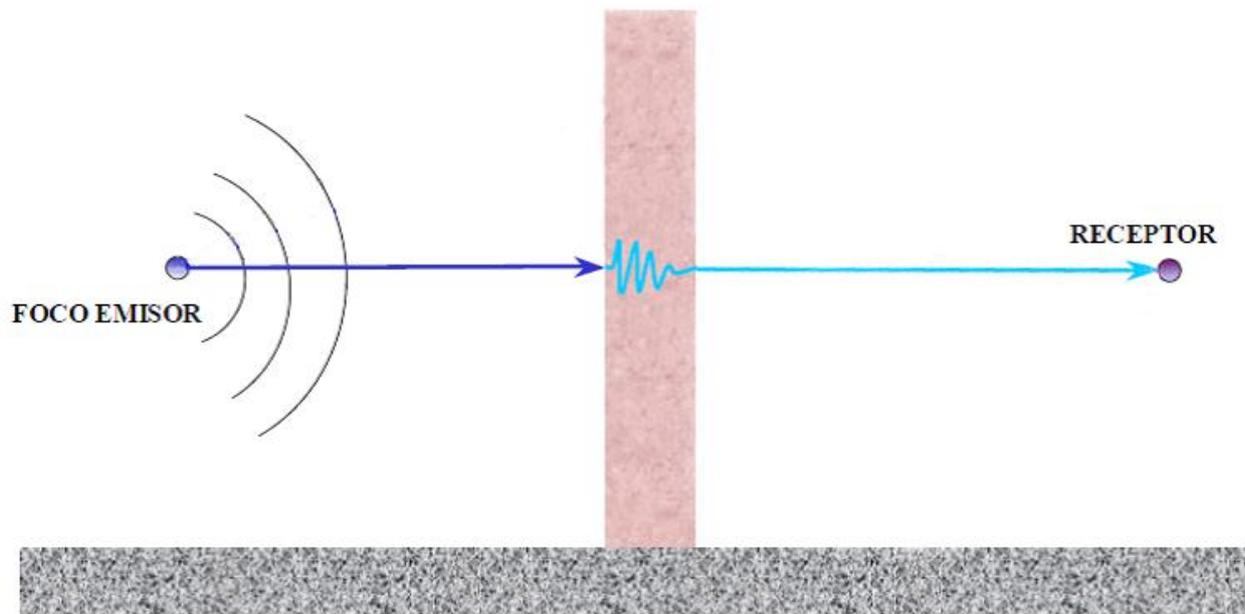


Figura 1.5. Transmisión del sonido

#### 1.5.3.4 Difracción

Cuando una onda sonora encuentra un obstáculo que es pequeño en relación con la longitud de onda  $\lambda$ , el frente de onda en los bordes del mismo cambia de dirección. Este fenómeno se denomina difracción, y tiene como consecuencia que la denominada zona de sombra acústica (zona protegida situada detrás de un obstáculo) es considerablemente menor que la zona de sombra visual.

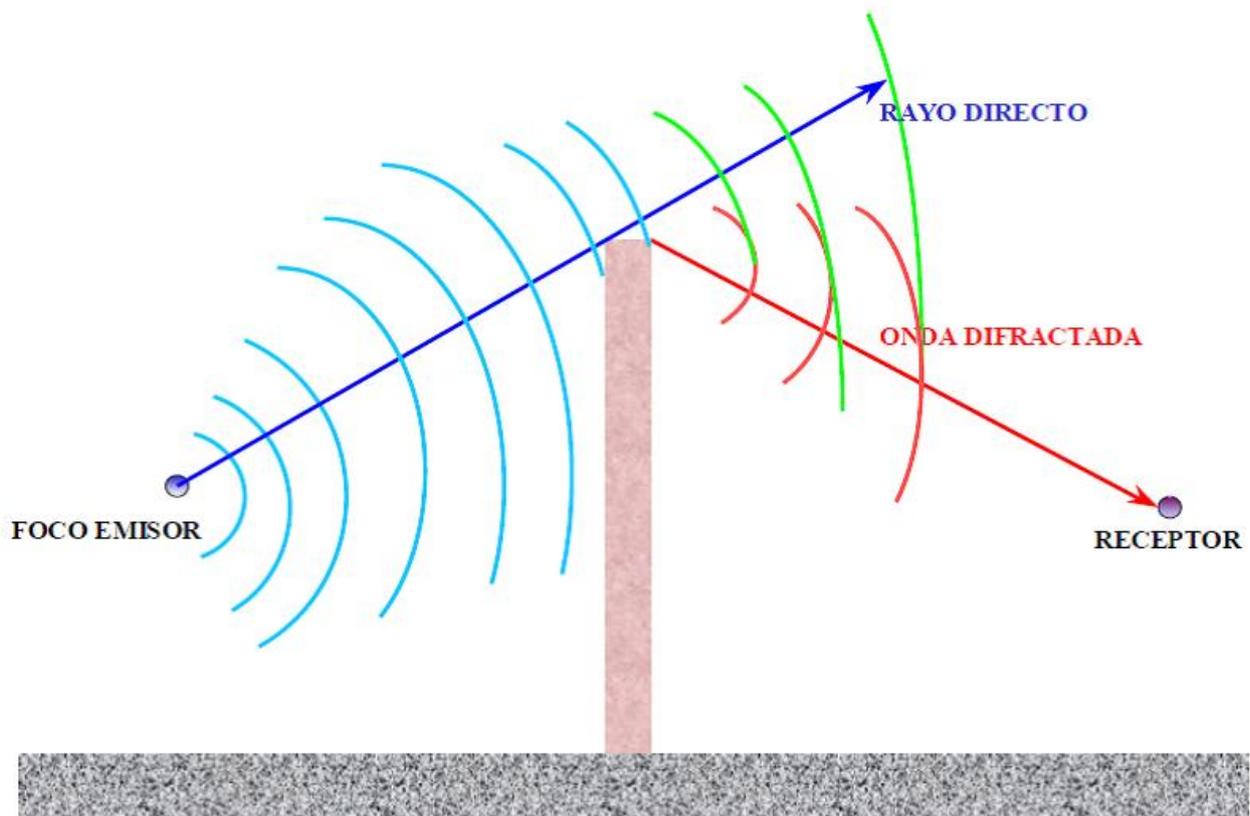


Figura 1.6. Difracción del sonido

Según lo presentado anteriormente, los obstáculos influyen en gran medida en la propagación del sonido y hay que tener presente sus principales características. El SPG cuenta con mecanismos para hacer uso de estos obstáculos y para desarrollar en él una percepción auditiva. Por este motivo, es necesario hacer un estudio de este sistema.

## 1.6 Sistema de Percepción Genérico para agentes autónomos en videojuegos

El Sistema de Percepción Genérico tiene como objetivo incorporar en los videojuegos varios tipos de percepción con el afán de dotar a los agentes autónomos de la información percibida del entorno virtual. El mismo, al tener una arquitectura flexible, brinda la posibilidad de incorporarle nuevos tipos de percepción. Además, puede ser acoplado de manera sencilla a cualquier videojuego, lo que significa un ahorro considerable de tiempo para los desarrolladores de aplicaciones de realidad virtual que deseen utilizarlo.

### Conclusiones del capítulo

Para que un agente inteligente pueda desarrollar un comportamiento similar al que tendría un humano al recibir imágenes, impresiones o sensaciones externas a través de sus sentidos, o

sea, reaccionar ante lo que percibe al interactuar en determinado entorno, es necesario dotar al agente de la capacidad de percepción, abordada en este capítulo.

Mencionados los distintos tipos de percepción asociados a los sentidos, hubo un enfoque en este trabajo de tesis en la percepción auditiva. Se expusieron los conceptos y fórmulas de la física sobre el tema del sonido, de manera que se puedan obtener las bases teóricas para definir cuando un sonido es audible para una persona con capacidad auditiva normal, de forma que sea modelable. Por último se presentó una breve descripción del SPG que maneja las necesidades básicas de percepción de un agente inteligente, y que puede ser extensible, insertando otras capacidades perceptivas a los agentes, dada la importancia que se le atribuye para lograr más cercanía a la realidad en un videojuego.

### CAPÍTULO 2: PROPUESTA Y DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

#### Introducción

En este capítulo se proponen las soluciones técnicas para resolver el problema científico planteado en el diseño teórico de la investigación. Se describen las metodologías y herramientas de desarrollo a utilizar. Se realiza una descripción de los algoritmos propuestos teniendo como base lo presentado en el capítulo 1. Son presentados además los requisitos funcionales y no funcionales, el diagrama de casos de uso del sistema y la descripción de los casos de uso.

#### 2.1 Metodologías y herramientas de desarrollo de software

A continuación se muestran un conjunto de herramientas y tecnologías que soportan el desarrollo de la solución propuesta. Se describirá la metodología de desarrollo de software, la herramienta de modelado, Lenguaje de modelado y Lenguaje de programación escogidos para el desarrollo de este trabajo.

##### 2.1.1 Metodología de desarrollo de software

Se utilizó como metodología de desarrollo de software el Proceso Unificado de Desarrollo (RUP) debido a que el SPG se ha regido por ésta para su desarrollo. RUP además está preparada para guiar el desarrollo de prácticamente todo tipo de proyectos. Su diseño orientado a objetos facilita la comprensión a alto nivel para su posterior implementación usando este paradigma de programación. Dentro de sus principales características se encuentran:

##### Dirigido por casos de uso

Los casos de uso reflejan lo que los usuarios futuros necesitan y desean, y se obtienen durante el modelado del negocio. El proceso de desarrollo de software avanza a través de una serie de flujos que parten de los casos de uso. Se puede afirmar que estos proporcionan un hilo conductor y una guía para todo el proceso (8).

##### Centrado en la arquitectura

La arquitectura muestra la visión común del sistema completo y describe los elementos del modelo que son más importantes para su construcción, los cimientos del sistema que son necesarios como base para comprenderlo, desarrollarlo y producirlo económicamente. La

arquitectura debe diseñarse para que el software evolucione, no solo en su desarrollo inicial, sino también a lo largo de las futuras generaciones (8).

### **Iterativo e incremental**

RUP propone que cada proyecto se desarrolle en fases y que cada fase se desarrolle en iteraciones, donde cada iteración resulta en un incremento del proceso de desarrollo, lo cual se realiza de forma planificada y culmina con el cumplimiento del punto de control trazado en la fase.

#### **2.1.2 Lenguaje de modelado**

UML es un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema de *software*. Ofrece un estándar para describir un "plano" del sistema o modelo, incluyendo aspectos conceptuales tales como los procesos de negocios, funciones del sistema y aspectos concretos como expresiones de lenguajes de programación, esquemas de bases de datos y componentes de *software* reutilizables. Es un lenguaje de propósito general para el modelado orientado a objetos. Este es también un lenguaje de modelado visual que permite una abstracción del sistema y sus componentes. UML ha ejercido un gran impacto en la comunidad *software*, su utilización se ha extendido en todo el mundo para construir aplicaciones en todos los dominios y de todos los tamaños. (9) (10)

#### **2.1.3 Herramienta de modelado**

Como herramienta de modelado se empleó Visual Paradigm, creado para asistir el proceso de Ingeniería de Software. Este se encuentra basado en UML y soporta el ciclo de vida completo del desarrollo de software; además, cuenta con funcionalidades que permite agilizar considerablemente el trabajo. Visual Paradigm ayuda a una rápida construcción de aplicaciones de calidad. Permite dibujar todos los tipos de diagramas de clases, obtener código inverso, generar código desde diagramas así como la documentación que se necesite de cada uno de ellos.

#### **2.1.4 Lenguaje de programación**

Como lenguaje de programación se utilizó C++, debido a que el SPG está desarrollado sobre el mismo. Además es un lenguaje muy utilizado en la realización de aplicaciones de realidad virtual, pues en este tipo de aplicaciones se manejan grandes volúmenes de datos y el mismo permite un uso óptimo de la memoria y del CPU (Unidad Central de Procesamiento) de la

computadora. Este lenguaje presenta entre sus principales características que es un lenguaje versátil, potente y de propósito general. Es rico en operadores y expresiones y presenta programación modular, además es flexible, conciso, eficiente, portable y breve.

### 2.2 Descripción de la solución

Como solución de este trabajo se definen dos niveles de percepción auditiva. El programador de videojuegos podrá escoger el nivel de percepción auditiva de cada uno de sus agentes autónomos. En el nivel básico no se tiene en cuenta el efecto de los objetos medioambientales en la propagación del sonido, mientras que en el nivel avanzado si se tiene en cuenta esto. Para darle solución al problema planteado se tienen en cuenta varios aspectos. Uno de ellos es que el sonido será considerado como un evento instantáneo, no demora en propagarse. Una vez que se produce un sonido, en ese mismo instante se determina si el agente lo escucha. Otro aspecto a tener en cuenta es que para la percepción auditiva los agentes y la fuente sonora serán tratados como un punto en el espacio. Por esta razón, es importante hacer una buena elección de la posición del agente para el sistema de percepción, ya que dicha posición será el punto donde el agente percibe o no el sonido. En esta solución, se crearon clases, se incluyeron métodos, se agregaron atributos, además de otras modificaciones hechas al APG que serán detalladas en posteriores epígrafes.

#### 2.2.1 Percepción auditiva básica

Para brindar a los agentes inteligentes una percepción auditiva básica, se desarrolla un algoritmo que determina cuáles de los eventos sonoros que hay en el ambiente, es capaz de percibir el agente, sin tener en cuenta los obstáculos del entorno (objetos medio ambientales que intervienen en la propagación del sonido). Para lograr esto se tomó en cuenta fundamentalmente lo investigado sobre la variación de la intensidad del sonido con la distancia (ver epígrafe 1.5.2.1). Para una fuente determinada que emite un sonido con una potencia promedio  $P_F$ , si  $r_{FA}$  es la distancia entre la fuente y el agente, la Intensidad sonora  $I_A$  recibida por el agente está dada por la siguiente ecuación:

$$I_A = \frac{P_F}{4\pi r_{FA}^2}$$

Ecuación 2.1

En el algoritmo de este nivel, por cada sonido producido en el entorno, se obtiene su frecuencia, se calcula la intensidad con la que llega al agente mediante la ecuación 2.1 y estos valores son

comparados con los del rango audible definidos para el AA. Cada sonido que cumple con lo establecido para ser escuchado, es adicionado a una lista de sonidos audibles, que es brindada al AA.

### Pseudocódigo del algoritmo del nivel básico de percepción sonora:

```
NIVEL_BASICO()
{
  PARA I = 0 HASTA SONIDOS.LENGTH
  {
    POTENCIA_F = SONIDOS[I].POTENCIA ;
    DISTANCIA_FA = DISTANCIA(SONIDO, AGENTE) ;
    INTENSIDAD_A = (P_F) / (4 * Pi * r_FA^2) ;

    FRECUENCIA = SONIDOS[I].FRECUENCIA ;

    IF (INTENSIDAD_A > AGENTE.MIN_INTENSIDAD &&
        FRECUENCIA >= AGENTE.MIN_FRECUENCIA && FRECUENCIA <= AGENTE.MAX_FRECUENCIA)
    {
      RESPUESTA.ADICIONAR(SONIDO[I]) ;
    }
  }
  RETORNAR RESPUESTA ;
}
```

Figura 2.1 Pseudocódigo del algoritmo del nivel básico de percepción auditiva

### 2.2.2 Percepción auditiva avanzada

En el nivel avanzado de percepción auditiva se implementa un algoritmo basado en la percepción sonora, teniendo en cuenta el efecto de los obstáculos en la propagación del sonido. Una vez que se produce un evento sonoro, cada obstáculo que es alcanzado por él, se convierte en una nueva fuente sonora. La intensidad de sonido que percibe el agente, es la suma de las intensidades de los sonidos que provienen de los obstáculos, más la intensidad del sonido que proviene directamente de la fuente sin que ningún otro obstáculo intervenga en ello.

Primeramente se determina la intensidad sonora que alcanza al agente teniendo en cuenta los obstáculos que no se interponen entre la fuente de sonido y el agente ( $I_{ext}$ ). Realizado esto, se determina la intensidad sonora percibida por el agente teniendo en cuenta los obstáculos que se interponen entre la fuente de sonido y el agente ( $I_{int}$ ). Luego, la intensidad final alcanzada por el agente ( $I_A$ ) es:

$$I_A = I_{ext} + I_{int}$$

Ecuación 2.2

Dado un obstáculo  $O$  que no se interponen entre la fuente de sonido y el agente (obstáculos externos). La potencia sonora  $P_O$  emitida por el mismo está definida por esta ecuación:

$$P_O = \frac{P_F}{4\pi r_{FO}^2} * C_O$$

**Ecuación 2.3**

Donde  $P_F$  es la potencia sonora emitida por la fuente,  $r_{FO}$  la distancia entre la fuente y el obstáculo y  $C_O$  el coeficiente de absorción del obstáculo (ver sección 1.5.3.2). Se tiene también que, la intensidad  $I_{OA}$  con la cual el sonido emitido por el objeto  $O$  alcanza al agente, se define por la siguiente ecuación:

$$I_{OA} = \frac{P_O}{4\pi r_{OA}^2}$$

**Ecuación 2.4**

Donde  $r_{OA}$  es la distancia entre el objeto y el agente. Sustituyendo el valor  $P_O$  de la ecuación 2.3, en la ecuación 2.4, la intensidad  $I_{OA}$  queda de la siguiente manera:

$$I_{OA} = \frac{P_F}{(4\pi)^2 * r_{FO}^2 * r_{OA}^2} * C_O$$

**Ecuación 2.5**

Si en el entorno existen  $N$  obstáculos externos y  $O_e$  es uno de esos obstáculos (**para e=1,..., N**) la formula general para calcular  $I_{ext}$  es:

$$I_{ext} = \sum_{e=1}^N \left( \frac{P_F}{(4\pi)^2 * r_{FOe}^2 * r_{OeA}^2} * C_{Oe} \right)$$

**Ecuación 2.6**

Donde  $r_{FOe}$  es la distancia desde la fuente hasta el objeto  $O_e$ ,  $r_{OeA}$  la distancia entre el objeto  $O_e$  y el agente; y  $C_{Oe}$  el coeficiente de absorción del objeto  $O_e$ . Ya se ha definido como calcular  $I_{ext}$ , ahora queda determinar a  $I_{int}$ . Para esto se necesita tener a los obstáculos internos, ordenados de manera ascendente de acuerdo a la distancia de estos a la fuente de sonido. La cantidad de obstáculos internos es  $M$  y  $O_i$  es el obstáculo  $i$  (**para i=1,..., M**). Como están

ordenados  $O_1$  es el obstáculo más cercano a la fuente y  $O_m$  es más alejado de ella y más cercano al agente. Lo primero para calcular  $I_{int}$  es calcular el valor de la potencia sonora del obstáculo  $O_1$ . Este sería el caso base para determinar la potencia sonora de cada uno de los obstáculos ordenados, ya que la potencia de cada obstáculo  $O_i$  depende de la potencia del obstáculo  $O_{(i-1)}$ . Finalmente la intensidad  $I_{int}$  es:

$$I_{int} = \frac{P_{Om}}{4\pi r_{OmA}^2}$$

Ecuación 2.7

Siendo  $P_{Om}$  la potencia sonora del obstáculo  $O_m$  y  $r_{OmA}$  la distancia entre el obstáculo  $O_m$  y el agente. Si  $M=0$ , no existe ningún obstáculo entre la fuente sonora y el agente, por tanto entonces  $I_{int}$  es:

$$I_{int} = \frac{P_F}{4\pi r_{FA}^2}$$

Ecuación 2.8

Siendo  $P_F$  la potencia de la fuente sonora y  $r_{FA}$  la distancia entre la fuente y el agente. A partir de los valores de  $I_{int}$  e  $I_{ext}$  se obtiene el valor de  $I_A$  (ver ecuación 2.2). Comparando esta intensidad  $I_A$  y la frecuencia del sonido emitido por la fuente, con los valores del rango audible definido para el agente, se determina si el sonido emitido por esa fuente es perceptible para el agente. Luego esta fuente sonora es adicionada al listado de fuentes sonoras audibles para el agente. Este procedimiento debe ser realizado para cada fuente del medioambiente.

### Pseudocódigo del algoritmo del nivel avanzado de percepción sonora:

```
NIVEL_AVANZADO ()
{
  PARA I = 0 HASTA SONIDOS.LENGTH
  {
    PARA J = 1 HASTA OBSTACULOS.LENGTH
    {
      IF (ESTA_ENTRE_FUENTE_Y_AGENTE ())
        LISTA_INTERNA.ADICIONAR( OBSTACULOS[J] );
      ELSE
        LISTA_EXTERNA.ADICIONAR( OBSTACULOS[J] );
    }

    INTENSIDAD_INTERNA = CALCULAR_INTENSIDAD_INTERNA(LISTA_INTERNA);
    INTENSIDAD_EXTERNA = CALCULAR_INTENSIDAD_EXTERNA(LISTA_EXTERNA);

    INTENSIDAD_FINAL = INTENSIDAD_INTERNA + INTENSIDAD_EXTERNA;

    FRECUENCIA = SONIDOS[1].FRECUENCIA;

    IF (INTENSIDAD_FINAL > AGENTE.MIN_INTENSIDAD &&
        FRECUENCIA >= AGENTE.MIN_FRECUENCIA && FRECUENCIA <= AGENTE.MAX_FRECUENCIA)
    {
      RESPUESTA.ADICIONAR(SONIDO[I]);
    }
  }
  RETORNAR RESPUESTA;
}
```

Figura 2.2 Pseudocódigo del algoritmo del nivel avanzado de percepción sonora

### 2.3 Modelo del dominio

El modelo del dominio es una representación visual de los conceptos u objetos del mundo real significativos para un problema o área de interés. Representa clases conceptuales del dominio del problema, conceptos del mundo real en lugar de componentes de software (8). Este modelo se realiza a través de un diagrama de clases de UML simplificado, en el cual se representan los tipos de objetos más importantes que existen o los eventos que suceden en el entorno donde estará el sistema. A través de este se modelan los principales conceptos con los que se trabajan en el desarrollo de la solución, así como las relaciones existentes entre ellos.

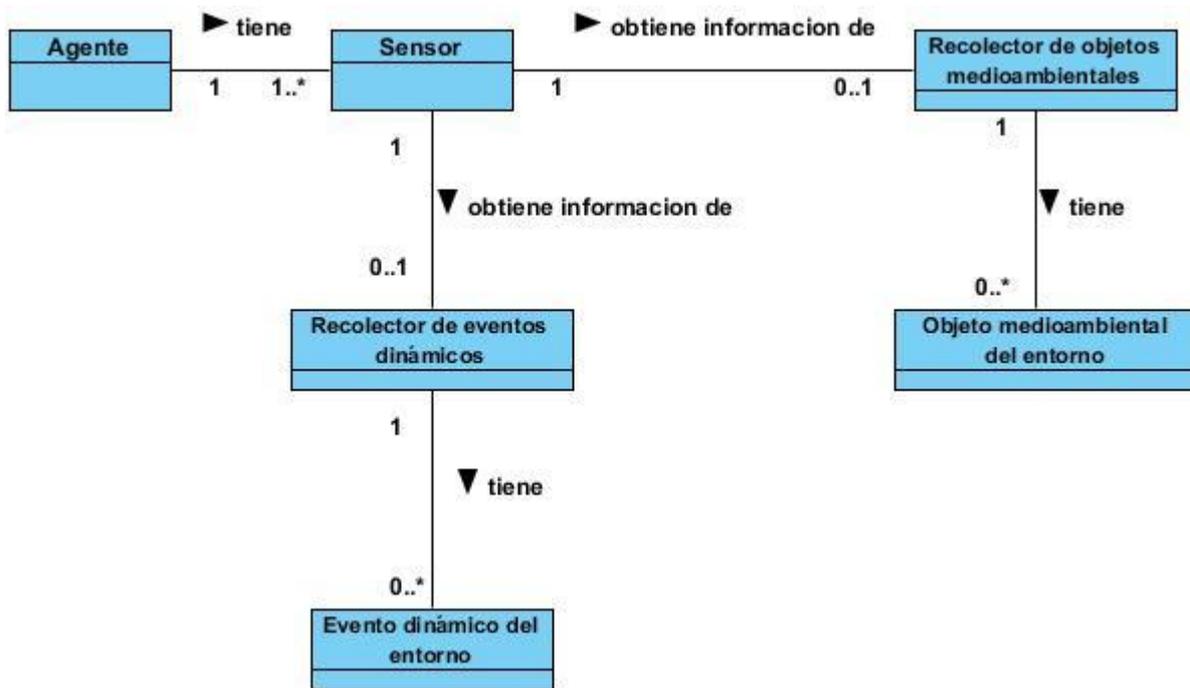


Figura 2.3 Modelo del dominio

## 2.4 Descripción de los objetos del dominio

**Objeto medioambiental del entorno:** Representa un objeto del medioambiente (pared, puerta, muro, entre otros) que puede provocar algún efecto en la propagación del sonido.

**Evento dinámico del entorno:** Representa un evento sonoro que se produce en el entorno, como el sonido de un disparo de un arma, el sonido de la explosión de una bomba, el ruido de un automóvil, etc.

**Agente:** Es la entidad inteligente capaz de percibir los eventos dinámicos del entorno mediante los sensor.

**Sensor:** Es el encargado de determinar la información perceptible para el agente.

**Recolector de datos medioambientales:** Es el encargado de almacenar los datos medioambientales del entorno.

**Recolector de eventos sonoros:** Es el encargado de almacenar los eventos dinámicos del entorno.

### 2.5 Requerimientos del sistema

Un requerimiento es una condición o capacidad que debe tener un sistema o uno de sus componentes para satisfacer un contrato, norma, especificación u otro documento formal, que facilite el entendimiento entre clientes y desarrolladores (8). Los requisitos se pueden clasificar en Funcionales y No Funcionales. Los requisitos funcionales especifican acciones que debe poder realizar un sistema, sin tener en cuenta las restricciones físicas (8). Mientras que los requisitos no funcionales sólo describen atributos del sistema o atributos del entorno del sistema (8). Seguidamente se exponen los requisitos tomados durante el desarrollo de la solución propuesta en la investigación.

#### 2.5.1 Requisitos funcionales

**RF1.** Gestionar objeto medioambiental.

**RF1.1** Adicionar objeto medioambiental.

**RF1.2** Eliminar objeto medioambiental.

**RF2.** Gestionar evento sonoro.

**RF2.1** Adicionar evento sonoro.

**RF2.2** Eliminar evento sonoro.

**RF3.** Establecer nivel de percepción auditiva del agente.

**RF4.** Modificar rango audible del agente.

**RF4.1** Modificar mínima intensidad audible del agente.

**RF4.2** Modificar mínima frecuencia audible del agente.

**RF4.3** Modificar máxima frecuencia audible del agente.

**RF5.** Determinar eventos sonoros percibidos por el agente.

### 2.5.2 Requisitos no funcionales

#### 1. De soporte

La percepción auditiva incorporada en el SPG puede ser utilizada en cualquier sistema operativo que soporte el lenguaje de programación C++.

#### 2. Implementación

Debe ser implementado en el Leguaje C++ estándar. Se regirá por la filosofía de Programación Orientada a Objetos.

#### 3. Usabilidad

La aplicación está concebida para ser reusable por aplicaciones finales.

### 2.6 Modelo de casos de uso del sistema

Los casos de uso del sistema son un conjunto de secuencias de acciones que un sistema ejecuta y que produce un resultado observable para un actor, es decir, fragmentos de funcionalidad que el sistema ofrece a los actores que interactúan con el mismo. La forma en que los actores usan el sistema es representada a través de los casos de usos. Estos son artefactos narrativos que describen, bajo la forma de acciones y reacciones, el comportamiento del sistema desde el punto de vista del actor. En los siguientes epígrafes se muestran los actores y los casos de uso identificados en el presente trabajo.

#### 2.6.1 Actor del sistema

Un actor usa un caso de uso para desempeñar alguna porción de trabajo que es de valor para el sistema. El conjunto de casos de uso al que un actor tiene acceso define su rol global en el sistema y el alcance de su acción (8). Un actor es un usuario del sistema, incluye usuarios humanos y otros sistemas computarizados. En nuestra investigación la aplicación final será quien inicialice a los casos de uso, por lo tanto el actor del sistema será llamado Aplicación.

Actor	Descripción
Aplicación	Es el encargado de inicializar el sistema permitiendo que sean ejecutadas las funcionalidades que son brindadas en el mismo.

Tabla 2.1. Actor del sistema

### 2.6.2 Diagrama de Casos de uso del sistema

Los diagramas de Casos de Uso del sistema son ubicados dentro de los diagramas de comportamiento del Lenguaje Unificado de Modelado (UML) y constituyen una representación gráfica de los procesos y su interacción con los actores. Se utilizan para ilustrar los requisitos del sistema. En la siguiente figura (Figura 2.4) verán las relaciones entre el único actor de del sistema y los diferentes CU existentes, que serán detallados en la próxima sección.

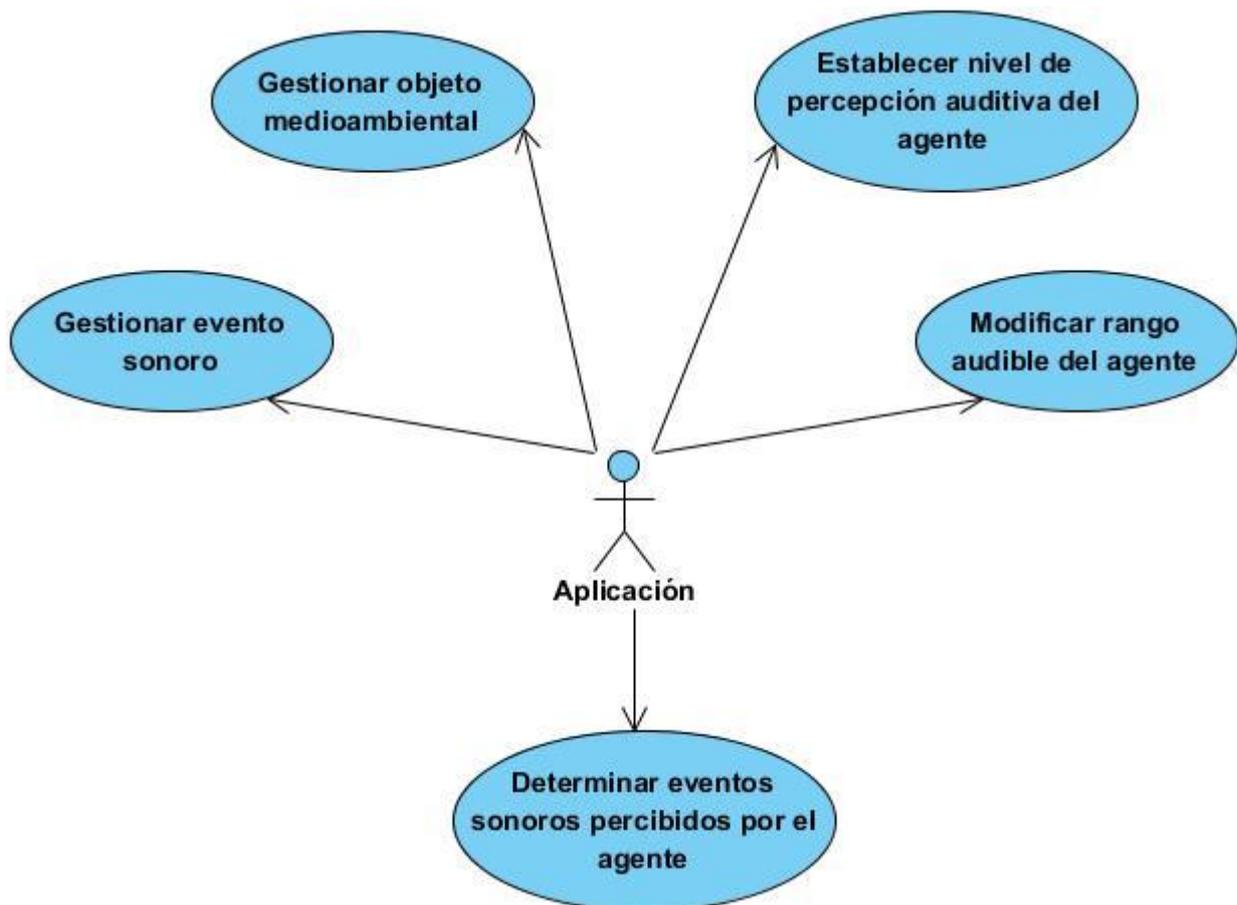


Figura 2.4. Diagrama de CU del sistema.

**2.6.3 Descripción de los casos de uso del sistema**

Cada caso de uso tiene una descripción de la funcionalidad que posee en la solución propuesta como respuesta a las acciones del usuario. En este acápite se describirá paso a paso el flujo de operaciones y funcionalidades de los casos de uso mediante las tablas presentadas a continuación, en las mismas se detallan con mayor profundidad las secuencias de operacionales de cada uno de estos casos de uso.

<b>Caso de uso</b>	Gestionar objeto medioambiental.	
<b>Actores</b>	Aplicación	
<b>Resumen</b>	Se inicia cuando el actor escoge adicionar, modificar o eliminar un objeto medioambiental del sistema de percepción y finaliza con la ejecución de la acción seleccionada.	
<b>Precondiciones</b>		
<b>Referencias</b>	RF1	
<b>Flujo Normal de Eventos</b>		
<b>Acción del Actor</b>		<b>Respuesta del Sistema</b>
a) Si el actor escoge adicionar un objeto medioambiental: ir a la sección Adicionar objeto medioambiental.		
b) Si el actor escoge eliminar un objeto medioambiental: ir a la sección Eliminar objeto medioambiental.		
<b>Sección: Adicionar objeto medioambiental</b>		
<b>Acción del Actor</b>		<b>Respuesta del Sistema</b>
1. Especifica el objeto medioambiental a adicionar.		2. Adiciona el objeto medioambiental.
<b>Sección: Eliminar objeto medioambiental</b>		
<b>Acción del Actor</b>		<b>Respuesta del Sistema</b>
1. Especifica el objeto medioambiental a adicionar.		2. El sistema elimina el objeto medioambiental.
<b>Post-condiciones</b>	Queda adicionado, modificado o eliminado un objeto medioambiental.	

Tabla 2.2 Descripción del CU Gestionar objeto medioambiental.

## PROPUESTA Y DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

<b>Caso de uso</b>	Gestionar evento sonoro.	
<b>Actores</b>	Aplicación	
<b>Resumen</b>	Se inicia cuando el actor escoge adicionar, modificar o eliminar un evento sonoro del entorno y finaliza con la ejecución de la acción seleccionada.	
<b>Precondiciones</b>		
<b>Referencias</b>	RF1	
<b>Flujo Normal de Eventos</b>		
<b>Acción del Actor</b>	<b>Respuesta del Sistema</b>	
a) Si el actor escoge adicionar un evento sonoro: ir a la sección Adicionar evento sonoro.		
b) Si el actor escoge eliminar un evento sonoro: ir a la sección Eliminar evento sonoro.		
<b>Sección: Adicionar evento sonoro</b>		
<b>Acción del Actor</b>	<b>Respuesta del Sistema</b>	
1. Especifica el evento sonoro a adicionar.	2. Adiciona el evento sonoro.	
<b>Sección: Eliminar evento sonoro</b>		
<b>Acción del Actor</b>	<b>Respuesta del Sistema</b>	
1. Especifica el evento sonoro a eliminar.	2. Elimina el evento sonoro.	
<b>Post-condiciones</b>	Queda adicionado, modificado o eliminado un evento sonoro.	

Tabla 2.3 Descripción del CU Gestionar evento sonoro.

## PROPUESTA Y DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

<b>Caso de uso</b>	Establecer nivel de percepción auditiva del agente.	
<b>Actores</b>	Aplicación	
<b>Resumen</b>	Se inicia cuando el actor selecciona la opción Establecer nivel de percepción auditiva de un agente determinado. Finaliza con el establecimiento del nivel de percepción sonora del agente.	
<b>Precondiciones</b>		
<b>Referencias</b>	RF3	
<b>Flujo Normal de Eventos</b>		
	<b>Acción del Actor</b>	<b>Respuesta del Sistema</b>
	1. Escoge establecer el nivel de percepción auditiva de un agente determinado especificando el nivel que será establecido (básico o avanzado)	2. Se establece en el agente el nivel de percepción auditiva especificado.
<b>Post-condiciones</b>	Se estableció el nivel de percepción determinado.	

Tabla 2.4 Descripción del CU Establecer nivel de percepción auditiva del agente.

## PROPUESTA Y DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

<b>Caso de uso</b>	Modificar rango audible del agente.	
<b>Actores</b>	Aplicación	
<b>Resumen</b>	Se inicia cuando el actor escoge modificar el rango audible un agente determinado y finaliza con la modificación del rango audible del agente.	
<b>Precondiciones</b>		
<b>Referencias</b>	RF4	
<b>Flujo Normal de Eventos</b>		
<b>Acción del Actor</b>	<b>Respuesta del Sistema</b>	
a) Si el actor escoge modificar la mínima intensidad audible del agente: ir a sección Modificar mínima intensidad audible del agente.		
b) Si el actor escoge modificar la mínima frecuencia audible del agente: ir a la sección Modificar mínima frecuencia audible del agente.		
c) Si el actor escoge modificar la máxima frecuencia audible del agente: ir a la sección Modificar máxima frecuencia audible del agente.		
<b>Sección: Modificar mínima intensidad audible del agente</b>		
<b>Acción del Actor</b>	<b>Respuesta del Sistema</b>	
1. Especifica del nuevo valor de la mínima intensidad audible del agente.	2. Sustituye el valor de la mínima intensidad audible del agente por el valor especificado.	
<b>Sección: Modificar mínima frecuencia audible del agente</b>		
<b>Acción del Actor</b>	<b>Respuesta del Sistema</b>	
1. Especifica del nuevo valor de la mínima frecuencia audible del agente.	2. Sustituye el valor de la mínima frecuencia audible del agente por el valor especificado.	
<b>Sección: Modificar máxima frecuencia audible del agente</b>		
<b>Acción del Actor</b>	<b>Respuesta del Sistema</b>	
1. Especifica del nuevo valor de la máxima frecuencia audible del agente.	2. Sustituye el valor de la máxima frecuencia audible del agente por el valor especificado.	
<b>Post-condiciones</b>	Queda adicionado, modificado o eliminado un evento sonoro.	

Tabla 2.5 Descripción del CU Modificar rango audible del agente.

## PROPUESTA Y DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

<b>Caso de uso</b>	Determinar eventos sonoros percibidos por el agente.	
<b>Actores</b>	Aplicación	
<b>Resumen</b>	Se inicia cuando el escoge la acción Determinar eventos sonoros percibidos por el agente. Finaliza con la actualización del conjunto de eventos sonoros percibidos por el agente.	
<b>Precondiciones</b>		
<b>Referencias</b>	RF5	
<b>Flujo Normal de Eventos</b>		
<b>Acción del Actor</b>	<b>Respuesta del Sistema</b>	
1. Selecciona la opción Determinar eventos sonoros percibidos por el agente.	2. Verifica el nivel de percepción auditiva establecido para el agente.  3. Determina los eventos sonoros del sistema de percepción que son perceptibles por el agente utilizando el nivel básico.  4. Actualiza el conjunto de eventos sonoros perceptibles por el agente.	
<b>Flujo Alternativo de Eventos</b>	<b>Nivel Avanzado</b>	
<b>Acción del Actor</b>	<b>Respuesta del Sistema</b>	
	3a. Determina los eventos sonoros del sistema de percepción que son perceptibles por el agente utilizando el nivel avanzado.  4. Actualiza el conjunto de eventos sonoros perceptibles por el agente.	
<b>Post-condiciones</b>	Queda actualizado el conjunto de eventos sonoros audibles para el agente.	

Tabla 2.6 Descripción del CU Determinar eventos sonoros percibidos por el agente

### Conclusiones del capítulo

En este capítulo se realizó la propuesta de cada uno de los dos algoritmos correspondientes a cada uno de los dos niveles de audición propuestos. Al finalizar se obtuvieron los requisitos funcionales y no funcionales, estos fueron empleados para definir los casos de uso del sistema y la descripción de estos. Finalizado este capítulo quedan sentadas las bases sobre las cuales se podrá iniciar el diseño y la implementación del trabajo.

**CAPÍTULO 3: DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS****Introducción**

En este capítulo se presenta una descripción de la arquitectura del Sistema de Percepción Genérico para agentes autónomos en videojuegos. Además se muestra el diagrama de clases del sistema como resultado del refinamiento de las etapas anteriores. Posteriormente se mencionan los patrones de diseño que se utilizan en este trabajo. Luego se muestran los diagramas de secuencia elaborados a partir de los casos de uso que intervienen en el desarrollo de la investigación. Se exponen además los componentes físicos, que se traducen en los ficheros .h y .cpp correspondientes a la implementación en C++. Se presenta también el diagrama de despliegue del sistema y finalmente se muestran los resultados del trabajo.

**3.1 Arquitectura del Sistema de Percepción Genérico para agentes autónomos en videojuegos**

Para lograr implementar las funcionalidades de percepción auditiva del SPG, es necesario conocer la arquitectura de este sistema para luego definir las clases que deben ser agregadas, los métodos y atributos que pueden ser insertados en determinadas clases, así como otras estructuras que puedan ser adicionadas.

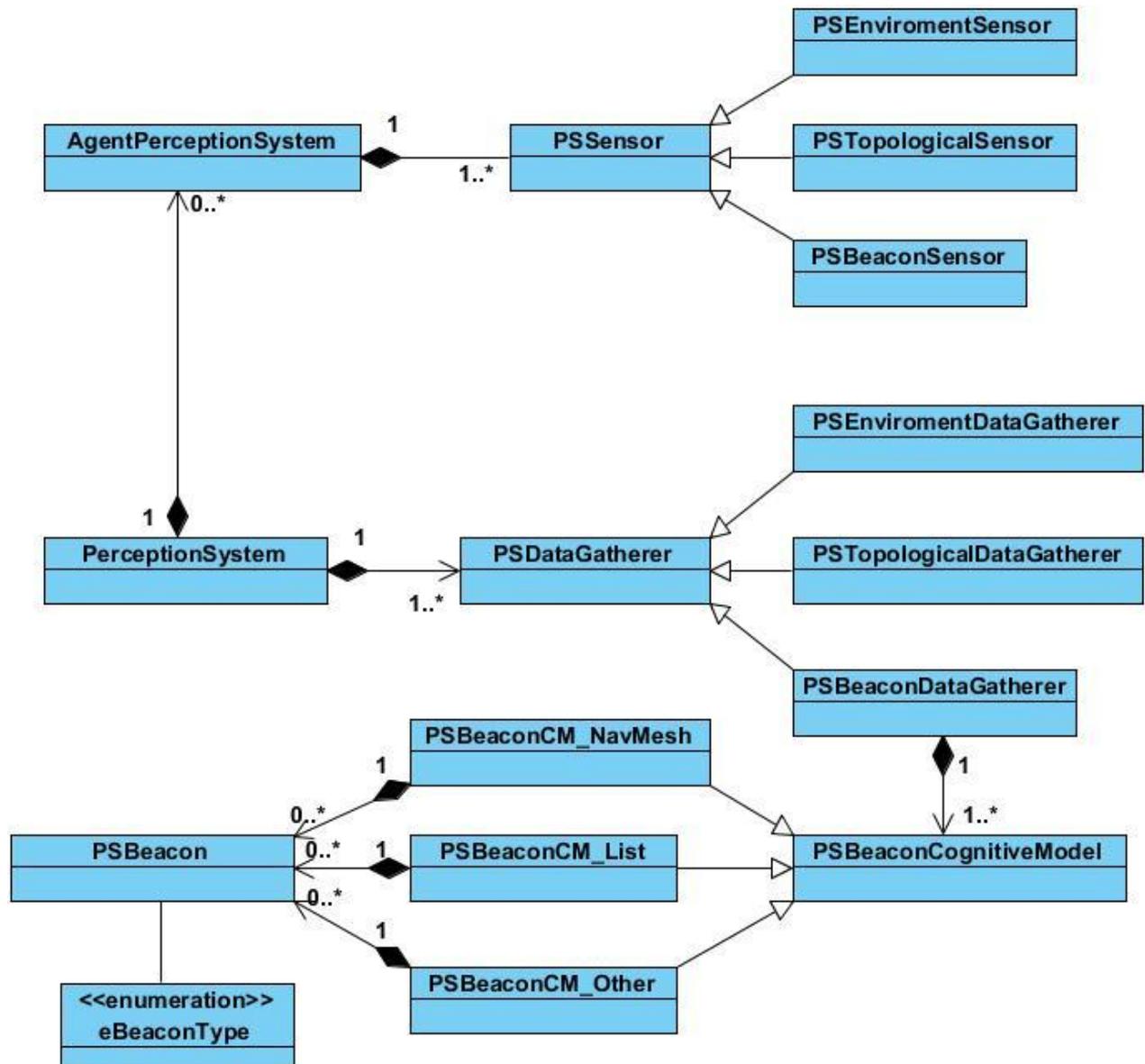


Figura 3.1 Arquitectura del Sistema de Percepción Genérico para agentes autónomos en videojuegos

### 3.1.1 Contenedores de datos

En el SPG el objeto de la clase *PerceptionSystem* (Figura 3.1) es responsable de actualizar los objetos de la clase *PSDataGatherer* que almacenan la información del entorno virtual que puede ser percibida por los agentes. Esta información puede ser datos topológicos (las mejores ubicaciones de francotiradores, zonas de ataque potencial), datos medioambientales (como la ubicación de las paredes, escaleras) o eventos que ocurren en el mundo (los sonidos de disparos, de pasos, entre otros) (11).

Todos estos tipos de contenedores de información se implementan como clases derivadas de la clase abstracta *PSDataGatherer*. Tener los recolectores de datos como clases diferentes

permite la inclusión de sólo los que son necesarios para un juego específico. Por lo tanto, un partido de fútbol puede descartar los datos medioambientales y los topológicos, mientras que un videojuego de disparos en primera persona necesita todos los recolectores de datos (11).

### 3.1.2 Componentes de un agente

Por su parte el agente recibe la información del entorno a través de sensores (Figura 3.1). Estos sensores escanean constantemente el entorno en busca de información y mantienen actualizado al agente. Para ello, estos sensores se conectan a los contenedores de datos (*PSDataGatherer*) del Sistema de Percepción Genérico, los cuales le proveen de la información táctica, de *Beacon* y de estructura del entorno (11).

Cuando se crea un agente, se registran los sensores que va a utilizar, ya que todos los agentes no necesitan conocer todo tipo de información. En cada sensor se implementan los algoritmos que determinan cuales datos el agente percibe según el tipo de sensor que sea. Por ejemplo, los sensores topológico y medioambiental definen los datos medioambientales y topológicos que están cerca del agente y que son visibles para él, mientras que el sensor de *beacons* define los eventos dinámicos que el agente percibe (como los sonidos del entorno). En cada momento los agentes son actualizados y ejecutan el escaneo en el contenedor de datos que le corresponde (11).

## 3.2 Modelo del diseño

El modelo del diseño describe la realización física de los CU centrándose tanto en los requisitos funcionales como en los requisitos no funcionales. En el diseño se modela el sistema y se confecciona su estructura (arquitectura), que sirve de soporte para la realización de todos los requisitos. La realización de los CU del diseño contiene una descripción de los flujos de eventos textuales, diagramas de clases y diagramas de interacción. Los diagramas de clases son los más utilizados en el modelado de sistemas OO (8).

### 3.2.1 Diagrama de clases del diseño

Un diagrama de clases muestra un conjunto de clases, interfaces y colaboraciones, así como las relaciones existentes entre las mismas. Una clase del diseño es una abstracción sin costuras con una clase o construcción similar en la implementación del sistema donde se le atribuyen visibilidad a sus atributos y operaciones. A continuación se muestra el diagrama de clases del diseño en dos partes para una mejor visualización y comprensión del mismo. La primera parte

es la referente a los agentes que perciben sonidos y la segunda representa los contenedores de datos.

En esta primera parte del diagrama de clases del diseño (ver Figura 0.2), se observa que se ha agregado al SPG la clase *PSAgentConfiguration* para establecer el nivel de percepción auditiva del agente. Además en la clase *PSBeaconSensor* se encuentran los métodos donde se implementan los algoritmos de percepción auditiva descritos en el capítulo 2 y en la clase *AgentPerceptionSystem* está el conjunto de eventos sonoros que el sensor define que pueden ser percibidos. En esta segunda parte del diagrama de clases del diseño (ver Figura 0.3) también se muestran clases que se hay adicionada y los métodos que han sido agregados en diferentes clases. Se observa además que se insertaron los métodos necesarios para poder gestionar los eventos sonoros y objetos medioambientales del entorno.

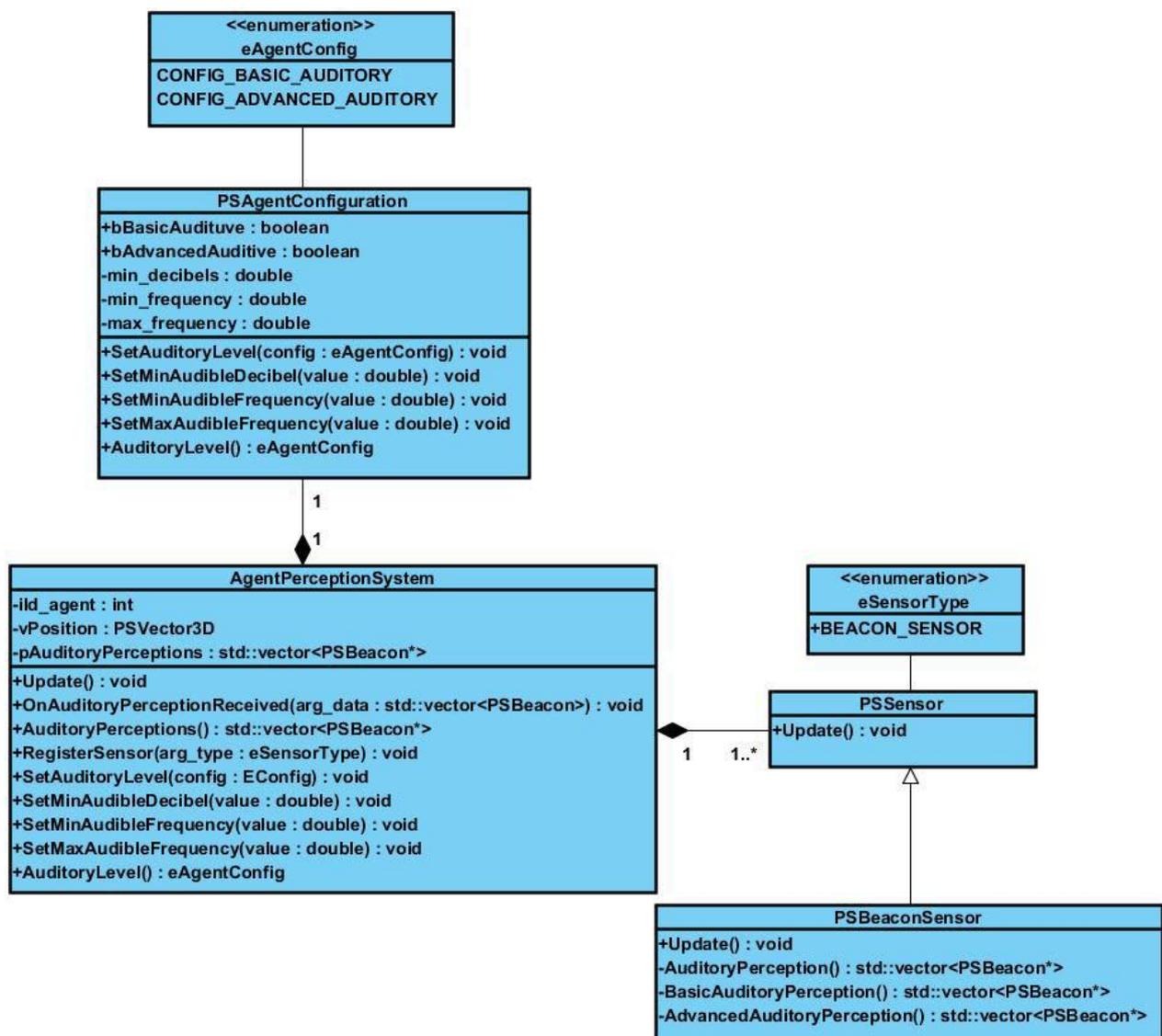


Figura 3.2. Diagrama de clases del diseño. Agentes y sensores.

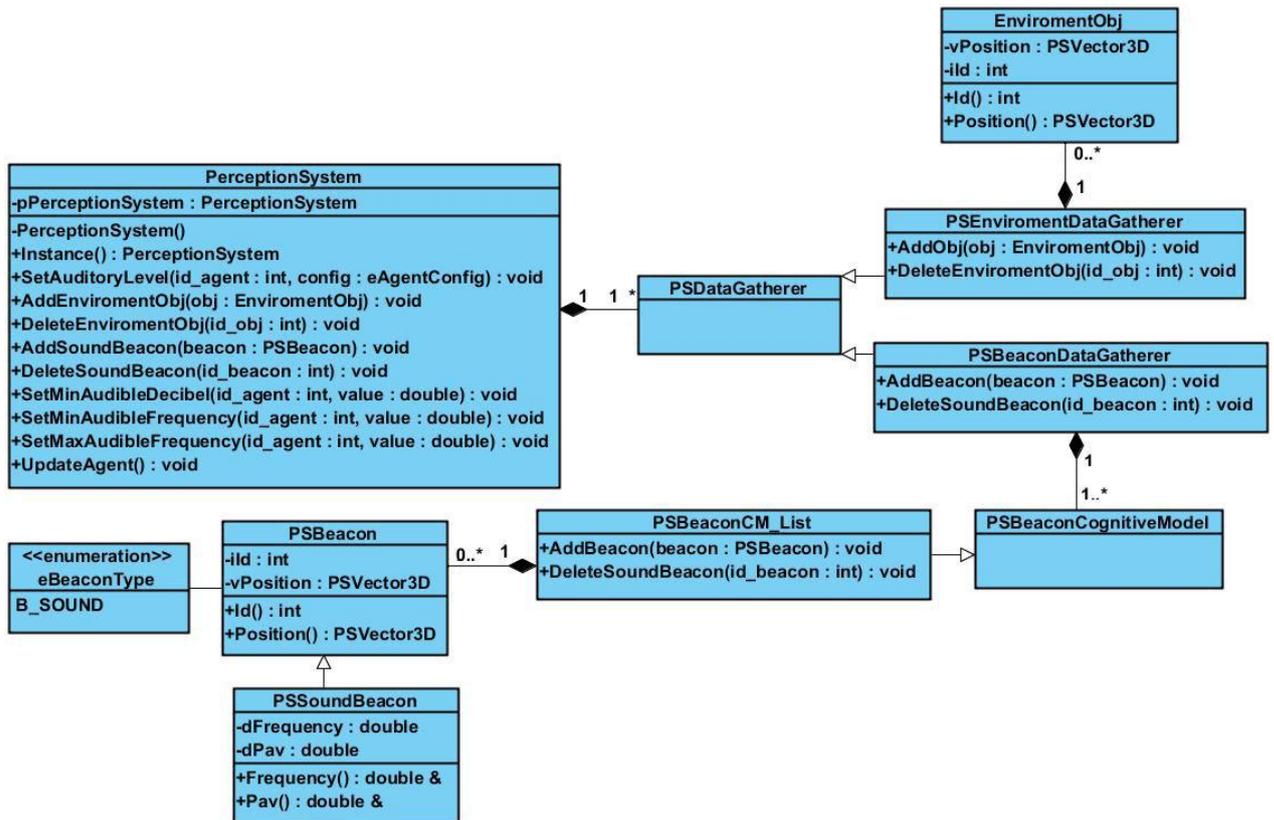


Figura 3.3. Diagrama de clases del diseño. Contenedores de datos.

### 3.2.2 Patrones de diseño

Los patrones de diseño se pueden agrupar según el problema que aborden:

**Creacionales:** Abordan problemas de creación de objetos.

**Estructurales:** Abordan problemas sobre relaciones entre entidades.

**De Comportamiento:** Abordan problemas de comunicación entre entidades.

Como las clasificaciones anteriores pueden ser muy discutibles y se encontrarían patrones ubicables en diferentes categorías o que den lugar a algunas nuevas, es preferible en ocasiones, utilizarlos por el origen de cada uno. Existen dos grupos de patrones de diseño: los patrones GRASP y los patrones GOF. GRASP es un acrónimo de *General Responsibility Assignment Software Patterns* (patrones generales de software para asignar responsabilidades) mientras que GOF es un acrónimo de *Gang-of-Four* (pandilla de los cuatro). A continuación se describen algunos de ellos empleados en el desarrollo de la solución.

**Patrones GRASP:**

**Expert:** La clase *PerceptionSystem* es la encargada de controlar todas las acciones del programa ya que es la que contiene todas las instancias e informaciones necesarias para llevar la lógica del programa en general.

**Creator:** Este patrón se evidencia en toda la lógica del diseño de clases por ejemplo la clase *AgentPerceptionSystem* es la encargada de tener la responsabilidad de crear la clase *PSAgentConfiguration* con los datos que esta necesita para ser creada.

**Patrones GOF:**

**Singleton:** Garantiza que una clase sólo tenga una única instancia, proporcionando un punto de acceso global a la misma. Todas las clases del sistema pueden utilizar la instancia única de la clase *PerceptionSystem* a través del método *Instance()*.

**3.2.3 Diagramas de secuencia del diseño**

Un diagrama de secuencia muestra una interacción muestra los objetos que participan en la interacción mediante sus líneas de vida y mediante los mensajes que intercambian, organizados en forma de una secuencia temporal (12). Todo esto da una idea más general sobre el flujo que existe entre las clases del diseño y que posibilita comprender mejor el módulo elaborado en términos de implementación. A continuación se encuentran los diagramas de secuencia del diseño para cada uno de los distintos CU del sistema.

**CU Gestionar objeto medioambiental. Sesión Adicionar objeto medioambiental**

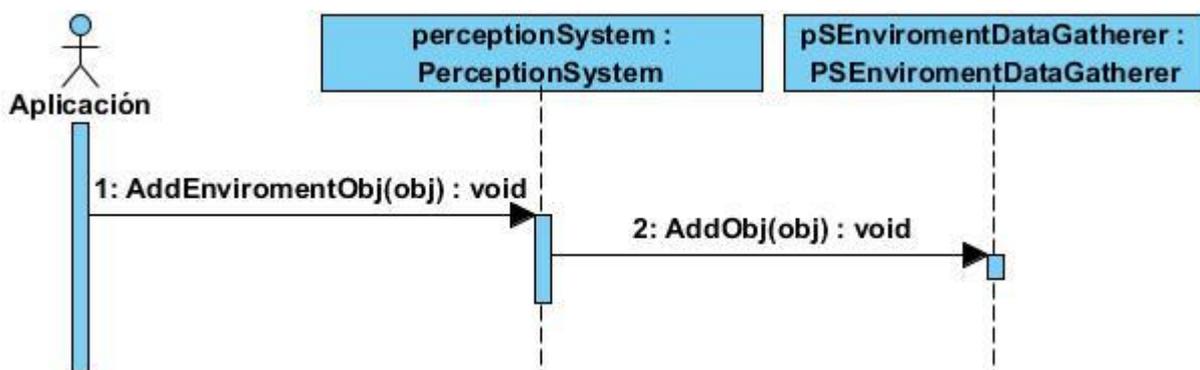


Figura 3.4 Adicionar objeto medioambiental.

CU Gestionar objeto medioambiental. Sesión Eliminar objeto medioambiental

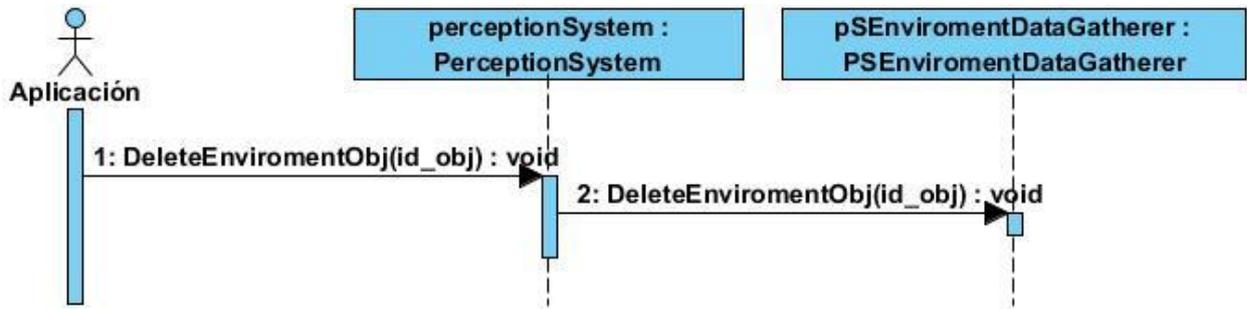


Figura 3.5 Eliminar objeto medioambiental.

CU Gestionar evento sonoro. Sesión Adicionar evento sonoro

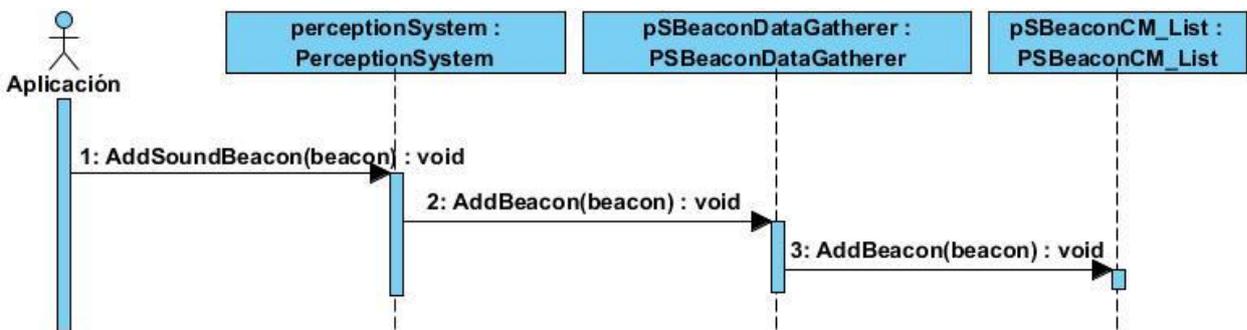


Figura 3.6 Adicionar evento sonoro.

CU Gestionar evento sonoro. Sesión Eliminar evento sonoro

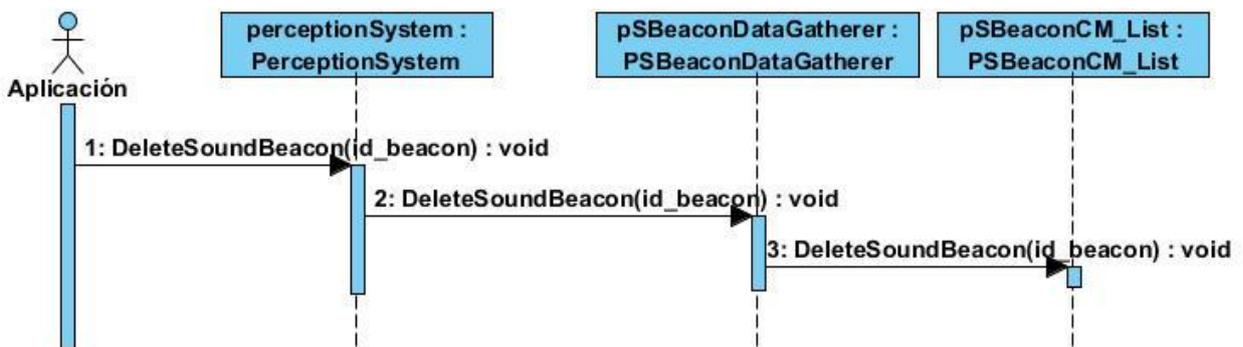


Figura 3.7 Eliminar evento sonoro.

CU Establecer nivel de percepción auditiva del agente

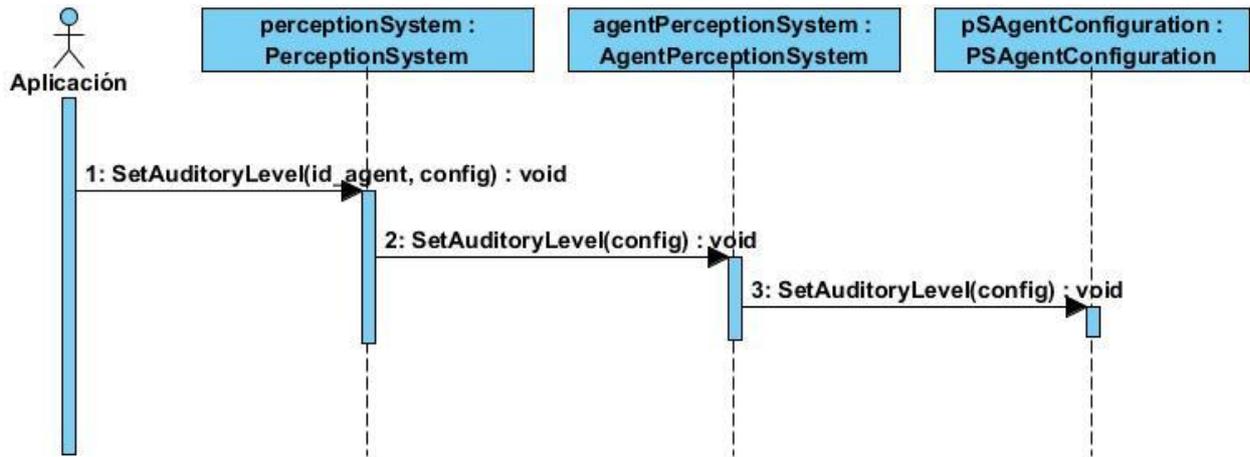


Figura 3.8 Establecer nivel de percepción auditiva del agente.

CU Modificar rango audible del agente. Sesión Modificar mínima intensidad audible del agente

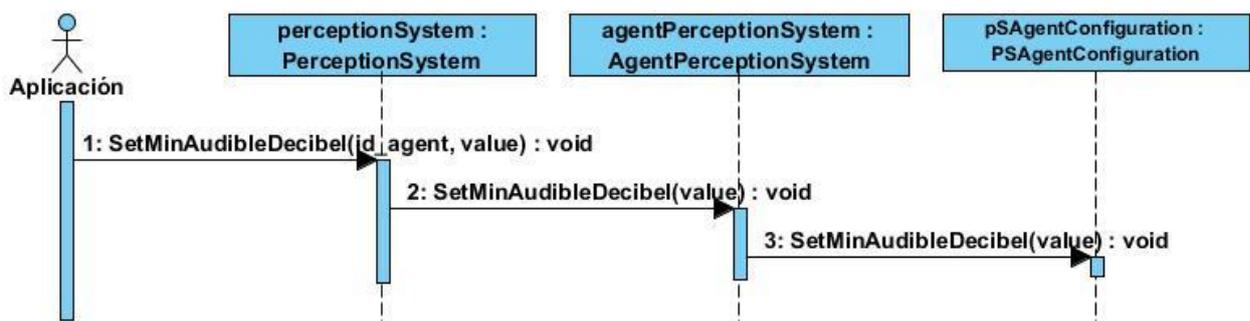


Figura 3.9 Modificar mínima intensidad audible del agente.

CU Modificar rango audible del agente. Sesión Modificar mínima frecuencia audible del agente

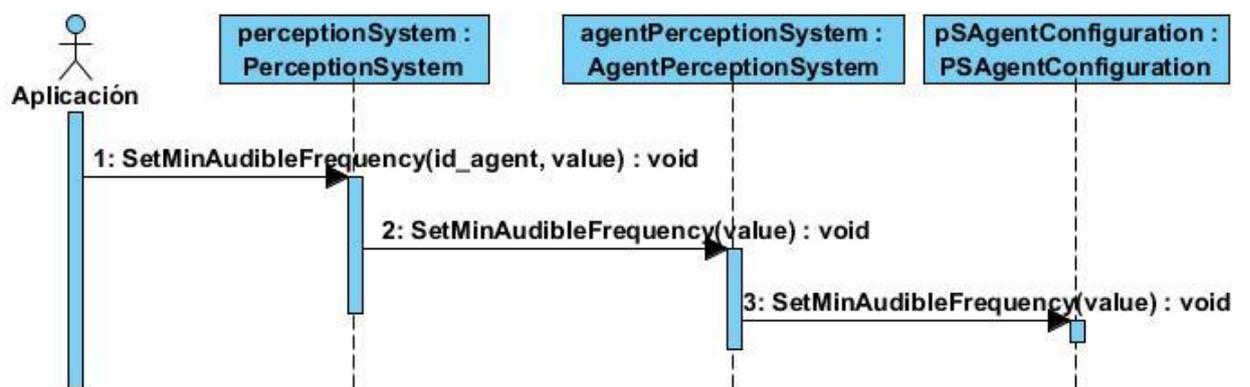


Figura 3.10 Modificar mínima frecuencia audible del agente.

CU Modificar rango audible del agente. Sesión Modificar máxima frecuencia audible del agente

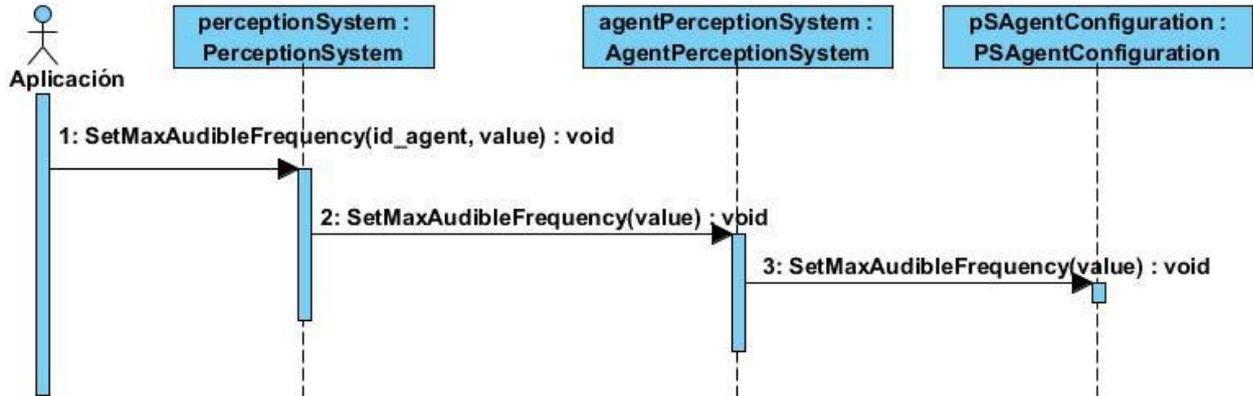


Figura 3.11 Sesión Modificar máxima frecuencia audible del agente.

CU Determinar eventos sonoros percibidos por el agente

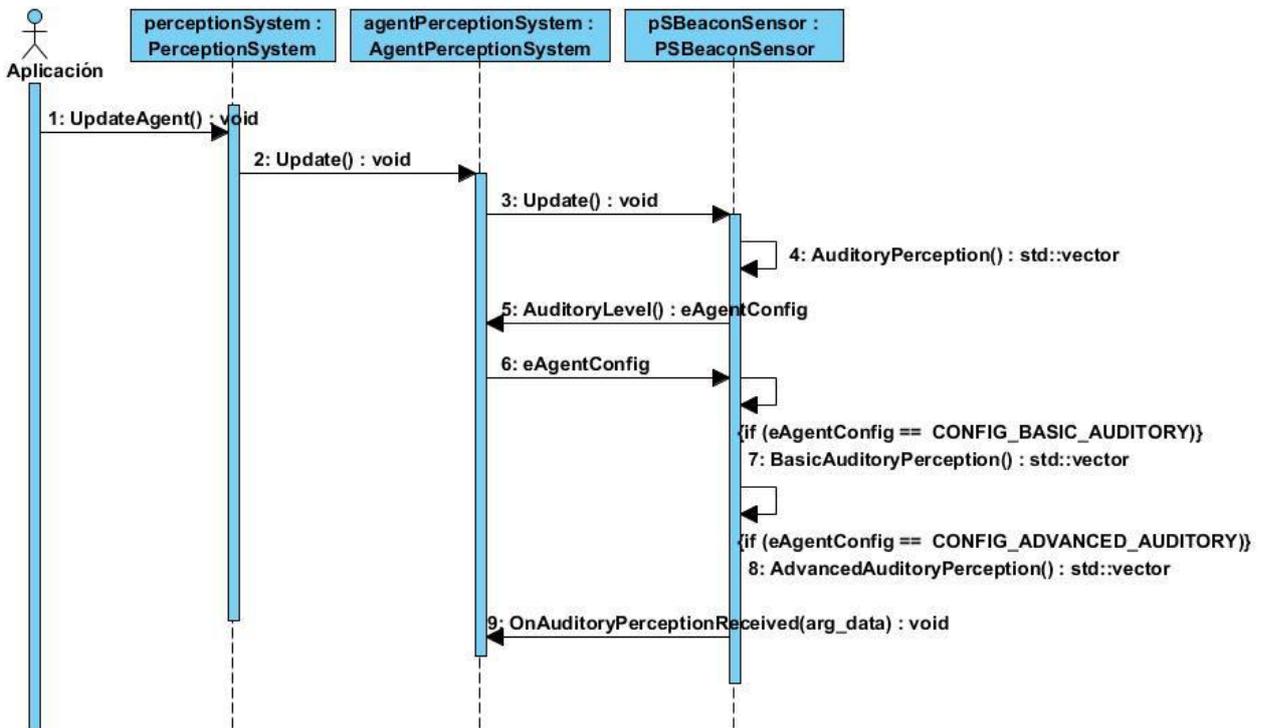


Figura 3.12 Determinar eventos sonoros percibidos por el agente.

### **3.3 Modelo de implementación**

Durante la implementación se describe cómo los elementos del modelo del diseño se implementan en términos de componentes y cómo estos se organizan de acuerdo a los nodos específicos en el modelo de despliegue. Los diagramas de componentes y de despliegue conforman lo que se conoce como un modelo de implementación, al describir los componentes a construir y su organización; así como su dependencia entre nodos físicos en los que funcionará la aplicación, respectivamente (8).

#### **3.3.1 Diagrama de componentes**

El diseño de clases del sistema constituye el paso fundamental para crear los componentes físicos del sistema. Los cuales se traducen en el Sistema de Percepción a desarrollar en ficheros .h y .cpp correspondientes a la implementación que se desarrolla en C++. A continuación se muestra cómo se agruparon dichas clases en los componentes según las relaciones que tienen entre sí.

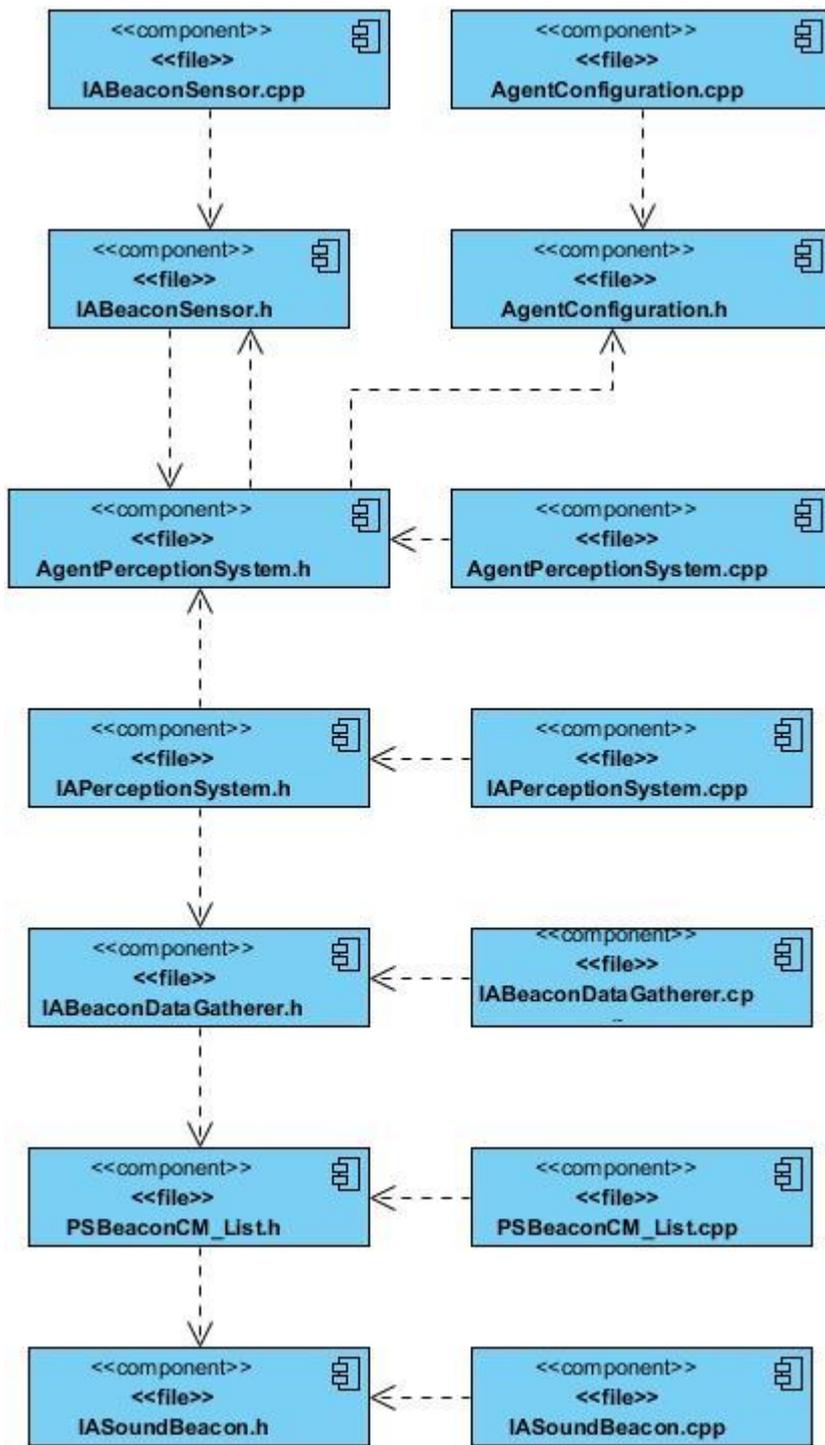


Figura 3.13. Diagrama de componentes

A través del componente *AgentPerceptionSystem* se hace uso del componente *PSAgentConfiguration* para configurar el nivel de percepción auditiva que el desarrollador desee brindar a sus agentes. Además los agentes a través del sensor de *beacons* representado por *PSBeaconSensor* realizan la percepción auditiva con los datos obtenidos del contenedor de datos de tipo *beacons* representado por *IABeaconDataGatherer*.

### 3.3.2 Diagrama de despliegue

En el diagrama de despliegue se indica la situación física de los componentes lógicos desarrollados. Es decir, se sitúa el software en el hardware que lo contendrá una vez terminada la realización del mismo. Cada hardware se representa como un nodo. Un nodo se representa como un cubo y es un elemento donde se ejecutan los componentes desarrollados. (6)



Figura 3.14. Diagrama de despliegue

### 3.4 Resultados

Para demostrar el correcto funcionamiento de la percepción auditiva incorporada al SPG, se realizó una aplicación visual que muestra un sencillo escenario en tres dimensiones. En el mismo se observa un personaje con forma humana, una fuente sonora y varios obstáculos para el sonido (objetos medioambientales) en forma de cubos. Se incorporó la percepción auditiva al personaje de esta aplicación y se establecieron varias situaciones (Figura 3.16).

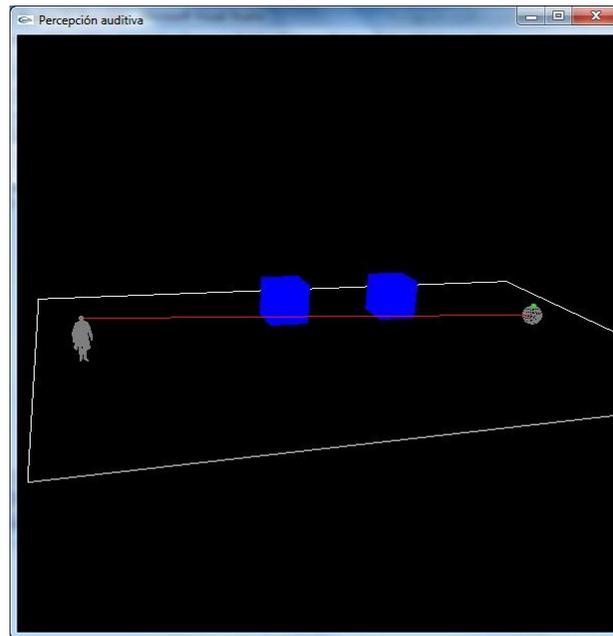


Figura 3.15 Escenario para realizar las pruebas

Sobre este escenario se realizaron cuatro casos de prueba, con el objetivo de comparar los resultados obtenidos por los diferentes niveles de percepción auditiva establecidos en el agente. Para ello la intensidad sonora será usada en su escala logarítmica, llamada nivel de intensidad sonora y expresada en decibeles (dB). Se ubicaron dos obstáculos con coeficiente de absorción equivalente a 0.5, el rango sonoro audible para el agente se estableció de la siguiente manera:

Mínimo nivel de intensidad sonora audible por el agente: 0 dB.

Mínima frecuencia sonora audible por el agente: 20 Hz.

Máxima frecuencia sonora audible por el agente: 20 000 Hz.

Además la frecuencia del sonido será de 50 Hz, por lo que siempre estará dentro del rango audible. Finalmente, para determinar si un sonido es percibido por el agente, solo se comprobaba que el NIS del sonido que alcanza al agente supera los 0 dB.

### Descripción de los casos de prueba.

#### Caso de prueba 1

En el primer caso de prueba (Figura 3.16), el agente, la fuente de sonido y los obstáculos 1 y 2 son ubicados en las posiciones  $(-20, 2, 0)$ ,  $(10, 1, 0)$ ,  $(-3, 1.5, -3)$  y  $(3, 1.5, -3)$  respectivamente, donde los obstáculos no se interponen entre la fuente y el receptor. Con el nivel básico de

percepción auditiva (Figura 3.16 a) el agente no percibe el sonido emitido por la fuente, pues el NIS percibido está por debajo de 0 dB (mínima intensidad audible). Con el nivel avanzado de percepción auditiva (Figura 3.16 b), se toma en cuenta el efecto de los obstáculos, pues estos reflejan parte de la energía sonora que reciben. Al sumarse la energía sonora que proviene directamente de la fuente con la que proviene directamente de los obstáculos, el NIS percibido por el agente es superior a 0 dB, por tanto, el sonido es escuchado.

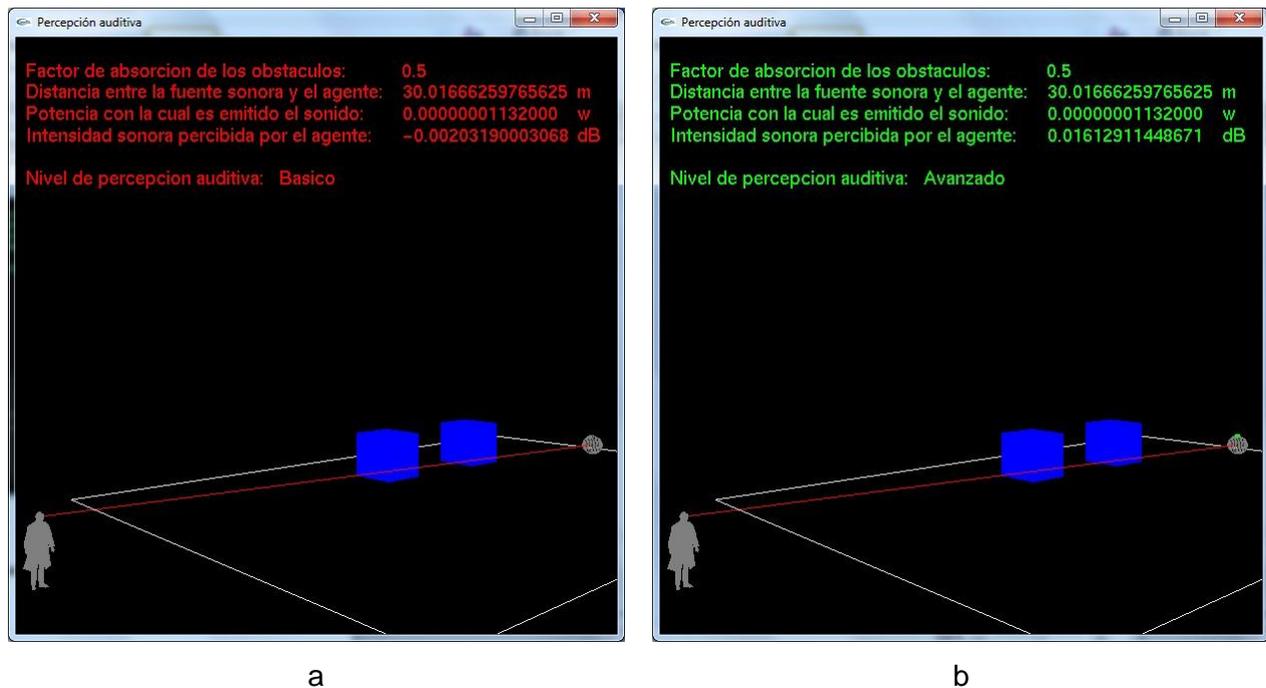


Figura 3.16 Caso de prueba 1 a) Nivel básico de percepción auditiva b) Nivel avanzado de percepción auditiva

### Caso de prueba 2

En el segundo caso de prueba (Figura 3.17), el agente, la fuente de sonido y los obstáculos 1 y 2 son ubicados en las posiciones  $(-10, 2, 0)$ ,  $(10, 1, 0)$ ,  $(-3, 1.5, -3)$  y  $(3, 1.5, -3)$  respectivamente, donde los obstáculos no se interponen entre la fuente y el receptor. Además, en este caso la fuente emite el sonido con una potencia igual a  $3 \times 10^{-6}$  (superior a la del caso de prueba 1). Con el nivel básico de percepción auditiva (Figura 3.17 A) el agente percibe el sonido emitido por la fuente, pues el NIS percibido está por encima de 0 dB. Con el nivel avanzado de percepción auditiva (Figura 3.17 B), se toma en cuenta el efecto de los obstáculos, pues estos reflejan parte de la energía sonora que reciben, por tanto, el sonido es escuchado.

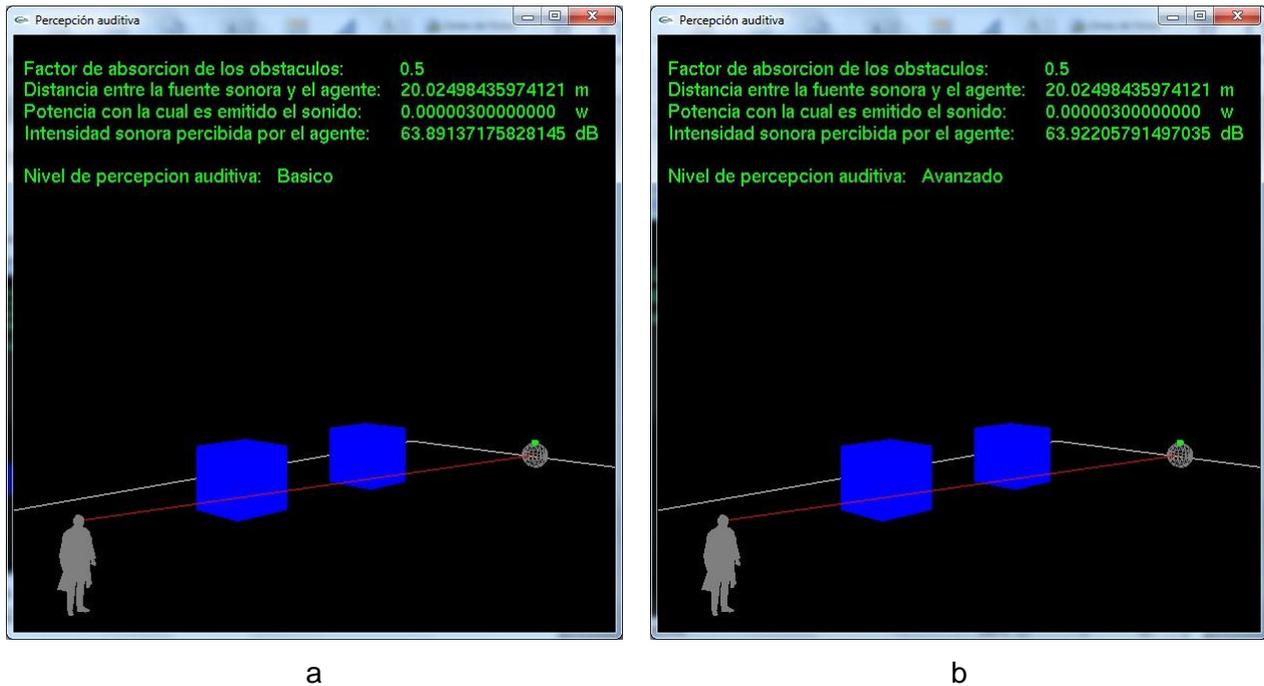


Figura 3.17 Caso de prueba 2 a) Nivel básico de percepción auditiva b) Nivel avanzado de percepción auditiva

### Caso de prueba 3

En el tercer caso de prueba (Figura 3.18), el agente, la fuente de sonido y los obstáculos 1 y 2 son ubicados en las posiciones  $(-10, 2, 0)$ ,  $(10, 1, 0)$ ,  $(-3, 1.5, 0)$  y  $(3, 1.5, -3)$  respectivamente, donde uno de los obstáculos se interpone entre la fuente y el receptor. Con el nivel básico de percepción auditiva (Figura 3.18 A) el agente percibe el sonido emitido por la fuente, pues el NIS percibido está por encima de 0 dB. Con el nivel avanzado de percepción auditiva (Figura 3.18 B), el agente solo recibe la energía sonora que proviene directamente de los obstáculos y no la que proviene directamente de la fuente. Uno de los obstáculos refleja y el otro la transmite parte de la energía sonora que reciben. Finalmente, aunque el agente escucha el sonido lo hace con menos NIS que con el nivel básico.

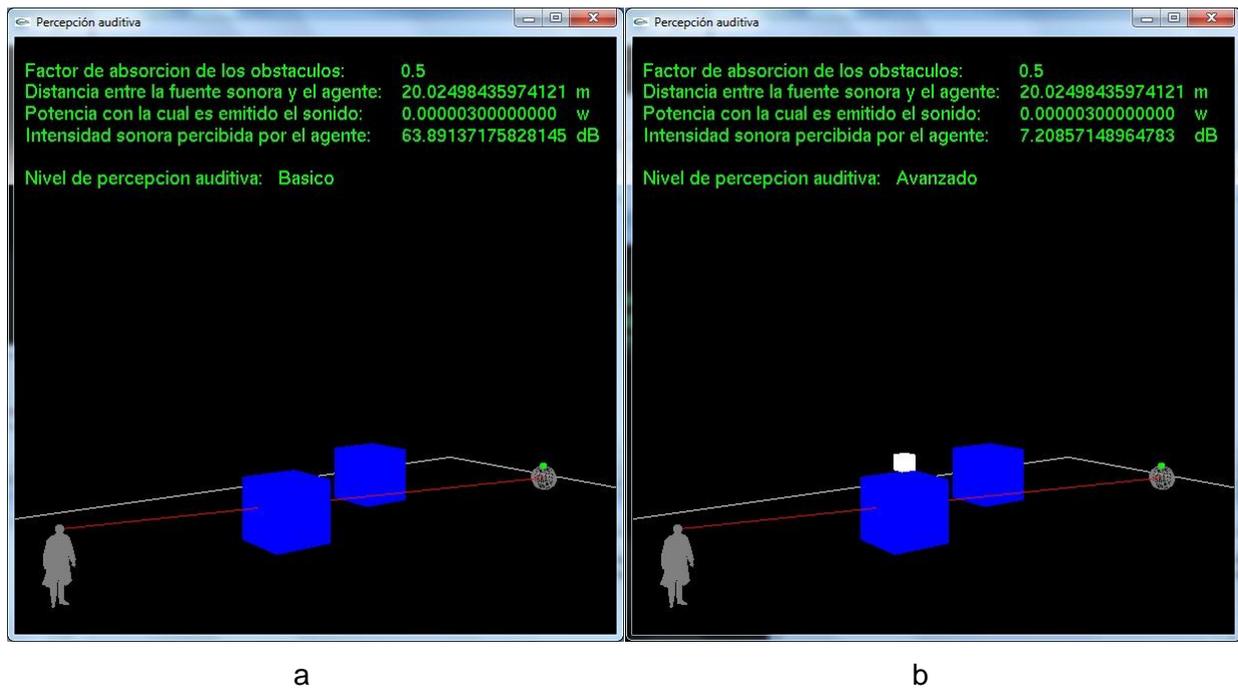
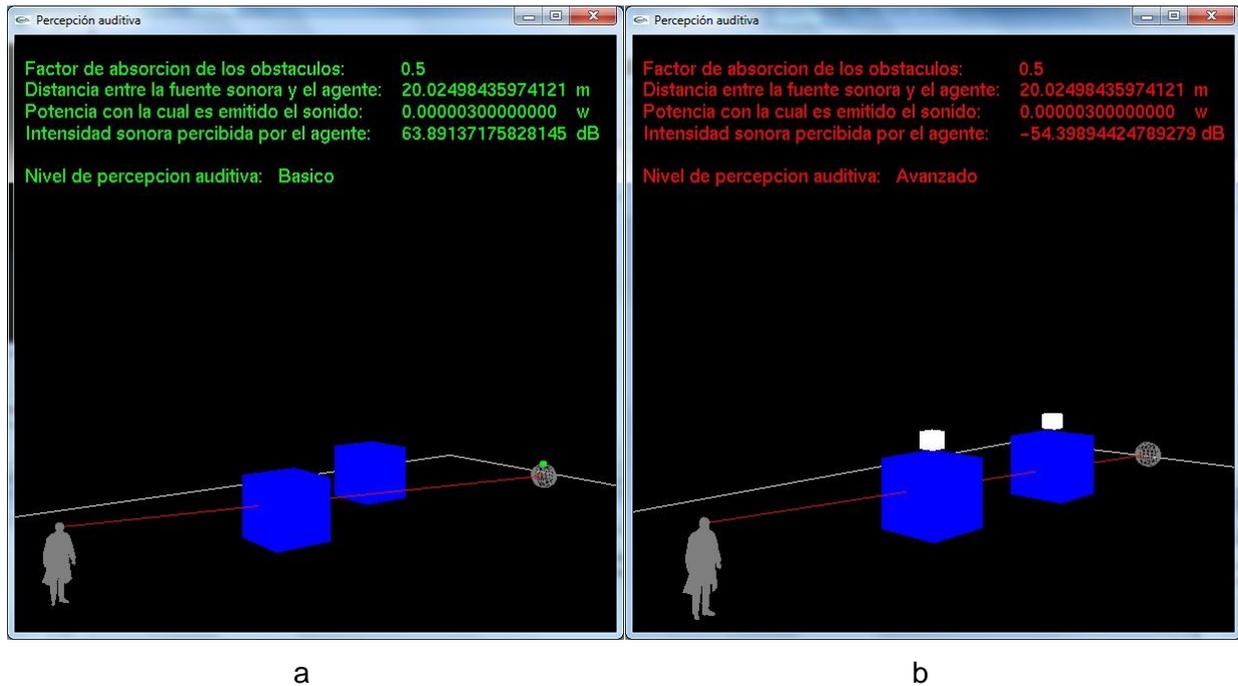


Figura 3.18 Caso de prueba 3 a) Nivel básico de percepción auditiva b) Nivel avanzado de percepción auditiva

#### Caso de prueba 4

En el cuarto caso de prueba (Figura 3.19), el agente, la fuente de sonido y los obstáculos 1 y 2 son ubicados en las posiciones  $(-10, 2, 0)$ ,  $(10, 1, 0)$ ,  $(-3, 1.5, 0)$  y  $(3, 1.5, 0)$  respectivamente, donde los dos obstáculos se interponen entre la fuente y el receptor. Con el nivel básico de percepción auditiva (Figura 3.19 A) el agente percibe el sonido emitido por la fuente, pues el NIS percibido está por encima de 0 dB. Con el nivel avanzado de percepción auditiva (Figura 3.19 B), el agente solo recibe la energía sonora que proviene directamente de los obstáculos y no la que proviene directamente de la fuente. A diferencia del tercer caso ambos obstáculos transmiten parte de la energía sonora que reciben. El obstáculo más cercano a la fuente, recibe energía sonora directamente de ella y transmite solo una porción directamente al otro obstáculo, este a su vez, trasmite al agente una porción de la energía que recibe. Finalmente, al agente llega muy poco NIS, que no supera los 0 dB, por tanto el sonido emitido por la fuente no es percibido.



**Figura 3.19** Caso de prueba 4 a) Nivel básico de percepción auditiva b) Nivel avanzado de percepción auditiva

Para una mejor comprensión, en las tablas 3.1 y 3.2 se muestra un resumen de las situaciones descritas anteriormente y sus respectivos resultados para los niveles básico y avanzado.

**Nivel básico de percepción sonora:**

No.	Objeto medioambiental				Fuente sonora			Agente	
	Coeficiente de absorción	Distancia		Se interpone entre la fuente sonora y el agente	Potencia (watt)	Frecuencia sonora (Hz)	Distancia hasta el agente (m)	Intensidad sonora percibida (dB)	El sonido es percibido
Hasta la fuente sonora (m)		Hasta el agente (m)							
1	0.5	13,351	17,270	No	$1132 \times 10^{-11}$	50	30,017	<b>-0,002</b>	<b>No</b>
	0.5	7,632	23,00	No					
2	0.5	13,351	7,632	No	$3 \times 10^{-6}$	50	20,249	<b>63,891</b>	<b>Si</b>
	0.5	7,632	13,351	No					
3	0.5	13,016	7,009	Si	$3 \times 10^{-6}$	50	20,249	<b>63,891</b>	<b>Si</b>
	0.5	7,632	13,351	No					
4	0.5	13,016	7,009	Si	$3 \times 10^{-6}$	50	20,249	<b>63,891</b>	<b>Si</b>
	0.5	7,009	13,016	Si					

**Tabla 3.1 Nivel básico de percepción sonora**

**Nivel avanzado de percepción sonora:**

No.	Objeto medioambiental				Fuente sonora			Agente	
	Coeficiente de absorción	Distancia		Se interpone entre la fuente sonora y el agente	Potencia (watt)	Frecuencia sonora (Hz)	Distancia hasta el agente (m)	Intensidad sonora percibida (dB)	El sonido es percibido
		Hasta la fuente sonora (m)	Hasta el agente (m)						
1	0.5	13,351	17,270	No	1,132x10 <sup>-8</sup>	50	30,017	0,016	Si
	0.5	7,632	23,00	No					
2	0.5	13,351	7,632	No	3x10 <sup>-6</sup>	50	20,249	63,922	Si
	0.5	7,632	13,351	No					
3	0.5	13,016	7,009	Si	3x10 <sup>-6</sup>	50	20,249	7,209	Si
	0.5	7,632	13,351	No					
4	0.5	13,016	7,009	Si	3x10 <sup>-6</sup>	50	20,249	-54,399	No
	0.5	7,009	13,016	Si					

Tabla 3.2 Nivel avanzado de percepción sonora

**Conclusiones del capítulo**

En este capítulo se modeló el diseño con sus diagramas de clases correspondientes y diagramas de secuencia por flujo de eventos. El resultado del diseño sirvió de entrada para elaborar los diagramas de la implementación del sistema. Se implementó el sistema en términos de componentes siendo determinado fuertemente por el lenguaje de programación usado para la construcción del mismo, lográndose además de la aplicación, la documentación necesaria que describe el proceso ingenieril llevado a cabo a lo largo del ciclo completo de desarrollo del software.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

Al concluir la investigación realizada y después de haber valorado cada uno de los resultados obtenidos, se puede arribar a las siguientes conclusiones:

- Con la realización de esta investigación, se logró desarrollar una percepción auditiva al SPG que brinda a los desarrolladores la posibilidad de escoger el nivel de percepción auditiva que deseen insertar a sus agentes. Cada uno de estos niveles proporciona a los agentes autónomos la información de los eventos sonoros presentes en la escena virtual que están dentro de su rango audible.
- Los agentes a los cuales se les ha aplicado esta percepción han demostrado el correcto funcionamiento de ella, manifestándose esto en el epígrafe referente a los resultados.
- La percepción auditiva insertada en el SPG brinda un ahorro considerable de tiempo para quienes pretenden incorporar este tipo de percepción en agentes autónomos.
- Un agente autónomo que es dotado con percepción auditiva puede tomar decisiones basándose en la percepción de los eventos sonoros del entorno.
- En estos momentos al Sistema de Percepción Genérico para agentes autónomos que se desarrolla en el Centro de Desarrollo de Informática Industrial ya cuenta con percepción auditiva gracias a este trabajo, permitiendo a los agentes inteligentes la posibilidad de percibir los eventos sonoros de su entorno.

### RECOMENDACIONES

- Tener en cuenta la dirección del sonido de manera que esto influya en la percepción del mismo.
- Incorporar la difracción como fenómeno del sonido determinante en la percepción del mismo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. *High-Level Perception, Representation, and Analogy: A Critique of Artificial Intelligence Methodology*. **David J. Chalmers, Robert M. French, Douglas R. Hofstadter**. Bloomington, Indiana : s.n., 1991.
2. **Caglayan, Ana**. *Agent Sourcebook*. 1997.
3. **Hernández López, Luis Daniel and Peña Escobar, Jorge Luis**. *Sistema de Percepción para Agentes Virtuales*. La Habana: UCI : s.n., 2008.
4. [Online] <http://grvc.us.es/utiles/vistapro.php?tab=tnacional&idr=46>.
5. [Online] <http://grvc.us.es/rar/mainFrame/percepcion/percepcion.html>.
6. **Herrero Martín, María del Pilar**. *Modelo de Percepción para Agentes Virtuales Inteligentes*. Madrid : s.n., 2003.
7. **Zemansky, Sears and Freedman, Young**. *Física Universitaria*. La Habana : Félix Varela, 2008.
8. **Booch, Grady, Jacobson, Ivar y Rumbaugh, James**. *El Proceso Unificado de Desarrollo de Software*. s.l. : Addison Wesley, 2000. 0-201-57169-2.
9. **Rumbaugh, J. and Jacobson, I**. *El Lenguaje Unificado de Modelado. Manual de Referencia*. Addison Wesley. 2000.
10. **Rossi, G. and Moreira, A**. *UML: el lenguaje estándar para el modelado del software*.
11. **Puig Placeres, Frank**. *Advanced Perception System for Games*.
12. Metodología de Desarrollo de Software. [Online] <http://www.scribd.com/doc/12983329/Metodologia-de-Desarrollo-de-Software>.
13. **Pajuelo Morán, Carlos y Alvarez García, Alvaro**. *Inteligencia Artificial? Contra Quién? s.l. : Ingenierías Industriales*. 2007.

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

**Beacon:** Es el sinónimo de Disparador o *Trigger* en la arquitectura del Sistema de Percepción. Puede ser cualquier estímulo, en un juego, que requiera de un agente para responder. En un entorno determinado, los *beacons*, podrían ser cualquier cosa audible o visible, que afecta el comportamiento de los agentes, tales como: disparos de armas de fuego, explosiones, enemigos cercanos, ruidos de las puertas al cerrarse o los cadáveres, etc.

**Entorno virtual:** Es el encargado de interactuar con el agente, comunicar independencia, colaborar y elegir, dándose la oportunidad de convertirse en un nuevo modelo comunicativo, un poco más interactivo, participativo, divertido y colaborativo (13). Está formado por la representación de todos los elementos de la escena con los que interactúan los agentes inteligentes, estos elementos pueden ser de diferentes tipos como obstáculos, paredes, otros agentes, etc.

**Inteligencia artificial:** Se denomina a la ciencia que intenta la creación de programas para máquinas que imiten el comportamiento y la comprensión humana.

**Modelo cognitivo:** Representación del mundo virtual, que ofrece información a los agentes del entorno para que puedan interactuar con el mismo de manera eficiente, haciendo uso de diferentes estructuras de datos: Lista, ABT, BSP y las rejillas, como modelos más especializados.

**Percepción:** Cualquier transformación de la información en el estado del sistema en una forma conveniente para el uso de un agente.

**Realidad virtual:** Es la ciencia basada en el empleo de ordenadores y otros dispositivos, cuyo fin es producir una apariencia del mundo real que permita al usuario tener la sensación de estar presente en ella.

## GLOSARIO DE ABREVIATURAS DE UNIDADES DE MEDIDA

**atm:** atmosfera

**dB:** decibel

**Hz:** Hertz

**m:** metro

**N:** newton

**Pa:** Pascal

**W:** watt