



INGENIERÍA EN INFORMÁTICA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática

Curso académico 2011/2012

Proyecto Fin de Carrera

Uso de robots en terapias de Alzheimer

Autor: Gonzalo José Abella Dago

Tutor: Francisco Martín Rico

A mi familia, a Emma y a mi padrino.

Agradecimientos

Quiero agradecer a todos los participantes de este proyecto, que no son pocos, la ayuda prestada y el buen ambiente que hemos tenido: a los investigadores y terapeutas de la Fundación CIEN, a los miembros y profesores del grupo de Robótica de la universidad y a todo aquel que ha colaborado con la investigación.

En especial quiero dar las gracias a Emma y a mi familia por haberme apoyado y estar siempre ahí. A mi padrino Iñigo por animarme a seguir con la carrera en los momentos más críticos. Y por último, a mi tutor Francisco Martín por el trabajo y esfuerzo que me ha dedicado durante todo el proyecto.

A todos, ¡¡muchas gracias!!

Resumen

La robótica social es un campo de la robótica muy atractivo e interesante a cuya investigación la comunidad robótica dedica cada vez más tiempo, esfuerzo y dinero. La interacción hombre-máquina adquiere un valor esencial en este tipo de robots para que la comunicación entre ambos sea intuitiva. En particular, la robótica asistencial se centra en cómo pueden ayudar los robots a mejorar la calidad de vida de personas discapacitadas o enfermas. Una enfermedad que cada día afecta a más gente y se invierten más recursos en investigar sobre ella, es la enfermedad de Alzheimer.

El objetivo de este proyecto es emplear robots en terapias para enfermos de Alzheimer que sean eficaces y fáciles de usar para el terapeuta. Para ellos hemos creado una aplicación gráfica que facilita este cometido. Esta herramienta, además de una interfaz gráfica, permite teleoperar al robot por medio un control remoto externo: el Wiimote.

El desarrollo de esta investigación engloba, además de la codificación de la aplicación, todos los aspectos relacionados con el uso y evaluación de un robot en terapias de Alzheimer, y todas las herramientas utilizadas.

Esta investigación ha sido realizada en el grupo Grupo de Robótica de la Universidad Rey Juan Carlos y se ha hecho en conjunto con un centro de investigación especializado en enfermedades neurológicas, la Fundación CIEN.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Robótica	2
1.2. Robótica móvil	7
1.3. Robótica social	11
1.4. Estructura de este documento	13
2. Objetivos y Metodología	15
2.1. Descripción del problema	15
2.2. Objetivo del proyecto	16
2.3. Requisitos	17
2.4. Metodología y planificación	18
2.4.1. Plan de trabajo	19
3. Entorno y plataforma de desarrollo	22
3.1. Robot Nao	23
3.2. NaoQi	25
3.3. BICA	26
3.4. Componentes BICA	29
3.4.1. Componente Music	30
3.4.2. Componente Body	31
3.4.3. Componente Head	32
3.4.4. Componente Movie	32
3.5. JManager	34
3.6. Wiimote	36

4. Descripción informática	39
4.1. Evaluación del estado de las herramientas disponibles	40
4.1.1. Evaluación del componente Music	41
4.1.2. Evaluación del componente Body	41
4.1.3. Evaluación del componente Head	43
4.1.4. Evaluación del componente Movie	44
4.2. Aplicación CIEN	45
4.2.1. Módulo de conexión con el robot	47
4.2.2. Módulo de conexión con el Wiimote	47
4.2.3. Módulo de control de movimientos del cuerpo	48
4.2.4. Módulo de control de movimientos de la cabeza	50
4.2.5. Módulo de control de terapias	50
4.2.6. Módulo de control de sonidos	52
4.3. Control remoto	53
4.4. Implementación de sesiones	54
5. Experimentos	58
5.1. Resultados tecnológicos	58
5.1.1. Sesiones estructuradas por guiones	61
5.1.2. Sesiones no estructuradas	64
5.1.3. Otras actividades terapéuticas	65
5.2. Resultados médicos	66
6. Conclusiones y trabajos futuros	69
6.1. Conclusiones	69
6.2. Trabajos futuros	71
6.2.1. Mejoras relativas a las herramientas	72
6.2.2. Mejoras relativas a los componentes de BICA	72
6.2.3. Herramientas propuestas	73
Bibliografía	74
A. Apéndice A	76
B. Apéndice B	83

Índice de figuras

1.1.	Imagen de un partido de fútbol de la Robocup German Open 2012.	2
1.2.	El telar de Jacquard está expuesto en el Museo de la ciencia y la industria en Manchester, Inglaterra.	4
1.3.	Dos de los primeros robots programables en la década de los 70.	5
1.4.	Robot Nao equipado con un laser en la cabeza.	6
1.5.	El robot soldador es un ejemplo de un robot fijo mientras que la sonda Curiosity es un robot móvil.	7
1.6.	Distintos ejemplos de robots terrestres.	8
1.7.	Distintos ejemplos de robots aéreos.	9
1.8.	Distintos ejemplos de robots acuáticos.	9
1.9.	Teoría del valle inquietante expuesta por el japonés Masahiro Mori. . .	12
1.10.	Expresiones faciales del robot Kismet.	13
1.11.	Sesión terapéutica con ancianos y el robot Paro.	14
2.1.	Modelo de desarrollo de prototipos.	18
3.1.	Esquema de la aplicación.	22
3.2.	El robot Nao.	24
3.3.	Arquitectura de NaoQi modulada por medio de <i>Brokers</i>	25
3.4.	Arquitectura de BICA dividido en capas.	26
3.5.	Esquema de las entradas y salidas de un componente de BICA.	27
3.6.	Jerarquía de componentes de BICA.	27
3.7.	Máquina de estados del componente Music	30
3.8.	Máquina de estados del componente Body	31
3.9.	Máquina de estados del componente Movie	33

3.10. Distintas capturas de JManager.	34
3.11. Conexión entre JManager y BICA.	35
3.12. Pantallazo de VICODE.	36
3.13. Mando de control remoto de la Nintendo Wii, el Wiimote.	37
4.1. Captura de pantalla de la pestaña de administración de los <i>componentes</i> en la herramienta JManager.	39
4.2. Esquema de modulación de un <i>componente</i> desde el GUI correspondiente.	40
4.3. Captura de pantalla de la interfaz gráfica del componente Music	41
4.4. Captura de pantalla de la interfaz gráfica del componente Body	42
4.5. Sistema de coordenadas dextrógiro.	43
4.6. Captura de pantalla de la interfaz gráfica del componente Head	44
4.7. Captura de pantalla de la interfaz gráfica del componente Movie	45
4.8. Captura de pantalla de la Aplicación CIEN.	46
4.9. Captura de pantalla del módulo de conexión con el robot.	47
4.10. Captura de pantalla del módulos de conexión del Wiimote.	48
4.11. Capturas de pantalla de los módulos de control de movimientos del cuerpo.	49
4.12. Captura de pantalla del módulo de control de la cabeza.	50
4.13. Captura de pantalla del módulo de control de las terapias.	51
4.14. Captura de pantalla del módulo de control de sonidos.	52
5.1. Disposición de los pacientes en una sesión de roboterapia.	59
5.2. Diagrama temporal del diseño de una sesión de terapia.	62
5.3. El robot mirando a un paciente.	63
5.4. Distintos ejercicios que se realizan en una sesión de fisioterapia. . . .	63
5.5. Terapeuta teleoperando el robot en una sesión.	64
5.6. El robot disfrazado de Papá Noel.	66
5.7. Muestra del estado de los pacientes participantes en la investigación medido en la escala de deterioro global (GDS).	67
5.8. Resultados gráficos de la investigación médica.	68

Índice de cuadros

2.1. Calendario de las sesiones que se realizarán para la investigación. 20

1

Introducción

La Robótica es uno de los retos tecnológicos más desafiantes a los que nos enfrentamos. Uno de los objetivos del grupo de Robótica de la Universidad Rey Juan Carlos es crear máquinas que nos hagan la vida más fácil e interactúen con nosotros con cierto grado de autonomía.

Una de las líneas de investigación del grupo se realiza mediante la participación en la liga de fútbol de la *RoboCup*¹, una competición que plantea el fútbol como un banco de pruebas de tecnología robótica en la que los robots se enfrentan jugando partidos de fútbol de manera autónoma. La *RoboCup* es un proyecto internacional nacido en 1997 y creado para promover, a través de distintas competiciones, la investigación y educación en Inteligencia Artificial y la Robótica. En concreto, el grupo participa en la *Standard Platform League*. Esta competición se caracteriza por que todos los equipos compiten con el mismo robot, focalizando los esfuerzos en la creación de software. Actualmente se utiliza el humanoide Nao, fabricado por la empresa francesa *Aldebaran Robotics*². La figura 1.1 es una imagen tomada en la Robocup German Open 2012, última competición en la que participó el equipo del grupo de Robótica de la Universidad.

Hace tres años surgió la oportunidad, a través de la Fundación CIEN, de poder aplicar todo el software desarrollado para la competición en un entorno completamente distinto y con unas metas también muy diferentes. Se brindó al grupo la posibilidad de aplicar toda esta tecnología robótica a un objetivo social empleando los conocimientos adquiridos en la competición. Se propuso utilizar al robot como herramienta en una investigación en terapias de la enfermedad de Alzheimer.

¹<http://www.robocup.org>

²<http://www.aldebaran-robotics.com>



Figura 1.1: Imagen de un partido de fútbol de la Robocup German Open 2012.

Este proyecto fin de carrera forma parte de esta investigación, compuesto a su vez por otros proyectos fin de carrera y el trabajo realizado por los miembros del grupo de robótica.

En este capítulo se presenta la robótica en términos generales. Se definirá el término *Robot* y hablaremos de elementos comunes a éstos, independientemente del tipo que sean. Luego se explicará qué es la robótica móvil y, por último, nos centraremos en el área de la robótica en la que se ubica nuestro proyecto: la robótica social. Para terminar se expondrá cómo está estructurado este documento.

1.1. Robótica

La robótica es la rama de la ciencia que estudia los robots. El término *Robot* es difícil de definir. Fue introducido por el escritor checo Karen Capek en su obra R.U.R. (Robots Universales de Rossum), estrenada en 1921. Esta palabra deriva de la palabra checoslovaca *Robota* que significa literalmente trabajar y figuradamente trabajo duro o penoso. No hay única definición que satisfaga a todos los organismos internacionales de estandarización. Por ejemplo, la IFR (International Federation of Robotics) utiliza la definición propuesta por la ISO (Organización Internacional para la Estandarización) incluido en el ISO 8373. En este documento se define como *manipulador programable en tres o más ejes, multipropósito, controlado automáticamente y reprogramable*. Esta

definición también es usada por otros comités como el EURON (EUropean RObotics research Network). En cambio, la RIA (Robotic Industries Association) define el término robot como *manipulador reprogramable y multifuncional diseñado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especializados a través de movimientos programados para la realización de una serie de tareas*. Esta definición es un poco más amplia que la anterior. Por último, la RAE define el término robot como *máquina o ingenio electrónico programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas solo a las personas*.

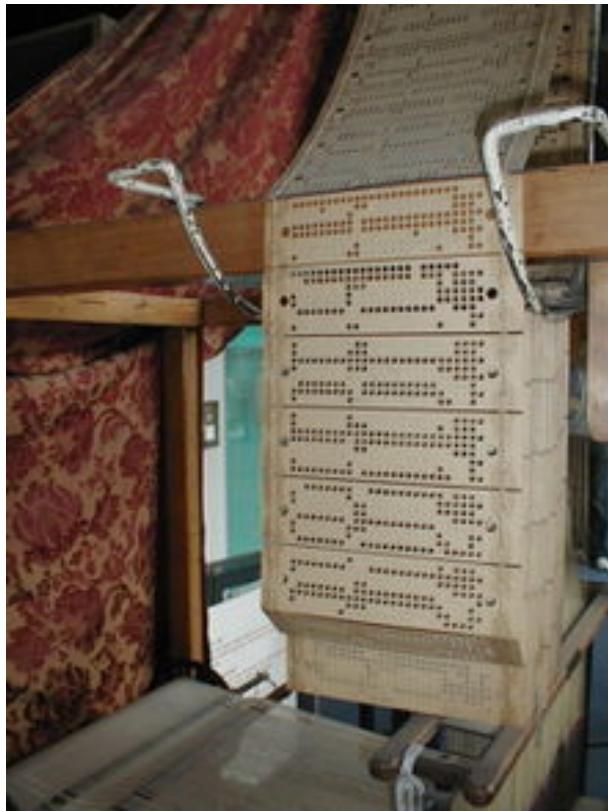
Como se puede comprobar, cada una de las definiciones de robot es distinta de las otras. En mi opinión, la definición contenida en la ISO 8373 y la dada por la RIA están muy centradas en la robótica industrial. De hecho, define al robot como un manipulador. En el lado opuesto, la definición proporcionada por la RAE es demasiado amplia y abstracta. A mi juicio, un robot es una máquina programable capaz de interactuar con su entorno, ya sea modificándolo directamente o desplazándose por él, para realizar una o varias tareas. Las tareas asignadas suelen ser aquellas que por su peligrosidad, repetición o precisión suponen una liberación para las personas.

Desde siempre, el ser humano ha intentado construir máquinas que le liberen, simplifiquen o faciliten el trabajo. Los antiguos egipcios unieron brazos mecánicos a las estatuas de sus dioses y los griegos construyeron estatuas con sistemas hidráulicos. Estas estatuas automatizadas eran utilizadas para atemorizar, fascinar e infundir respeto al pueblo. Estos inventos pueden considerarse como los primeros *"robots"* de la historia, aunque distan mucho de los robots actuales.

El inicio de la robótica, tal y como la vemos en estos momentos, puede fijarse en el siglo XVIII. En 1801 el francés Joseph Jacquard inventó un telar mecánico programable mediante tarjetas perforadas (Figura 1.2). Esta máquina permitía elaborar diseños de telares complejos a usuarios inexpertos. Cada tarjeta perforada correspondía a una línea del diseño y la unión de varias tarjetas formaban un patrón con el que se tejería el telar. En esta época también se construyeron algunos artílujos curiosos, como una muñeca mecánica capaz de hacer dibujos de forma autónoma, inventada por Henri Maillardert, o unos músicos de tamaño humano creados por Jacques de Vaucanson. Estos *"robots"* tenían un propósito más de ocio que laboral.



(a) El telar de Jacquard.



(b) Tarjeta programable del telar.

Figura 1.2: El telar de Jacquard está expuesto en el Museo de la ciencia y la industria en Manchester, Inglaterra.

Pero no fue hasta mediados del siglo XX, gracias a los avances en inteligencia artificial, cuando se crearon los primeros robots modernos. El primer robot industrial programable se construye e instala en 1961 en la *Ford Motors Company*, se llamaba *Unimate*. Su cometido era el levantar piezas industriales que estaban a altas temperaturas. Sin embargo, es en la década de los 70 cuando comienza a desarrollarse completamente la robótica. En 1973 aparece el primer robot con 6 ejes electromecánicos (Figura 1.3a) y, a los pocos años el primer brazo mecánico programable (Figura 1.3b). Estos primeros robots modernos eran básicamente manipuladores, es decir, brazos mecánicos fijos en el suelo que realizan una tarea concreta.

Los robots definen su funcionalidad y características en función de una serie de elementos hardware. Estos elementos son los encargados de recibir estímulos, procesarlos y efectuar una respuesta. Los elementos hardware se clasifican en sensores, actuadores y procesadores:

- **Sensores.** Son dispositivos que miden propiedades del entorno tales como distancia, temperatura, intensidad lumínica o señal GPS entre otros. También

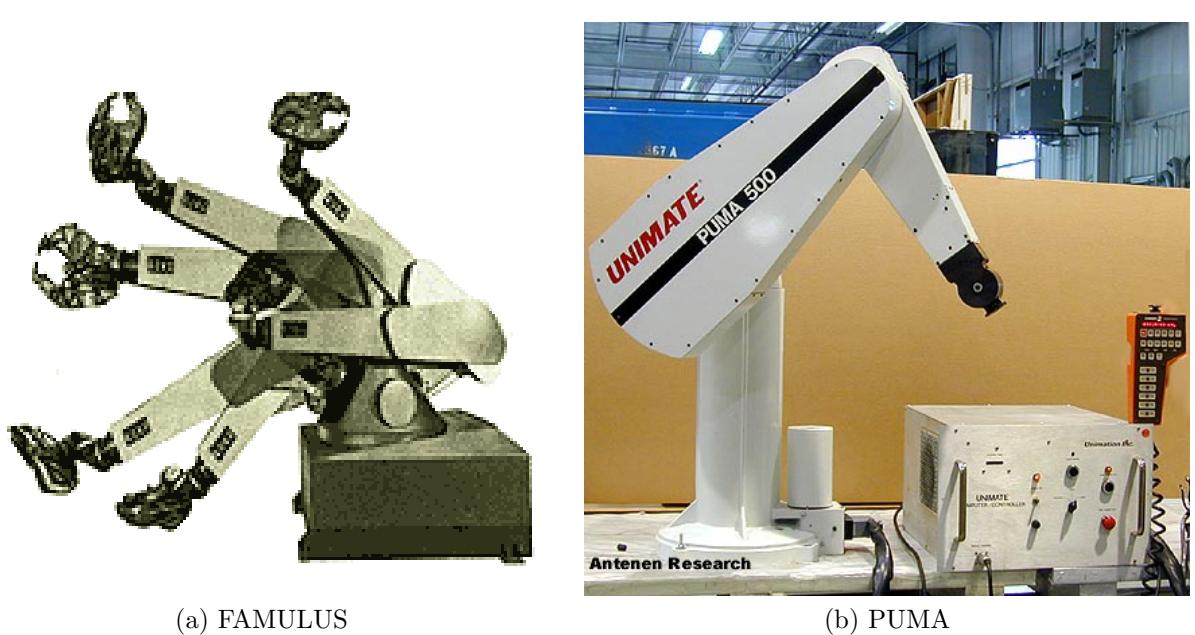


Figura 1.3: Dos de los primeros robots programables en la década de los 70.

existen los sensores propioceptivos que miden propiedades del robot, como puede ser la temperatura de los motores para prevenir que se quemen o el número de vueltas que da una rueda. Los sensores más utilizados son:

1. **Ultrasonido.** Es un dispositivo que sirve para medir distancias. La distancia se calcula midiendo el tiempo de vuelo de una onda sonora, cuya frecuencia está por encima del espectro audible por el oído humano, emitida por el dispositivo, es decir, el tiempo que tarda la onda en volver después de rebotar en un obstáculo. Una vez conocido el tiempo de vuelo y la velocidad de una onda sonora, la distancia se calcula por medio de una sencilla operación matemática. La precisión de este dispositivo es bastante pobre.
2. **Láser.** El láser también sirve para medir distancias y ésta se calcula de la misma manera que lo hace el ultrasonido, sólo que en vez de utilizar una onda sonora, utiliza una frecuencia de luz del espectro no visible. Este dispositivo es más preciso que el ultrasonido, pero también más caro. Un ultrasonido tiene un precio del orden de decenas de dólares, mientras que un láser tiene un precio de miles de dólares.
3. **Cámara.** Este sensor es uno de los más populares. Es un sensor muy rico y barato, el único problema de este dispositivo es la dificultad de interpretar las imágenes por el costo computacional que conlleva dicha tarea.

En la figura 1.4 se puede ver al robot Nao equipado con un laser en la cabeza, aunque este dispositivo es opcional. El robot también dispone de ultrasonidos en el pecho, colocados en la banda azul que rodea el botón central, y de dos cámaras colocadas una en la frente y la otra en la boca.

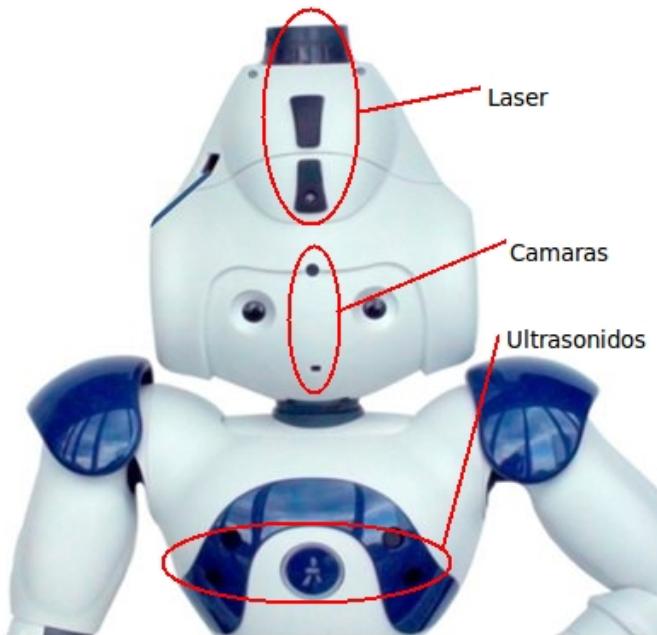


Figura 1.4: Robot Nao equipado con un laser en la cabeza.

- **Actuadores.** Son dispositivos que modifican el estado del robot o su entorno. Los manipuladores o brazos robóticos son un ejemplo de actuadores que pueden interactuar con el entorno, pero también lo son los altavoces o los LEDs. Es importante destacar en este punto la existencia de dos grandes familias de robots: los robots fijos y los robots móviles. Los robots fijos suelen encontrarse en la robótica industrial. Los robots móviles, que como su nombre indica, son aquellos capaces de desplazarse por el entorno. En la siguiente sección se hablará más sobre este último tipo de robot en función de su forma de desplazarse.
- **Procesadores.** Son elementos encargados de procesar los datos obtenidos de los sensores, analizarlos, comprenderlos y generar una respuesta que ejecutarán los actuadores. Comparando un robot con una persona y haciendo una analogía simple, se puede decir que los sensores, actuadores y procesadores son los sentidos, músculos y cerebro, respectivamente.

1.2. Robótica móvil

Como hemos comentado anteriormente existen dos grandes familias de robots: los robots fijos y los robots móviles. Los robots fijos son robots que suelen estar anclados al suelo o pueden tener un poco de movimiento por medio de raíles o algún otro método similar que proporcionan al robot una movilidad muy reducida. Los típicos robots fijos son los manipuladores que se encuentran en las cadenas de montaje. La mayoría disponen de un brazo mecánico con varios grados de libertad con el que interactúan con su entorno. Estos robots han evolucionado mucho gracias a la gran inversión que ha realizado la industria en las últimas décadas. En concreto, la industria automovilística con la soldadura de carrocerías ha sido la gran impulsora de la robótica industrial.

La otra gran familia de robots, los robots móviles, también se les conoce como robots de servicio. Este término, robots de servicio, apareció a finales de los años 80 por la necesidad de construir sistemas y robots que fuesen capaces de trabajar en diferentes entornos, con condiciones ambientales muy diversas y fuesen autónomos o prácticamente autónomos. La característica principal de este tipo de robots es que pueden desplazarse por el entorno que les rodea para realizar una tarea. Un ejemplo de este tipo de robots es la sonda espacial enviada a Marte por la NASA, Curiosity (Figura 1.5b). La misión de este robot es la de determinar si existió vida en el planeta y determinar la geología y el clima para estudiar su habitabilidad.



(a) Robot soldador



(b) Sonda Curiosity

Figura 1.5: El robot soldador es un ejemplo de un robot fijo mientras que la sonda Curiosity es un robot móvil.

Los robots móviles pueden clasificarse según el medio por el que se desplazan porque estos influye de manera determinante en los sensores, los actuadores, la localización o la navegación. Estos son:

- **Terrestres.** Son los robots más comunes y se desplazan por el suelo. Los medios de locomoción típicos son las ruedas y las patas. Las ruedas son los actuadores más baratos, sencillos de utilizar y estables. Se pueden conseguir velocidades altas y la odometría es bastante precisa. Funcionan muy bien en terrenos llanos o poco abruptos, pero son incapaces de salvar grandes desniveles. La sonda Curiosity (Figura 1.5b) es un ejemplo de un robot con ruedas.

Los robots con patas, en cambio, presenta una serie de dificultades añadidas que complican su funcionamiento. Primero, es necesario conseguir un buen equilibrio para que el robot sea estable y segundo, coordinar los movimientos de las patas para que éste se desplace son tareas bastante complejas. Las velocidades que se alcanzan son bajas y la odometría es muy imprecisa. A cambio de estos inconvenientes, se gana la capacidad de moverse por mayor diversidad de terrenos, y de construir robots parecidos a animales o a humanos. El robot Aibo (Figura 1.6a) utiliza cuatro patas para desplazarse.

Existen otras formas de desplazamiento por el medio terrestre como los robots modulares (Figura 1.6c), que imitan el movimiento de las serpientes o de los gusanos para desplazarse.

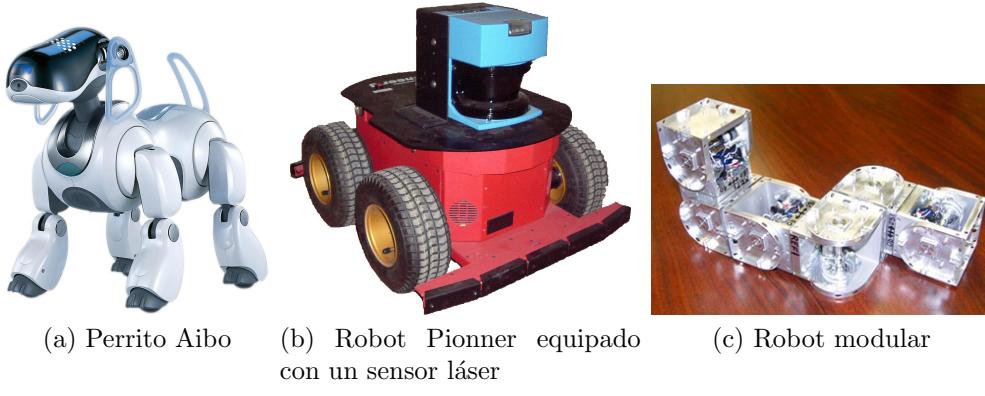


Figura 1.6: Distintos ejemplos de robots terrestres.

- **Voladores.** Los robots voladores son aquellos que se desplazan por el aire. También son conocidos por las siglas UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). Son utilizados mayoritariamente en aplicaciones militares. El método de impulsión más popular, al igual que en los robots acuáticos, son las hélices. Actualmente, se están popularizando mucho los cuadricópteros. Estos robots están equipados con cuatro hélices que le aportan mucha estabilidad y control. En la figura 1.7b se puede ver un robot de este tipo, el Parrot AR-Drone. Exceptuando el robot que acabamos de comentar, los UAV son utilizados mayoritariamente en aplicaciones

militares. En la figura 1.7a tenemos un MQ-9 Reaper. Se trata de una aeronave no tripulada con capacidad de ataque con misiles.



(a) MQ-9 Reaper



(b) Parrot AR-Drone

Figura 1.7: Distintos ejemplos de robots aéreos.

- **Acuáticos.** Estos robots se desplazan por encima o por debajo del agua. El método de impulsión típico son las hélices. Los submarinos robóticos se utilizan, por ejemplo, en tareas de reparación o mantenimiento de cables interoceánicos u oleoductos y exploración del fondo marino. Los barcos robóticos se utilizan, sobretodo, en tareas militares de reconocimiento y vigilancia.



(a) Barco robótico



(b) Submarino robótico

Figura 1.8: Distintos ejemplos de robots acuáticos.

- **Espaciales.** Este tipo de robots se utilizan en el espacio. La mayor parte de ellos se utilizan en tareas de reconocimiento y de investigación. La sonda Curiosity (Figura 1.5b) es un robot híbrido, ya que, aparte de ser un robot espacial (su misión es reconocer y estudiar la superficie de Marte para determinar su habitabilidad), es un robot terrestre. El principal problema que presentan las sondas espaciales, sean del tipo que sean, es el retardo en la comunicación entre ésta y la Tierra debido a la distancia. Es por esto que una característica muy importante en este tipo de robots es la autonomía.

Todos los robots móviles, independientemente del medio de locomoción que incorporen, comparten una serie de problemas comunes derivados del hecho de desplazarse y compartir su entorno con humanos. Entre estos problemas, destacamos:

- **Localización.** Consiste en averiguar dónde nos encontramos dentro de entorno conocido. En exteriores ese problema está resuelto gracias a la señal GPS. El dispositivo GPS calcula la posición donde se encuentra gracias a una red de satélites que orbitan alrededor de la Tierra y que emiten cada uno una señal. Esta señal es recibida por el dispositivo y por "triangulación" calcula la posición donde se encuentra, aún así la precisión es pobre, por lo que se utiliza junto a otros métodos de localización para que sea más exacta. En interiores el problema de la localización se complica. Como la señal GPS no suele recibirse correctamente dentro de edificios este método no es adecuado. En este tipo de entornos suelen utilizarse algoritmos probabilísticos que calculan su posición a partir de su información sensorial. Esta posición puede calcularse en un mapa construido *a priori*, o que se construye en el proceso de localización como SLAM (Simultaneous Localization And Mapping). La información utilizada por estos algoritmos suele ser la proporcionada por los láser, los ultrasonidos, las cámaras o la odometría. Este entorno suele ser bastante cambiante, lo que provoca que el robot perciba objetos o personas que temporalmente se encuentren en medio y hagan que el robot no pueda calcular con precisión su posición.
- **Navegación.** Esta consiste en atravesar un entorno evitando los obstáculos para llegar a un destino. La navegación se divide en dos: navegación global y navegación local. La navegación global consiste en alcanzar una meta utilizando un mapa. Este puede conocerse *a priori* o construirse automáticamente. Los algoritmos de navegación global localizan al robot en este mapa y los destinos que debe alcanzar el robot suelen ser lejanos. Una de las técnicas más utilizada es la planificación de caminos. La navegación local se encarga de dirigir al robot sin utilizar un mapa. Esta navegación esta basada en sensores y los destinos suelen ser cercanos. Los algoritmos de navegación local deben de ser reactivos para poder reaccionar ante imprevistos. Los algoritmos más populares son CVM (método de Velocidad y Curvatura), LVM (método de Carriles y Velocidad), VFF (campos de potencial) y superposición de campos.
- **Interacción hombre-máquina.** Este problema es mucho más abierto y abstracto que los otros dos, de hecho, abarca multitud de campos como la psicología, la inteligencia artificial, la robótica, la medicina o las humanidades,

entre otros. El objetivo de la interacción hombre-máquina consiste en realizar el intercambio de información entre el robot y el hombre de la forma más eficiente posible minimizando los errores y aumentando la productividad. Las interfaces para comunicarse con un robot deben ser lo más completas posibles, sin perder de vista la simplicidad y la intuitividad. El problema de la interacción hombre-máquina es crítico, ya que puede hacer fracasar un proyecto con unos resultados muy buenos por requerir un proceso de aprendizaje del sistema demasiado complejo. La robótica social, de la cual hablaremos en la siguiente sección, es un ejemplo donde la capacidad de interactuar con el robot de una manera simple e intuitiva es vital.

- **Coordinación.** La coordinación entre varios robots es un problema que aún no se ha resuelto eficientemente. El objetivo es que un grupo de robots realicen una tarea interactuando unos con otros. Actualmente se está investigando en controles de robots colaborativos basados en reglas.

1.3. Robótica social

Un robot social es un robot que interactúa con personas y se comunica con ellas siguiendo comportamientos, patrones y normas sociales. Una de las características físicas más importantes en este tipo de robots es la apariencia. Ésta debe ser aceptada por un humano, por lo que se recurre a robots con aspecto humanoide o animal conocido. También es muy importante que presenten rasgos agradables y atractivos, para no producir un rechazo en los usuarios.

Un fenómeno interesante y de gran impacto en la relación hombre-máquina es el fenómeno de la teoría del valle inquietante (Figura 1.9). Fue expuesta por el japonés Masahiro Mori en 1970, [?]. Esta teoría refleja la respuesta emocional de una persona hacia un robot con apariencia humana. Cuanto mayor es el parecido con un ser humano, la respuesta emocional y empática crece hasta alcanzar un punto en el que se produce el efecto contrario, provocando rechazo. Una vez que el robot es indistinguible de un ser humano la respuesta emocional vuelve a crecer de forma positiva. Una posible explicación a este fenómeno es que en un robot que no parezca una persona, las características humanas se ven más resaltadas, mientras que uno con apariencia casi

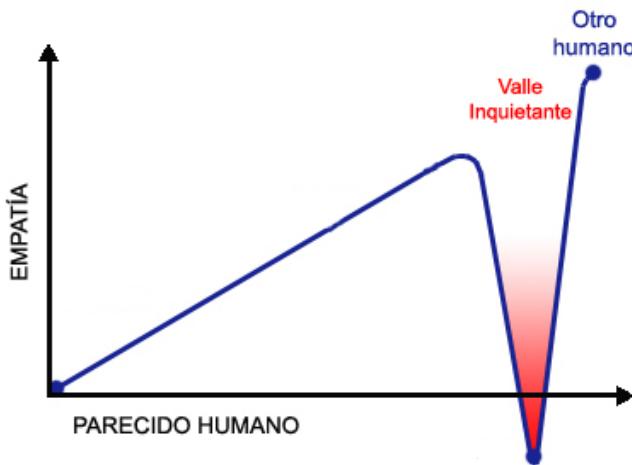


Figura 1.9: Teoría del valle inquietante expuesta por el japonés Masahiro Mori.

igual a una persona se resaltan las contrarias, las características no humanas. Es decir, se ve al robot como una especie de "zombie" que produce rechazo. Es la misma reacción que se produce al observar un cadáver. Por esto es muy importante la apariencia de los robots sociales. Ésta debe ser agradable y amistosa, que no se vea como una amenaza para el usuario. La apariencia del robot puede marcar la diferencia entre el éxito o el fracaso de una investigación o una aplicación robótica, ya que si de primeras el robot no es aceptado, probablemente el proyecto fracase.

El primer robot cuyo principal objetivo era interactuar con humanos es Kismet, [Breazeal and Scassellati, 1999] y [Breazeal, 2000]. Kismet es un robot capaz de realizar la interacción social básica que tienen las personas leyendo las emociones a través de la voz. En cualquier idioma, un comentario positivo tiene un tono distinto al de un comentario negativo. Kismet puede comprender el tono de voz e interpretarlo. Este robot también sabe expresar sus emociones por medio de gestos de la cara. Por ejemplo, cuando está cansado inclina los ojos hacia abajo, en cambio si está contento se sienta erguido y sonríe. Se produce una interacción entre el robot y el humano natural obteniendo una comunicación más empática. En la figura 1.10 pueden verse distintas expresiones del robot.

Otro robot social es Paro. Se trata de una foca robótica utilizada para propósitos terapéuticos con pacientes discapacitados, ancianos o niños autistas en centros hospitalarios o residencias de mayores, [Shibata *et al.*, 2003] y [Shibata *et al.*, 2009].



Figura 1.10: Expresiones faciales del robot Kismet.

Este robot dispone de varios sensores que le permiten interactuar con la persona que lo utiliza. Dispone de un sensor de luz con el que reconoce la oscuridad o la luz. Gracias a los sensores táctiles es capaz de reconocer si es acariciado o tocado y responder a esos estímulos. También reconoce la dirección de la voz y algunas palabras como su nombre, saludos o mimos. Este robot se ha utilizado en terapias reales con pacientes de autismo con resultados positivos. En la figura 1.11 se puede ver al robot Paro en una sesión terapéutica.

En la misma línea de robótica social que siguen estos robots se plantea el presente proyecto: la utilización del robot Nao como herramienta terapéutica en sesiones de terapia ocupacional para pacientes con la enfermedad de Alzheimer. En este contexto surge el término roboterapia, que consiste en la utilización de robots en terapias ocupacionales con pacientes.



Figura 1.11: Sesión terapéutica con ancianos y el robot Paro.

1.4. Estructura de este documento

En esta memoria se detallan todos los aspectos relevantes del desarrollo de esta investigación. La memoria está dividida en seis capítulos. En este primer capítulo se ha presentado el entorno en el que se realiza el estudio, se ha introducido la robótica en general y se ha definido qué es la robótica social. En el segundo capítulo se expone el problema al que nos enfrentamos y se comentan los objetivos y requisitos planteados para el proyecto. En el tercer capítulo se detalla la infraestructura software sobre la que se ha construido este proyecto y el hardware utilizado. La implementación y los detalles técnicos relativos al proyecto se encuentran en el cuarto capítulo. Con el fin de mostrar los efectos y la viabilidad de esta investigación en el quinto capítulo se ofrecen una serie de experimentos. Por último, en el sexto capítulo se presentan las conclusiones extraídas y se proponen nuevas líneas de investigación futuras.

Objetivos y Metodología

Una vez presentado el contexto en el que se sitúa la investigación, en este capítulo se fijan los objetivos y requisitos del proyecto. Para ello primero se describirá el problema al que nos enfrentamos, que es la introducción de un robot en terapias ocupacionales para enfermos de Alzheimer, y luego se fijarán los objetivos y requisitos en base al problema. Por último, explicaremos la metodología seguida, el plan de trabajo que se ha llevado a cabo y el calendario de sesiones que se ha seguido.

2.1. Descripción del problema

La enfermedad de Alzheimer es un tipo de demencia senil que, como todas ellas, afecta a las funciones del cerebro. Se caracteriza por una pérdida progresiva de la memoria, de la capacidad de razonar y de la conducta. La enfermedad de Alzheimer es la forma más común de demencia y afecta, sobretodo, a las personas mayores de 65 años. Aproximadamente un 12% de la población mayor de 65 años tiene esta enfermedad. El número de enfermos de Alzheimer ha crecido mucho en los últimos años debido, principalmente, por el aumento de la esperanza de vida, que actualmente en España está en 81,5 años.

Las causas de esta enfermedad siguen siendo desconocidas, pero lo que sí se conocen son los factores de riesgo. Como acabamos de comentar la edad es un factor importante junto a la genética y los antecedentes familiares. Las personas con síndrome de Down también tienen un riesgo muy alto de padecer esta enfermedad. La enfermedad de Alzheimer parece ser más común en mujeres que en hombres, de hecho, casi dos tercios de las personas que sufren esta enfermedad son mujeres.

Desgraciadamente en la actualidad, no existe cura para esta enfermedad. En su lugar los tratamientos se enfocan en aliviar y retrasar la progresión de los síntomas, como la pérdida de memoria. Además del tratamiento farmacológico correspondiente, se ha comprobado que la participación en terapias ocupacionales por parte de los pacientes es algo muy beneficioso. Estas terapias están orientadas al desarrollo de diferentes actividades en las que se les incita a realizar ciertas actividades cognitivas y físicas.

Hace tres años le surgió la oportunidad al grupo de robótica de la Universidad Rey Juan Carlos de participar en estas terapias incluyendo al robot como herramienta terapéutica. A estas terapias se les ha dado el nombre de Roboterapia. El objetivo de este proyecto, como veremos a continuación, gira en torno a este tema.

Al introducir un robot en terapias ocupacionales de enfermos de Alzheimer surgen una serie de problemas que intentaremos resolver en el desarrollo del proyecto. La interacción con un robot no siempre es fácil ni intuitiva, por lo que el conjunto de herramientas debe ser fácil de usar. Las sesiones se realizan en base a unos guiones que se elaboran previamente, así que las herramientas deben elaborarse en torno a la ejecución de éstos porque son el pilar fundamental de una sesión. A continuación, se presentan los objetivos que se han propuesto para este proyecto.

2.2. Objetivo del proyecto

El objetivo principal del proyecto es el de desarrollar un conjunto de herramientas que ayude a los terapeutas a usar un robot durante la realización de terapias ocupacionales con enfermos de Alzheimer, es decir, realizar sesiones de roboterapia. Las herramientas deben ser lo suficientemente simples e intuitivas como para permitir a los terapeutas usar el robot sin dejar de prestar atención a los enfermos. Además de estas herramientas, el sistema puede emplear cualquier método de control externo que facilite dicha tarea.

Este objetivo principal se ha dividido en varios subobjetivos para simplificar el desarrollo del proyecto y asegurarnos que se llevan a cabo correctamente:

1. **Terapias.** La herramientas serán capaces de reproducir varias terapias desarrolladas por los investigadores encargados de la investigación en la Fundación CIEN. Las acciones interesantes para el reproductor de terapias son cargar terapias, ejecutar la acción siguiente y reproducir la acción que se quiera.

2. **Herramientas de teleoperación.** Se debe poder teleoperar al robot para, en caso necesario, controlarlo y que ejecute las acciones que el terapeuta crea convenientes. Las acciones que nos interesan son desplazar al robot, controlar la cabeza, reproducir sonidos y efectuar movimientos.
3. **Herramientas de control auxiliares.** Se incorporará un método de control externo para facilitar el manejo del robot a los terapeutas encargados de hacer la terapia y permitir que sean autónomos. El dispositivo debe ser inalámbrico y fácil de usar.
4. **Integración.** Todo ello debe ir integrado en una sola aplicación con un interfaz gráfico simple. Se tendrá en cuenta que la aplicación será usada por profesionales de la medicina, no informáticos.

Durante todo el proceso de desarrollo habrá una realimentación continua por parte de los terapeutas y los médicos de la Fundación. El software será probado todas las semanas en las sesiones de Roboterapia programadas por la Fundación CIEN.

2.3. Requisitos

El desarrollo de este proyecto, siguiendo la línea marcada por los objetivos, deberá ajustarse y cumplir los siguientes requisitos:

1. El lenguaje de programación para la interfaz gráfica será Java.
2. Las herramientas correrán sobre un sistema GNU/Linux. La elección de la distribución es libre.
3. La interfaz gráfica deberá ser simple e intuitiva. Se debe tener en cuenta que los usuarios de las herramientas probablemente no dispongan de conocimientos informáticos avanzados.
4. El robot se ejecutará bajo una versión de BICA, que es una arquitectura software de componentes iterativos basada en comportamiento, creada en el grupo de Robótica de la Universidad y que permite programar el robot Nao eficazmente. Este software se describe más adelante, en la sección 3.3.
5. Se incorporará un dispositivo externo que facilite el manejo del robot y aporte autonomía al terapeuta.

2.4. Metodología y planificación

La metodología escogida para la realización de este proyecto es el *modelo de prototipos*. Se trata de un modelo de desarrollo evolutivo. Este tipo de modelos se caracteriza por ser un modelo iterativo en el que los requisitos del cliente no son completamente conocidos al inicio del proyecto. El modelo de prototipos, como su nombre indica, se basa en la construcción de prototipos. Un prototipo se puede definir como una versión preliminar de un sistema con fines demostrativos o de evaluación. La idea principal de este modelo es desarrollar una implementación inicial (prototipo), someterla a la evaluación del usuario y refinarla por medio de diferentes versiones. Los prototipos deben ser construidos en poco tiempo y no deben consumir demasiados recursos.

Como se puede ver en la figura 2.1, se parte de una breve descripción de lo que quiere el cliente. Las actividades de especificación, desarrollo y validación se realizan conjuntamente con una retroalimentación rápida entre ellas. De cada una de las revisiones se obtiene un prototipo que es evaluado por el cliente o el usuario y comienza de nuevo el proceso.

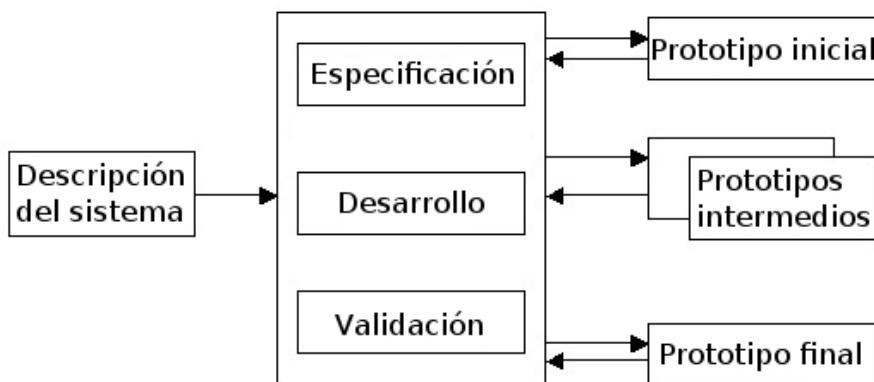


Figura 2.1: Modelo de desarrollo de prototipos.

El enfoque de prototipos suele ser más efectivo que otros más estáticos, como el modelo en cascada, porque satisface las necesidades inmediatas del cliente. Para sistemas pequeños y de tamaño medio, se ha comprobado que los enfoques evolutivos de desarrollo son los que mejores resultados devuelven. Pero no todo son ventajas, el modelo de prototipos tiene algunos inconvenientes. Al crear los prototipos de forma rápida, se suelen desatender aspectos importantes del software como la calidad, el mantenimiento a largo plazo y la documentación: Además, los continuos cambios en

los requisitos para cada prototipo contribuyen a que el sistema tenga una estructura deficiente.

Pese a los inconvenientes que acabamos de mencionar, creemos que este modelo de desarrollo es el que más se ajusta a nuestras necesidades. El proyecto que se presenta en esta memoria es un proyecto de investigación donde los requisitos suelen cambiar bastante. Este modelo nos permite ajustarnos a estos cambios y desarrollar con rapidez un nuevo prototipo. Es conveniente recordar que la realización de las terapias se efectuará al mismo tiempo que el desarrollo del proyecto. Además, se mantendrán reuniones semanales con el tutor del proyecto para comentar los resultados obtenidos y planificar el siguiente prototipo.

2.4.1. Plan de trabajo

En este apartado se explica el plan de trabajo seguido. Se ha dividido en distintas fases para simplificar el trabajo. Como resultado final de cada fase se obtiene un resultado, ya sea un prototipo o conocimiento adquirido.

Según se define en la norma escrita por el IEEE sobre procesos del ciclo de vida del software, [ISO12207, 2008]: *Un prototipo es una versión limitada del producto que permite a las partes responsables de su creación probarlo en situaciones reales y explorar su uso.* Como hemos comentado previamente en el capítulo, hemos seguido la metodología de desarrollo de prototipos. Como resultado de cada fase se obtiene un prototipo que es probado y evaluado para poder mejorarlo en la siguiente iteración. Para simplificar más algunas iteraciones complejas como la primera, hemos dividido este esfuerzo en varias iteraciones, por lo que el resultado de estas no siempre es un prototipo, también puede ser adquisición de conocimiento.

- **Fase 1.** Familiarización con el entorno y primer prototipo. Esta primera fase requiere bastante esfuerzo por lo que está dividida a su vez en varias iteraciones. Ésta consiste, *grosso modo*, en crear el primer prototipo pero para ello hay que familiarizarse con el entorno.
- **Fase 1.1.** Familiarización con el Software. En esta primera subiteración se realizará un primer acercamiento a BICA, que es el software creado en el grupo de Robótica para el robot. Los tres elementos software que estudiaremos son *Player*, *Jmanager* y el motor de comunicaciones *ICE*.

- **Fase 1.2.** Familiarización con el Hardware. En esta segunda subiteración nos centraremos en el robot, tanto en su configuración como en la comunicación con él a través de *ICE*.
- **Fase 1.3.** Asistencia a una sesión de roboterapia acompañado. Se asistirá a una primera sesión de terapia acompañado por el tutor del proyecto. El objetivo de esta subiteración es conocer el entorno en el que se desarrollan las terapias para comprender mejor el problema.
- **Fase 1.4.** Elaboración del primer prototipo. Una vez adquirido el conocimiento mínimo de los aspectos básicos del problema, se puede crear el primer prototipo. Una vez elaborado, el software se probará en una sesión real de roboterapia y se evaluarán los resultados para una posterior mejora.
- **Fase 2.** Esta fase, aunque se haya representado como una sola, está compuesta por varias. Consiste en, a partir de los resultados obtenidos en la evaluación del prototipo anterior, rediseñar el componente software para adaptarlo a los cambios sugeridos y añadir las nuevas funcionalidades. Este nuevo prototipo será probado en una nueva sesión de roboterapia y posteriormente será evaluado. Esta fase se repetirá durante todo el proyecto.
- **Fase 3.** La última fase se ha separado por ser un poco diferente de las iteraciones de la fase 2. Una vez finalizadas las terapias se creará una pequeña documentación del último prototipo para poder cerrar la investigación. Este último punto es importante para retomar la investigación en un futuro.

Mes/Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Junio			1.1				
Julio			1.1				
Agosto			2.2	1.5			
Septiembre		CD	2.2	1.5			
Octubre		CD	2.2				
Noviembre		CD					

Cuadro 2.1: Calendario de las sesiones que se realizarán para la investigación.

Las terapias se realizarán entre los meses de junio y noviembre, ambos inclusive. La frecuencia de las terapias y la unidad en la que se hará está marcada por los investigadores de la Fundación CIEN, reflejado en el calendario de la tabla 2.1. En la residencia, los pacientes de Alzheimer están agrupados en unidades según el grado de desarrollo de la enfermedad. En la unidad 1.1 se encuentran los enfermos leves, en la

1.5 los enfermos moderados y en la 2.2 los más graves. CD corresponde a "Centro de día". El Centro de día está compuesto por ancianos que no duermen en la residencia. La mayoría de ellos se encuentra en estadíos iniciales de la enfermedad de Alzheimer.

Cada día de terapia se harán dos sesiones en el mismo grupo, una de terapia ocupacional y otra de fisioterapia. Todas las sesiones serán grabadas con cámara de vídeo para su posterior evaluación. Estas grabaciones no influyen en nuestro proyecto, solamente se usarán para evaluaciones médicas de las terapias.

Entorno y plataforma de desarrollo

En este capítulo se describen los elementos hardware y software utilizados en el proyecto. En la figura 3.1 se puede ver un esquema con las conexiones entre los distintos elementos que componen el sistema.

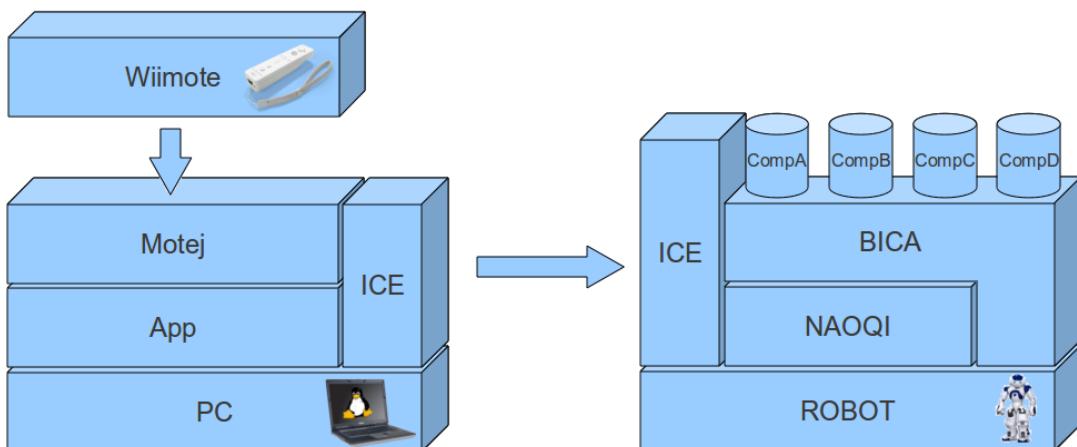


Figura 3.1: Esquema de la aplicación.

En el lado derecho de la figura tenemos los componentes software que se ejecutan en el robot. La capa inferior representa al robot con sus actuadores y sensores. Sobre ésta se encuentra *NaoQi*¹, que es un Framework que facilita el acceso a los sensores y actuadores del robot. Por encima de *NaoQi* está BICA. BICA es una arquitectura software, desarrollada por el grupo de Robótica de la Universidad, que permite definir el comportamiento del robot mediante la ejecución de componentes software. Los componentes son las piezas software que contienen la funcionalidad real del robot.

¹<http://www.aldebaran-robotics.com/en/Discover-NAO/Key-Features/NAOqi.html>

Para poder modular su ejecución desde una plataforma exterior se utilizan las interfaces proporcionadas por ICE, que es un motor de comunicaciones de Internet.

En el lado izquierdo de la figura se encuentran los componentes software que permiten manejar al robot. La aplicación que se ha desarrollado en este proyecto se ejecuta sobre un PC con un sistema GNU/Linux instalado en él. Para modular y monitorizar los distintos componentes de BICA se utilizan las interfaces ICE proporcionadas por BICA. La conexión con el Wiimote se realiza a través de la biblioteca *Motej*², biblioteca de software libre disponible en la red. La conexión entre el robot y la aplicación es WiFi, mientras que la conexión entre el Wiimote y la aplicación es bluetooth.

A continuación se exponen en profundidad estos elementos y, en particular, aquellos relevantes en este proyecto.

3.1. Robot Nao

Nao es un robot humanoide de 58 cm de altura (Figura 3.2a). Lo desarrolla la empresa francesa *Aldebaran Robotics*³. El proyecto de desarrollo del Nao nace en 2004. Al poco tiempo, en 2007, reemplaza al robot Aibo, creado por Sony, como el robot usado en la competición de la *RoboCup Standard Platform League (SPL)*. En 2011 Aldebaran anuncia que van a lanzar el código fuente del controlador del Nao como software libre. Por el momento este robot es utilizado mayoritariamente en el ámbito académico, pero fuera de éste tiene muchos usos aún por descubrir. Las principales características del robot Nao son:

- Gran cantidad de movimientos. El *Nao Robocup Edition*, que es la versión utilizada para la Robocup y la que se utiliza en este proyecto, cuenta con 21 grados de libertad.
- Detectores de presión en pies y manos, conocidos como FSR, *Force Sensitive Resistors*. Este dispositivo tiene la capacidad de disminuir su resistencia cuando aumenta la fuerza aplicada sobre él. Suele utilizarse para el control de dispositivos electrónicos con el tacto.
- Dos cámaras situadas en la cabeza con distintas zonas de visión. Una de ellas está situada en la frente del robot y apunta hacia el frente. La otra cámara esta

²<http://motej.sourceforge.net>

³<http://www.aldebaran-robotics.com/>

situada en la boca del robot y tiene cierta inclinación hacia abajo. Los ángulos de visión de las cámaras no se solapan, en la figura 3.2b se puede ver hacia donde apunta cada cámara. Ambas tienen una resolución HD, 640x480 píxeles.

- Cuatro sensores de ultrasonido colocados en el pecho del robot.
- Un sensor inercial que mide la aceleración y la velocidad angular. Este sensor es muy útil en caso de caídas para detectarlas y actuar en consecuencia.
- Interfaces de red Ethernet y WiFi que aportan conectividad al robot.
- LEDs con distintos colores repartidos por el cuerpo del robot. Tiene uno en el botón de encendido y apagado del pecho del robot, un par en los ojos y varios en las orejas y pies.
- Cuatro micrófonos colocados en la parte frontal, la parte posterior, al lado derecho y al lado izquierdo del robot.
- Dos altavoces Hi-Fi en estéreo para reproducir sonidos colocados en la cabeza del robot.

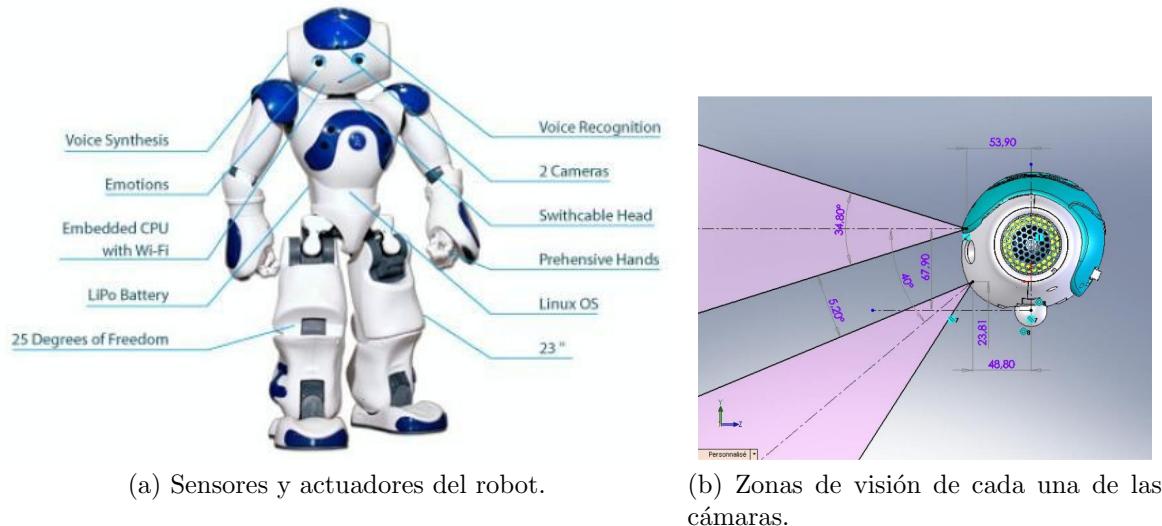


Figura 3.2: El robot Nao.

El robot dispone de un procesador x86 AMD Geode 500MHz y usa como sistema operativo Linux. Se alimenta de una batería recargable que le permite funcionar durante aproximadamente 45 minutos o durante quince minutos caminando sin parar. Este tiempo es suficiente ya que las sesiones de Roboterapia duran entre 30 y 40 minutos.

La característica más importante del robot y por la que fue elegido es por su aspecto físico. El robot tuvo que pasar una serie de pruebas de aceptación por parte de los pacientes antes de poder empezar a realizar las terapias con éste. Gracias al pequeño

tamaño y el aspecto amigable que tiene, el robot no representa una amenaza ni produce rechazo, por lo que pasó las pruebas con éxito y se pudieron comenzar las terapias.

3.2. NaoQi

NaoQi es un Framework, creado por Aldebaran Robotics, que permite desarrollar aplicaciones en C++ y Python en el Nao. Facilita el acceso a los sensores y actuadores del robot. Las aplicaciones creadas pueden ser ejecutadas directamente por el robot o remotamente en un ordenador.

Los ejecutables creados con este Framework se llaman *broker*. Los *broker* se ejecutan de forma independiente y se encuentran escuchando en una dirección IP y un puerto, por lo que pueden ser ejecutados en el propio robot, usando un compilador cruzado proporcionado por el Framework, o remotamente desde un ordenador. Un *broker* está formado por una serie de módulos que ofrecen distintas funcionalidades. Las funciones de estos módulos pueden ser llamadas desde otros módulos o incluso desde otros *broker*.

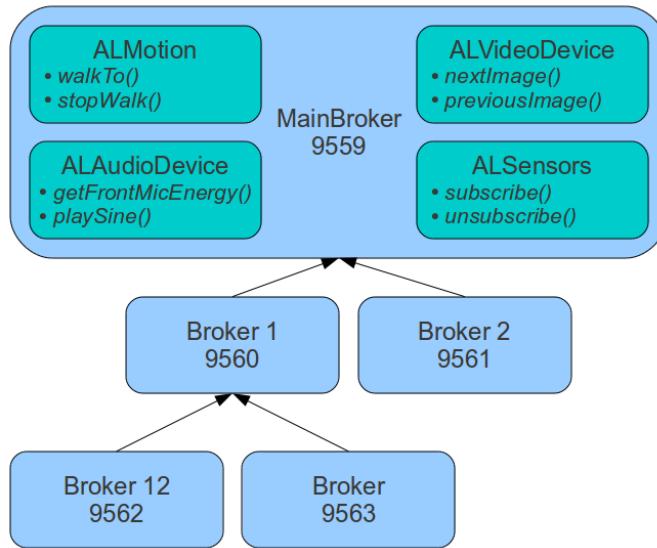


Figura 3.3: Arquitectura de NaoQi modulada por medio de *Brokers*.

En la figura 3.3 se puede ver un esquema de la arquitectura de *NaoQi* modulada por medio de los *broker*. El *broker* más importante es el *MainBroker* porque nos da acceso a los sensores y actuadores del robot. Cuando se desarrolla una aplicación para el robot con este Framework, se puede ejecutar a través de un *broker* propio o como

un módulo del *MainBroker*; BICA se ejecuta de esta última manera. *NaoQi* se utiliza para acceder a los sensores y actuadores de una manera más sencilla.

Los *brokers* se organizan internamente en módulos. Cada uno de estos módulos aporta una funcionalidad concreta o permite acceder a sensores o actuadores del robot. Por ejemplo, **ALMotion** proporciona métodos que facilitan hacer que el robot se mueva; **ALAudiodevice** contiene otros módulos de *NaoQi* que nos dan acceso a las entradas y salidas de audio; **ALVideoDevice** se encarga de proporcionar imágenes de las cámaras, y **ALSensors** es responsable de lanzar los eventos correspondientes cuando se pulsa un botón o se tocan las zonas táctiles de la cabeza o las manos.

3.3. BICA

BICA⁴, *Behavior-based Iterative Component Architecture*, es un software desarrollado en el grupo de Robótica de la Universidad Rey Juan Carlos, [Martín *et al.*, 2010]. Se trata de una plataforma de desarrollo de software para el robot Nao. En el bloque situado a la derecha de la figura 3.4 se puede ver la arquitectura de BICA dividida en capas.

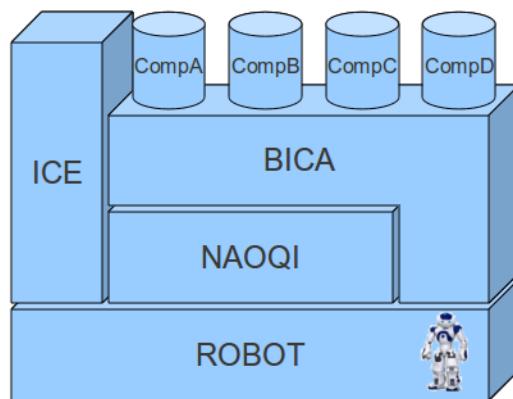


Figura 3.4: Arquitectura de BICA dividido en capas.

La unidad básica en la arquitectura de BICA es el *componente*, representado en la figura 3.5. La funcionalidad de los *componentes* puede ser implementada mediante una máquina de estados o pueden ser controladores reactivos, es decir, que ejecutan al momento la acción requerida. Los *componentes* pueden activarse o desactivarse. Un *componente* activo ejecuta una tarea determinada de manera iterativa y con una

⁴<http://www.robotica-urjc.es/index.php/Robocup>

frecuencia previamente fijada. Los *componentes* que están activos iteran y consumen recursos. Los *componentes* tienen una serie de métodos para modularlos y devuelven los resultados obtenidos.

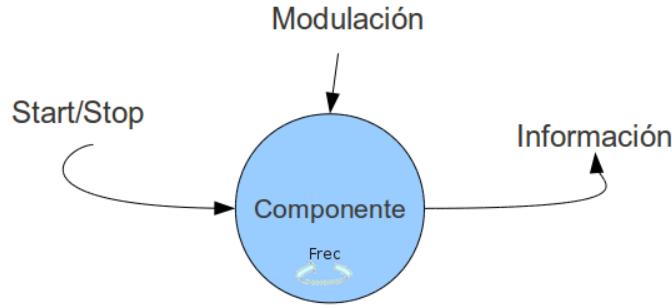


Figura 3.5: Esquema de las entradas y salidas de un componente de BICA.

Para realizar tareas más complejas los *componentes* pueden comunicarse entre sí. La arquitectura de BICA tiene una estructura jerárquica, tal y como se muestra en la figura 3.6. Cuando se activa el *Componente A*, éste activa los *componentes D* y *E*. A su vez, el componente *D* activa los *componentes G* y *H*, y el *componente E* activa los *componentes H*, *I* y *J*. Un *componente* puede ser activado por varios *componentes*. Aunque sea llamado repetidas veces, éste se ejecutará a la frecuencia mínima que tenga configurada para evitar ciclos innecesarios y se ahorren recursos. Los *componentes* de "bajo nivel", como los *componentes G, H, I* y *J*, se comunican directamente con el robot u obtienen la información mediante llamadas de *NaoQi*.

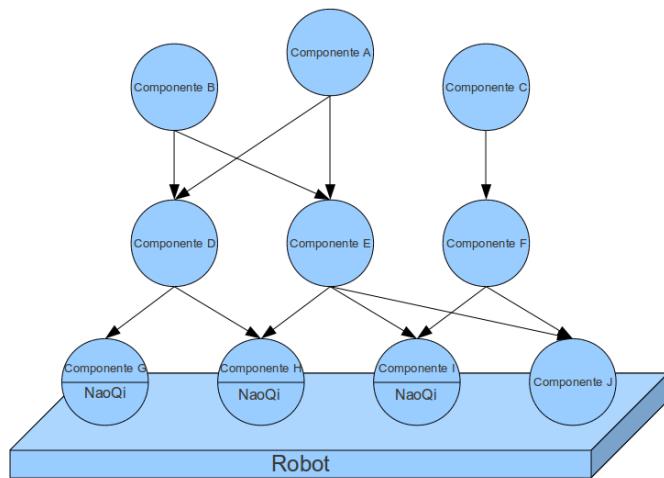


Figura 3.6: Jerarquía de componentes de BICA.

A continuación se muestra un ejemplo en pseudocódigo muy básico del funcionamiento de los *componentes*. Los *componentes* tienen un par de métodos indispensables: **init()** y **step()**. Desde el método **init()** se inicializan los recursos necesarios ejecutar el *componente*. El método **step()** es el que activa el *componente* y contiene toda su funcionalidad. Como el *componente* se activa solamente cuando se llama a este método, no es necesario ningún otro método para detener su ejecución. Todos los *componentes* disponen de un método privado llamado **isTime2Run()** que nos modula la frecuencia a la que se ejecuta el *componente*. Si aún no tiene que ejecutarse el *componente*, el método devuelve **false** y no se ejecuta ninguna instrucción del *componente*.

```

1 void step() {
2     // Ejecución en cascada de los componentes de los que se
3     // obtienen información.
4     cp1->step();
5     cp2->step();
6
7     if (isTime2Run()) {
8         // Recoger datos de los componentes perceptivos.
9
10        // Iteración genuina
11
12        // Poner a disposición del resto de componentes los datos
13        // calculados y/o se modulan los componentes actuadores.
14    }
15
16    // Ejecución en cascada de los componentes que se han
17    // modulado o requieran ser ejecutados por su actuación.
18    ca1->step();
19    ca2->step();
20 }
```

Al inicio del método **step()** se llama a los *componentes* perceptivos, son aquellos que devuelven datos, de los que depende el *componente*. Si es el momento de que se ejecute el *componente*, el método **isTime2Run()** devuelve **true** y se ejecutan las instrucciones dentro de la estructura *if*. Básicamente, lo que se hace en esta estructura es procesar los datos devueltos por los *componentes* perceptivos y generar nuevos datos. En caso de que el *componente* genere una respuesta, se modulan los *componentes* actuadores, aquellos que generan una respuesta en el robot o procesan los datos que acabamos de crear. Por último, se llama al **step()** de éstos para que efectúen las acciones requeridas que acabamos de modular.

BICA está desarrollado en C++ y consiste en una arquitectura iterativa, formada por *componentes* y basada en comportamientos. Proporciona un entorno de programación monohilo. Gracias a que se ejecuta en un sólo hilo nos evita las condiciones de carrera, un error muy frecuente y difícil de detectar en la programación concurrente.

Se ha escogido esta plataforma software por ser robusta y estar bastante probada. Ya ha sido utilizada en varios proyectos y es la plataforma utilizada en la RoboCup por el equipo de la universidad. Además, dispone de varios *componentes* que se pueden reutilizar para nuestro proyecto, de los cuales hablaremos en la sección 3.4.

Las comunicaciones con agentes externos se realizan a través del motor de comunicaciones de Internet, ICE, *Internet Communications Engine*. Se trata de un *middleware* de computación distribuida, orientado a objetos, multiplataforma y es desarrollado por la empresa *ZeroC*⁵. Este *middleware* proporciona una solución simple en el ámbito de las comunicaciones entre aplicaciones distribuidas en distintos servidores.

ICE dispone de una versión para sistemas embebidos, *Ice-E*. Esta versión es un motor de comunicaciones más compacto diseñado para ejecutarse en entornos de recursos limitados como teléfonos inteligentes o PDAs, por poner un par de ejemplos. Esta es la versión utilizada en el robot, ya que los recursos son bastante limitados y se necesita que el software corra lo más rápidamente posible. Gracias a ICE, BICA puede comunicarse con *JManager* o con otros robots que usen BICA.

3.4. Componentes BICA

En esta sección se habla de los distintos *componentes* de BICA que hemos utilizado en nuestra aplicación, estos son: **Music**, **Body**, **Head** y **Movie**. La mayoría de ellos están formados por una máquina de estados. Los diagramas de máquina de estados que se muestran en algunos componentes están sacados de la herramienta visual de diseño de componentes BICA: VICODE, del cual se habla en la sección 3.5.

⁵<http://www.zeroc.com/>

Los *componentes* pueden definirse como máquinas de estado. Los diagramas de la máquina de estados de los *componentes* se interpretan de la siguiente manera. El estado inicial está representado con un círculo rojo. Todos los *componentes* se inician en este estado cuando se activan. El resto de estados se representan mediante círculos amarillos. Las transiciones entre un estado y otro se representan con un círculo de menor tamaño y azul. Las flechas que entran y salen de este pequeño círculo indican el sentido de la transición entre dos estados. Cuando en el estado de un *componente* hay interacción con otro *componente*, este otro *componente* se representa mediante un círculo azul clarito. Con estas indicaciones es muy fácil comprender las máquinas de estado de cada uno de los *componentes*.

3.4.1. Componente Music

Este *componente* se encarga de reproducir ficheros de audio. Es modulado por el componente **Movie** y también es controlado remotamente desde nuestra aplicación. Este componente es capaz de reproducir ficheros en formato MP3 y formato WAV .

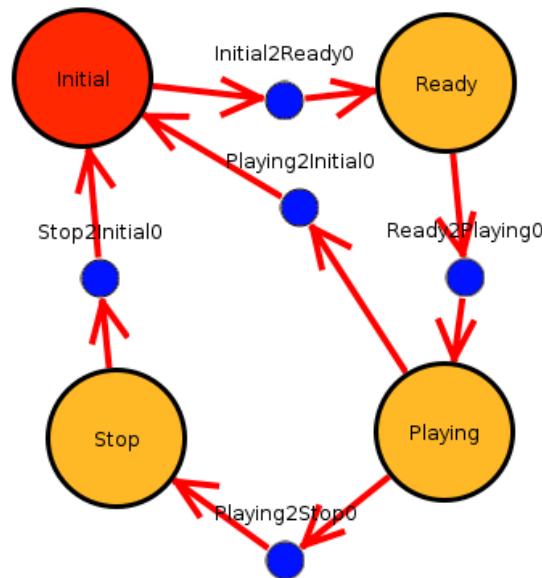


Figura 3.7: Máquina de estados del componente **Music**.

La máquina de estados del componente **Music** la tenemos en la figura 3.7. *Initial* es el estado inicial del que se parte cuando se activa el componente. Cuando se carga un fichero, se pasa al estado *Ready*. En este estado el componente está preparado para empezar a reproducir la música. Cuando se empieza a reproducir el sonido pasamos al estado *Playing*. Por último, cuando finaliza el fichero de audio, se pasa al estado de

Stop y de este al estado *Initial*, pero si por el contrario el fichero se para manualmente pasamos al estado *Initial*.

3.4.2. Componente Body

El componente **Body** se encarga de realizar los movimientos del robot y de caminar. Es modulado por el componente **Movie** y también es controlado remotamente desde nuestra aplicación. Los movimientos son fijos y previamente se han creado con una herramienta del JManager. Sólo puede ejecutarse un movimiento a la vez. Hay que tener especial cuidado cuando se ejecuta un movimiento al mismo tiempo que se camina, ya que el movimiento de los brazos puede hacer que el robot pierda el equilibrio y se caiga.

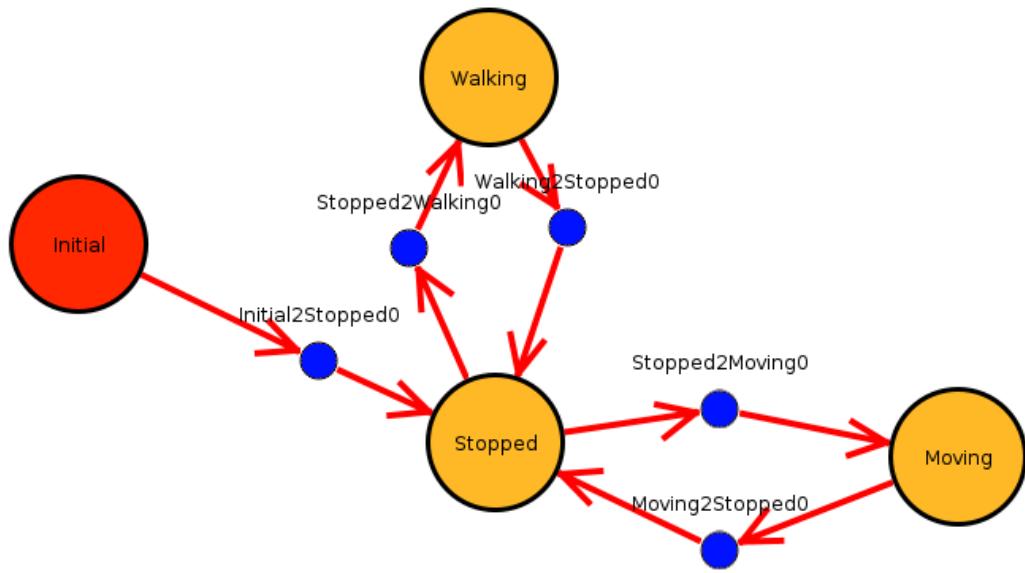


Figura 3.8: Máquina de estados del componente **Body**.

La máquina de estados de este componente está representada en la figura 3.8. Cuando se activa el componente, éste se inicia en el estado *Initial*. En este estado no se hace nada y se avanza directamente al estado *Stopped*. Desde este estado se puede avanzar a los estados *Walking* y *Moving*, dependiendo de cómo se module. El estado *Walking* se activa cuando el robot comienza a caminar y el estado *Moving*, cuando el robot realiza un movimiento de los que dispone.

En los estados *Walking* y *Moving* se obliga a pasar por el estado *Stopped*, precisamente para evitar el problema del que hemos hablado al principio de este apartado: evitar caminar y realizar un movimiento al mismo tiempo.

3.4.3. Componente Head

Este componente es el responsable de mover la cabeza del robot. Tiene dos grados de libertad: pan y tilt. El componente **Head** contiene métodos tanto para mover el cuello mecánico que controla la cabeza como para leer el estado de éste. Este componente es teleoperado desde nuestra aplicación.

El componente **Head** no está formado con una máquina de estados. Es un componente reactivo, es decir, que responde instantáneamente a las órdenes que recibe moviendo la cabeza.

3.4.4. Componente Movie

El componente **Movie** fue desarrollado en un Proyecto fin de carrera del grupo de Robótica de la universidad, [Benítez Mejías, 2010]. Este componente es el responsable de procesar las sesiones que se siguen en las terapias. Se encarga de recoger información a partir de un fichero de guiones y activar la ejecución.

Como la gran mayoría de los componentes de BICA, **Movie** está formado por una máquina de estados finita (Figura 3.9). Esta máquina de estados está compuesta por cuatro estados. *Initial* es el estado inicial del que se parte cuando se activa el componente. Se pasa al estado *SetFile* cuando se carga una sesión. En el estado *Running* se procesa el fichero y se ejecutan los comandos correspondientes. Cuando se encuentra un comando llamado **wait**, la máquina de estados avanza al estado *Waiting*. Desde este estado se vuelve al estado *Running* cuando se cumple la condición del comando **wait**.

Los componentes con los que interactúa el componente **Movie** son **Body**, **Music**, **TextSpeech** y **LedsControl**. De los componentes **Music** y **Body** ya hemos hablado en las subsecciones 3.4.1 y 3.4.2 respectivamente. El componente **TextSpeech** reproduce textos con voz. El componente **LedsControl** permite controlar los distintos LEDs de los que dispone el robot. Estos dos componentes son modulados únicamente desde el componente **Movie**.

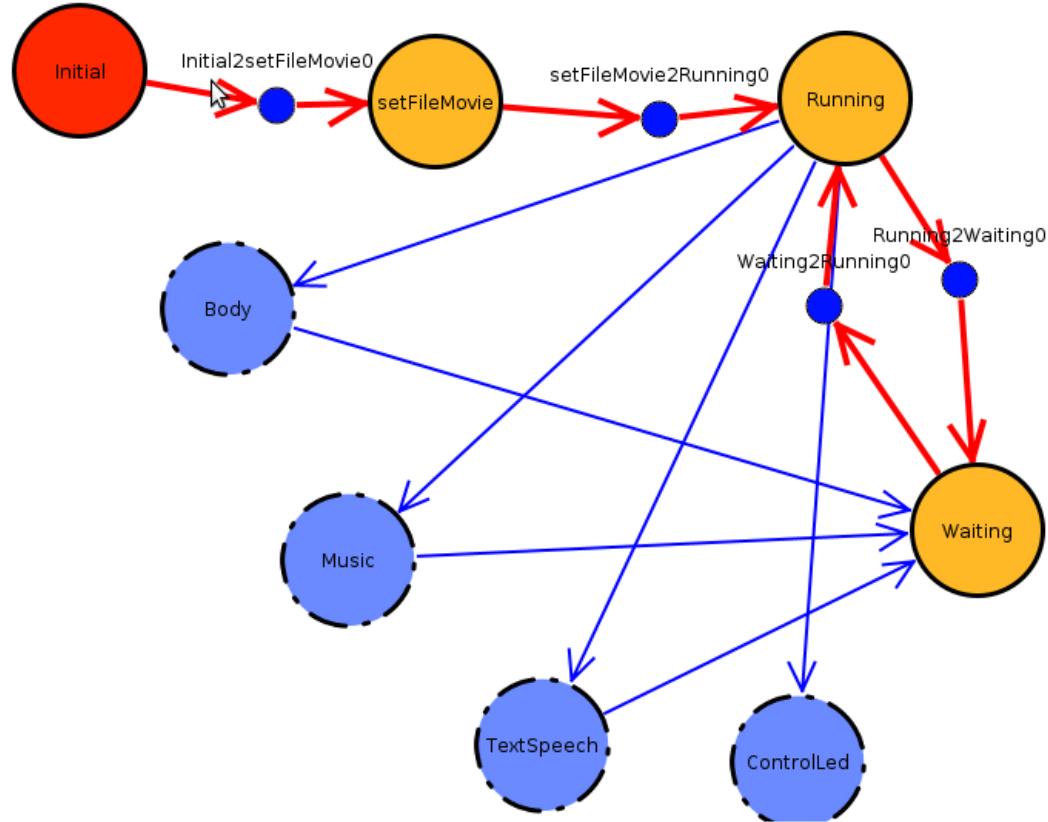


Figura 3.9: Máquina de estados del componente Movie.

Los guiones de las terapias están escritos en un pseudo-lenguaje creado específicamente para esta tarea. El lenguaje está compuesto por comandos y los guiones, a su vez, están compuestos por una sucesión de comandos escritos, uno por cada línea del fichero. Éstos se ejecutarán una a una en el orden en que se encuentran en el fichero. A continuación ponemos un pequeño fragmento de una sesión que se utiliza actualmente en las terapias y se explica cada una de las líneas.

```

1  mov introduccion
2  music /home/nao/mp3/vocescien/Clip_sonido_02.mp3
3  wait task mov
4  wait task music
5  wait press left
6  breakpoint

```

1. **mov introduccion** - El robot realiza el movimiento llamado "introducción".
2. **music /home/nao/mp3/vocescien/Clip_sonido_02.mp3** - Se reproduce el fichero de audio que se encuentra en la ruta `/home/nao/mp3/vocescien/Clip_sonido_02.mp3`.

3. **wait task mov** - El robot espera a que termine el movimiento que esté en ejecución, en este caso es el movimiento "introducción", para seguir con la sesión.
4. **wait task music** - El robot espera a que termine de reproducir el fichero de audio que esté reproduciéndose, en este caso `/home/nao/mp3/vocescien/Clip_sonido_02.mp3`, para ejecutar la siguiente instrucción de la sesión.
5. **wait press left** - El robot espera a que se presione el botón del pie izquierdo.
6. **breakpoint** - Se marca un punto de ruptura para poder volver a él cuando el usuario desee.

3.5. JManager

JManager es una aplicación de escritorio desarrollada en Java que contiene herramientas para la monitorización, configuración y depuración del robot. La figura 3.10 está compuesta por varias capturas de pantalla de la esta aplicación.



Figura 3.10: Distintas capturas de JManager.

La aplicación JManager está organizada en varias pestañas, donde cada una proporciona una funcionalidad distinta. Una de estas funcionalidades es la activación

y desactivación de los componentes disponibles en el robot (Figura 3.10c). De igual manera se puede activar el modo de depuración y la interfaz gráfica propia de cada componente para modularlo y depurarlo. Las figuras 3.10b y 3.10d son dos herramientas de depuración que pueden ser usadas por cualquier componente. La primera de estas dos herramientas es muy útil para depurar los algoritmos de localización de objetos respecto del robot. En el contexto del fútbol robótico se utiliza para depurar la localización de la pelota, de los jugadores y de las porterías. La segunda de ellas sirve para configurar la herramienta de GroundTruth y es muy útil para depurar los algoritmos de autolocalización que se utilizan en el fútbol robótico.

Las conexiones con el robot se realizan a través de la red con ayuda de ICE. La figura 3.11 es un esquema que representa la conexión entre JManager con la interfaz de ICE de cada componente.

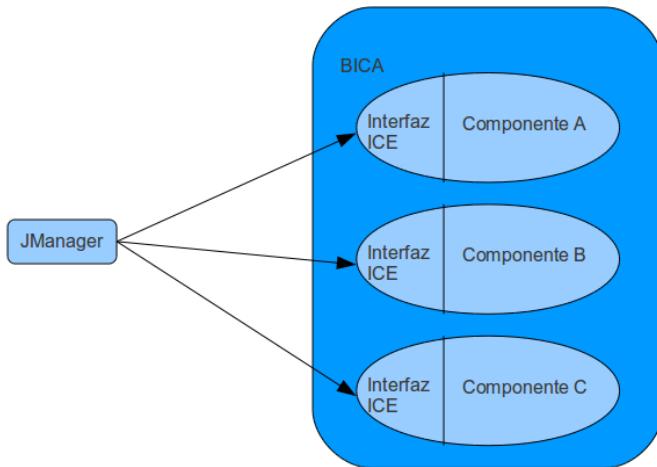


Figura 3.11: Conexión entre JManager y BICA.

Otra funcionalidad incluida en el JManager es VICODE, *VIsual COmponent DEsigner*. Se muestra una captura de pantalla de la herramienta en la figura 3.12. VICODE es una herramienta visual que permite diseñar componentes BICA. Esta herramienta genera el código C++ de un componente BICA que puede ser integrado directamente dentro de la arquitectura.

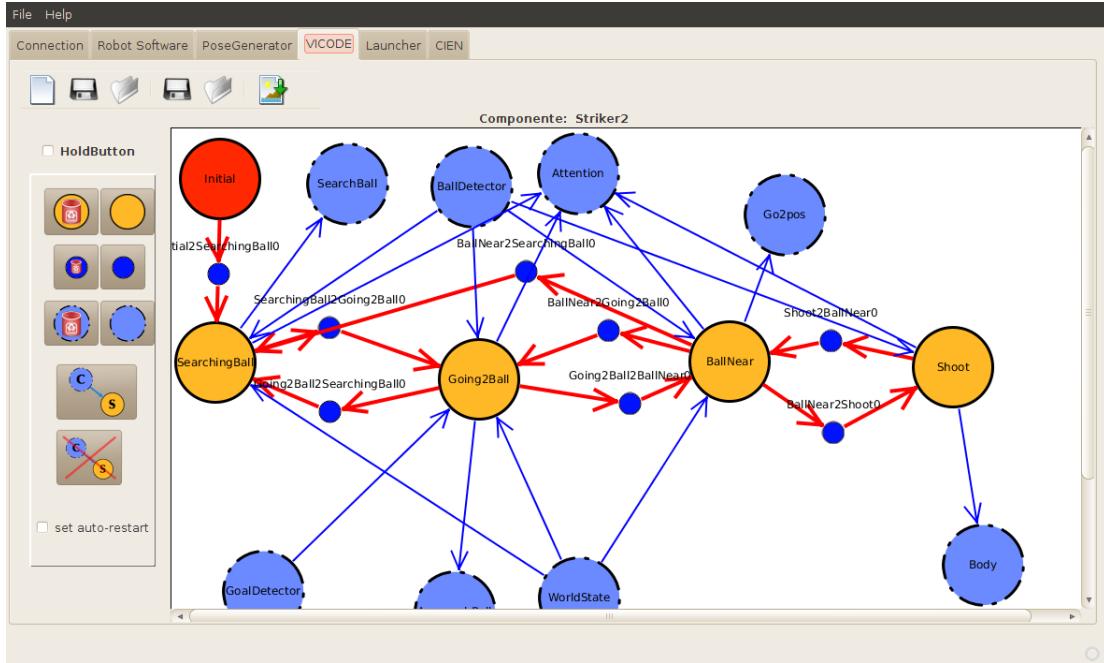


Figura 3.12: Pantallazo de VICODE.

3.6. Wiimote

También conocido como **Wii Remote** o simplemente **mando de la Wii**. Es el mando principal de la videoconsola *Wii* de Nintendo. Ambos salieron al mercado a finales de 2006. El Wiimote (Figura 3.6) fue diseñado para utilizarse con una sola mano, en vez de los típicos mandos de videoconsola que se habían creado hasta el momento. Tiene un diseño parecido al de un mando de televisión. Esta característica aporta al mando mayor intuitividad a la hora de manejarlo, ya que es sensible al movimiento. Con este diseño, Nintendo quería atraer al mundo de los videojuegos a gente que nunca había jugado.

El Wiimote es un control remoto inalámbrico que utiliza la tecnología *bluetooth* para conectarse pudiendo alejarse hasta 10 metros del punto de conexión. Dispone de siete botones, uno de ellos con forma de gatillo colocado en la parte posterior del mando. También tiene una cruz de direcciones y un botón de encendido/apagado. Además, en la parte frontal incorpora un pequeño altavoz y cuatro luces numeradas que indican el número de jugador cuando está conectado a una Nintendo Wii. La sensibilidad al movimiento la consigue gracias a unos acelerómetros que detectan el movimiento a lo largo de tres ejes. En la parte superior, el mando dispone de una cámara de infrarrojos que, junto con una barra de LEDs infrarrojos que viene con la videoconsola, convierte el mando en un dispositivo apuntador. Por último, también dispone de una memoria

de 16KB, de los cuales 6 pueden ser libremente leídos o escritos, y lleva incorporado un mecanismo vibrador. Como fuente de alimentación utiliza dos baterías AA, que dotan al mando de una autonomía de entre 25 y 60 horas, dependiendo de las funcionalidades que se utilicen.



Figura 3.13: Mando de control remoto de la Nintendo Wii, el Wiimote.

Además de todas las funciones de las que dispone el mando, este dispone de un puerto de expansión en su parte inferior que permite añadir periféricos. Uno de los más populares es el *Nunchuk*. Este es un joystick analógico con dos botones. Es necesario utilizar la otra mano para manejarlo. Existen muchos otros periféricos que se pueden utilizar con el mando, pero que sólo son útiles para jugar a algunos videojuegos y no para nuestra investigación, por lo que no hablaremos de ellos.

Hemos escogido este dispositivo de control auxiliar porque cumple con todos los requisitos que se habían propuesto. Es un dispositivo diseñado para que sea fácil de utilizar para gente que no está acostumbrada a usar este tipo de controles. Que se pueda utilizar con una sola mano junto con que sea inalámbrico, aporta a la terapeuta mayor autonomía y le da la posibilidad de poder moverse por la sala e interactuar con los pacientes.

Para implementar este dispositivo se ha utilizado una biblioteca externa de software libre, *Motej v0.9*. Esta biblioteca está publicada bajo la licencia de Apache *ASL 2.0*⁶. *Motej* es una biblioteca Java de comunicación con el Wiimote. Permite controlar

⁶<http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0.html>

distintos aspectos del mando como la lectura de los acelerómetros, el control de vibración, el encendido y apagado de los LEDs, la lectura de los botones y de la memoria EEPROM, la escritura de los registros del mando, la información de estado y los datos de calibración.

Descripción informática

En este capítulo se detalla el trabajo realizado dentro de este proyecto. Se hablará de las mejoras introducidas en la realización de las terapias y de las herramientas creadas.

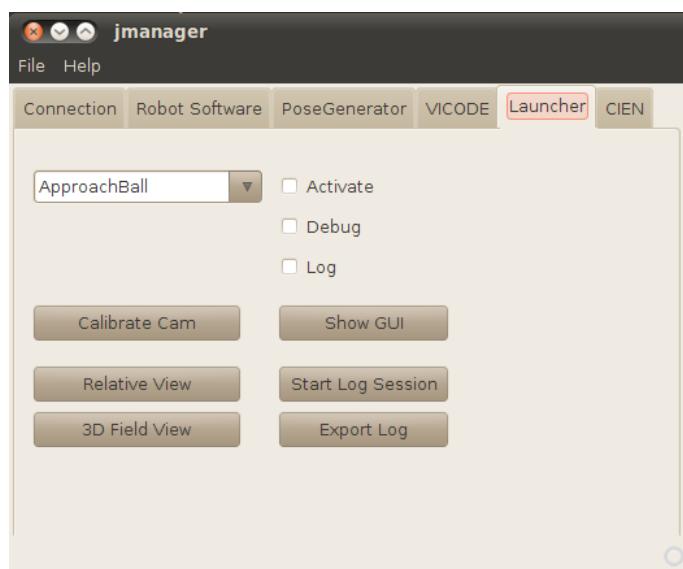


Figura 4.1: Captura de pantalla de la pestaña de administración de los *componentes* en la herramienta JManager.

El trabajo no se limita únicamente a las herramientas desarrolladas, sino que la experimentación y la realimentación son aspectos clave en el trabajo realizado. En primer lugar se evalúa el estado tecnológico en el que se encuentran las herramientas utilizadas en las sesiones de Roboterapia. Para ello se acudió a varias terapias, para comprender bien el contexto del problema y las necesidades reales de los terapeutas cuando están trabajando. Después se describirá la aplicación de escritorio creada para la realización las terapias. También se explicará cómo se ha integrado el Wiimote con la aplicación y cómo se usa. Por último, se explican las sesiones que se han implementado para poder realizar las terapias con nuevos grupos.

4.1. Evaluación del estado de las herramientas disponibles

Las sesiones de Roboterapia estaban realizándose con las herramientas creadas por Raúl Benítez Mejía, [Benítez Mejías, 2010]. Estas herramientas estaban integradas en el JManager, aplicación de la cual hemos hablado en 3.5. Siguiendo la filosofía de componentes de BICA, el JManager dispone de una interfaz gráfica para modular cada componente. Primero es necesario activar manualmente los componentes que se quieren utilizar. En nuestro caso se deben activar los componentes de los que se ha hablado en el capítulo anterior: **Body**, **Head**, **Music** y **Movie**. La figura 4.1 es una captura de pantalla de la pestaña de la herramienta JManager en la que se activan y desactivan los *componentes* de BICA. Además de esta funcionalidad tiene otras, como pueden ser la activación del modo de depuración de los *componentes* o la activación de distintas herramientas de depuración del JManager.

Una vez que los *componentes* están activos, seleccionando cada uno de ellos, hay que pulsar sobre el botón con el título *Show GUI* para mostrar la interfaz gráfica con la que modular dicho *componente* (Figura 4.2). Estas interfaces fueron creadas para probar, depurar y utilizar los *componentes*, pero de manera individual y sin un contexto determinado. En un contexto como el que se presenta, las terapias, dichas interfaces son incómodas y, en ocasiones, difíciles de usar. También resulta complicado teleoperar al robot al tiempo que se realiza una sesión con tantas ventanas abiertas.

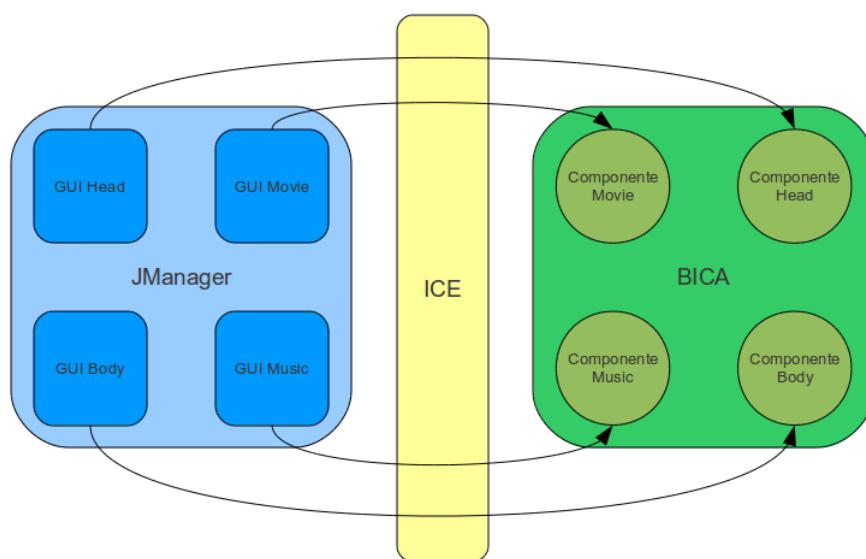


Figura 4.2: Esquema de modulación de un *componente* desde el GUI correspondiente.

Antes de empezar a diseñar e implementar la aplicación, es imprescindible evaluar en profundidad las herramientas que hay disponibles y descubrir los aspectos en los que fallan durante una terapia. A continuación se analiza por separado cada una de las interfaces gráficas de los *componentes* BICA y se resaltarán los puntos negativos.

4.1.1. Evaluación del componente Music

En la figura 4.3 se muestra una captura de pantalla de la interfaz gráfica del componente **Music**. Este *componente* es bastante sencillo de utilizar. Para reproducir un fichero se introduce en el campo de texto disponible la ruta de dicho fichero. Esta ruta debe ser absoluta y representa donde se ubica el fichero, pero en el sistema de ficheros del robot, no de la máquina donde se ejecuta el JManager. Después se carga el fichero mediante el botón *Load MP3* y se reproduce con el botón *Play*. La reproducción se puede parar en cualquier momento pulsando *Stop*. Mediante el slider del inferior de la ventana se regula el volumen.



Figura 4.3: Captura de pantalla de la interfaz gráfica del componente **Music**.

Este método de reproducir ficheros es bastante incómodo. Los inconvenientes que tiene son:

1. Es necesario conocer la ruta exacta de dónde se encuentra el fichero que se quiere reproducir en el sistema de ficheros remoto, el del robot.
2. Para reproducir un fichero hay que hacer demasiadas acciones. Primero hay que introducir la ruta del fichero, segundo pulsar *Load MP3* y, por último, pulsar *Play* para que suene.

4.1.2. Evaluación del componente Body

En la figura 4.4 se muestra una captura de pantalla de la interfaz gráfica del componente **Body**. Desde ella se puede teleoperar al robot y hacer que se desplace.

Mediante los sliders se ajusta la velocidad de la caminata. Cada uno de ellos ajusta un parámetro: la velocidad lineal, la de rotación y la de desplazamiento lateral. Cuando se quiere para se pulsa el botón de *Stop*. Para ejecutar los movimientos fijos disponibles en el robot, se utiliza el campo de texto de la esquina superior derecha. En él se introduce el nombre del movimiento y se pulsa el botón *doMove*. Los botones de la esquina inferior derecha son movimientos de distintas patadas que utiliza el robot cuando juega al fútbol para golpear la pelota. Esta interfaz presenta varios inconvenientes:

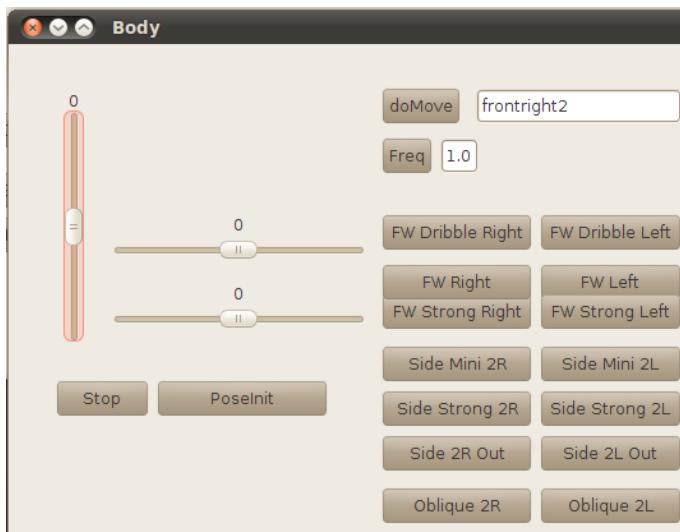


Figura 4.4: Captura de pantalla de la interfaz gráfica del componente **Body**.

1. No se sabe qué slider ajusta qué parámetro de la caminata. Se puede intuir que el vertical ajusta la velocidad lineal del robot, pero los otros dos, los que ajustan la velocidad de rotación y la lateral, no se distinguen.
2. Los sliders están implementados según el sistema de coordenadas que utiliza el robot. Como éste utiliza un sistema de coordenadas dextrógiro cuando el valor del slider crece, se acerca al extremo derecho, el robot gira a la izquierda, mientras que si decrece, se acerca al extremo izquierdo, el robot gira a la derecha. Este sistema es antiintuitivo y hace difícil controlar al robot con precisión. En la imagen se puede ver el eje de coordenadas del robot superpuesto en la imagen.
3. Los botones de la esquina inferior derecha, que ejecutan distintas patadas, son irrelevantes para las terapias. Son muy útiles en el contexto del fútbol robótico, pero inútiles en el de las sesiones de Roboterapia.

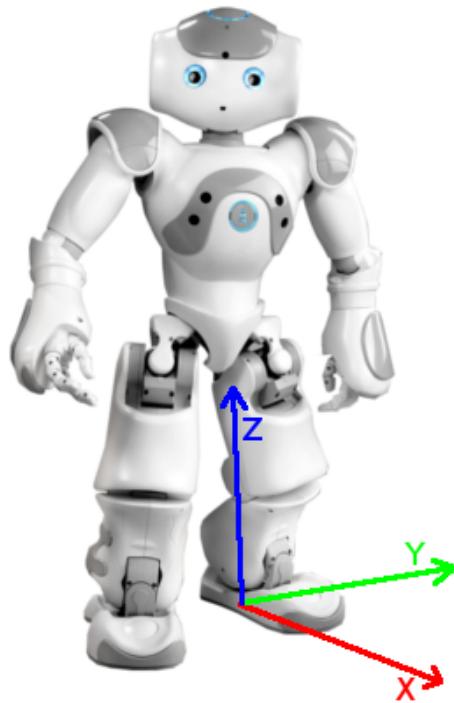


Figura 4.5: Sistema de coordenadas dextrógiro.

4. Al igual que pasaba con la reproducción de los ficheros de audio, el método para ejecutar movimientos fijos es incómodo. Es necesario saberse el nombre del movimiento, escribirlo y luego pulsar el botón *doMove*. Demasiadas acciones para ejecutar un sólo movimiento.

4.1.3. Evaluación del componente Head

En la figura 4.6 se muestra una captura de pantalla de la interfaz gráfica del componente **Head**. Esta interfaz dispone de dos métodos de control de la cabeza. Uno es modulando la velocidad y posición del cuello mecánico y otro, modulando solamente la velocidad. Mediante los sliders se ajusta dicha posición o la velocidad de movimiento del cuello. El slider horizontal modula el parámetro Pan y el vertical, el Tilt. Mediante el botón situado arriba a la izquierda se cambia de un modo a otro.

Esta interfaz es bastante sencilla de utilizar, aunque presenta un inconveniente: en ocasiones no queda claro cuál de los dos métodos se está usando. Es necesario fijarse en el botón superior izquierdo para saberlo, lo cual resulta incómodo cuando se está pendiente de llevar la terapia más que de teleoperar al robot.

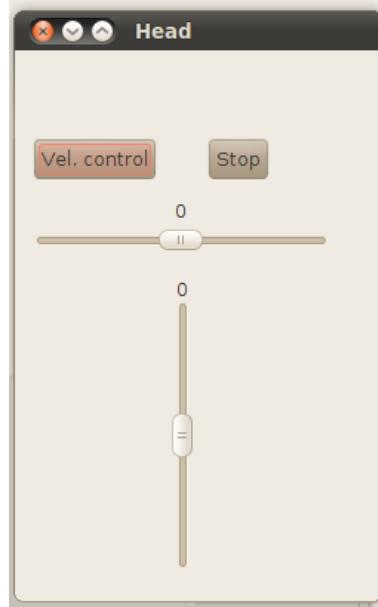


Figura 4.6: Captura de pantalla de la interfaz gráfica del componente **Head**.

4.1.4. Evaluación del componente Movie

Por último, la figura 4.7 muestra una captura de pantalla de la interfaz gráfica del componente **Movie**. Este *componente* es bastante más complejo de utilizar que los otros. Esto es lógico, ya que este *componente* contiene más funcionalidades.

Mediante el botón *Load Movie* aparece un diálogo para seleccionar la sesión que se quiere abrir. El botón *Create Movie* sirve para crear un guión. Mediante los botones *Pause*, *Play* y *Stop* se puede pausar, reanudar o parar el guión que se está reproduciendo. Los botones *Previous BreakPoint* y *Next BreakPoint* sirven para buscar automáticamente en el fichero el breakpoint siguiente y el anterior. El guión cargado se muestra en el área de texto del centro de la ventana. Mediante los botones situados justo debajo de este área de texto se puede salvar el fichero si se edita con el botón *Save* o enviarlo al robot, mediante el botón *Send File to Robot*. El área de texto de la derecha contiene información sobre los comandos que se pueden utilizar en los guiones.

Este interfaz gráfico contiene mucha funcionalidad, lo que provoca que sea confuso y difícil de manejar. Los inconvenientes que presenta son:

1. El primero y más importante es el haber juntado dos funcionalidades bastante complejas en una sola ventana: la edición y la ejecución de guiones. Son tantas

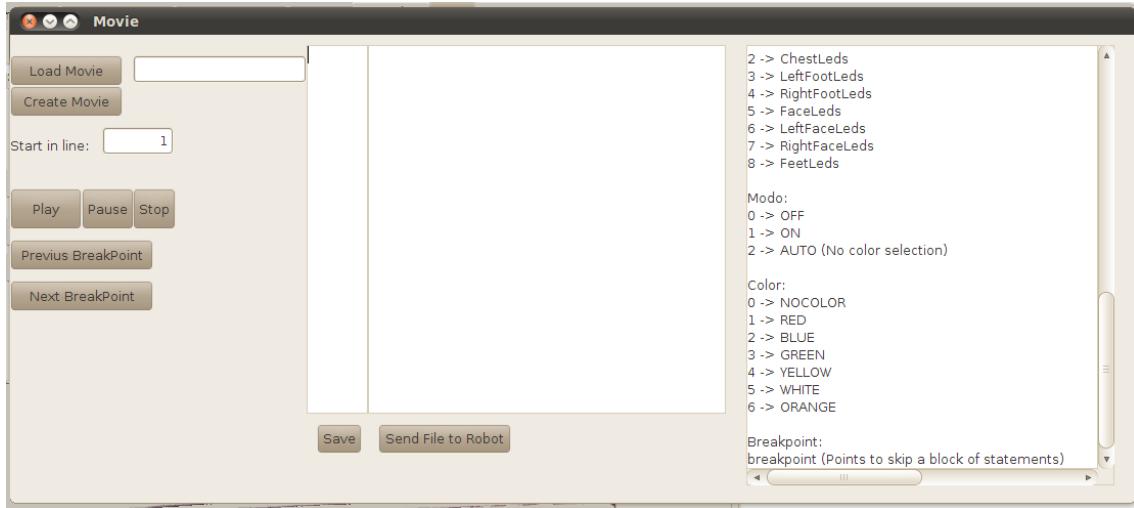


Figura 4.7: Captura de pantalla de la interfaz gráfica del componente **Movie**.

las cosas que se pueden hacer, que la interfaz resulta confusa y complicada de manejar.

2. Cuando se carga un fichero, para que éste pueda reproducirse en el robot, deben tener la misma ruta en ambos sistemas de fichero. Es decir, si en el ordenador donde estamos ejecutando el JManager cargamos el fichero de la ruta `/home/nao/movies/session.movie`, en el robot también debe existir este mismo fichero con la misma ruta. Esto nos obliga a tener un conocimiento profundo del sistema de ficheros del robot.
3. El uso de los breakpoints es bastante aparatoso y complicado de usar. En caso de que se apague el robot por falta de batería o por cualquier otro problema, es difícil recuperar el punto donde se quedó la sesión.
4. Mostrar los comandos del guión no aporta nada a los terapeutas, ya que es difícil de leer cuando se ejecuta una sesión.
5. En caso de no editar el guión, la información disponible en área de texto de la derecha no es necesaria.

Todos los inconvenientes de los distintos *componentes* se han tenido en cuenta para realizar nuestra aplicación y se ha intentado mejorar la usabilidad de ésta.

4.2. Aplicación CIEN

Una vez descritos los inconvenientes de la aplicación anterior, en este proyecto se ha desarrollado una aplicación que permita realizar terapias para enfermos de Alzheimer

con el robot Nao. Esta aplicación ha de ser sencilla e intuitiva para que sea utilizada por los terapeutas que realizan las terapias. El software creado para dicho fin se presenta en esta sección, la Aplicación CIEN.

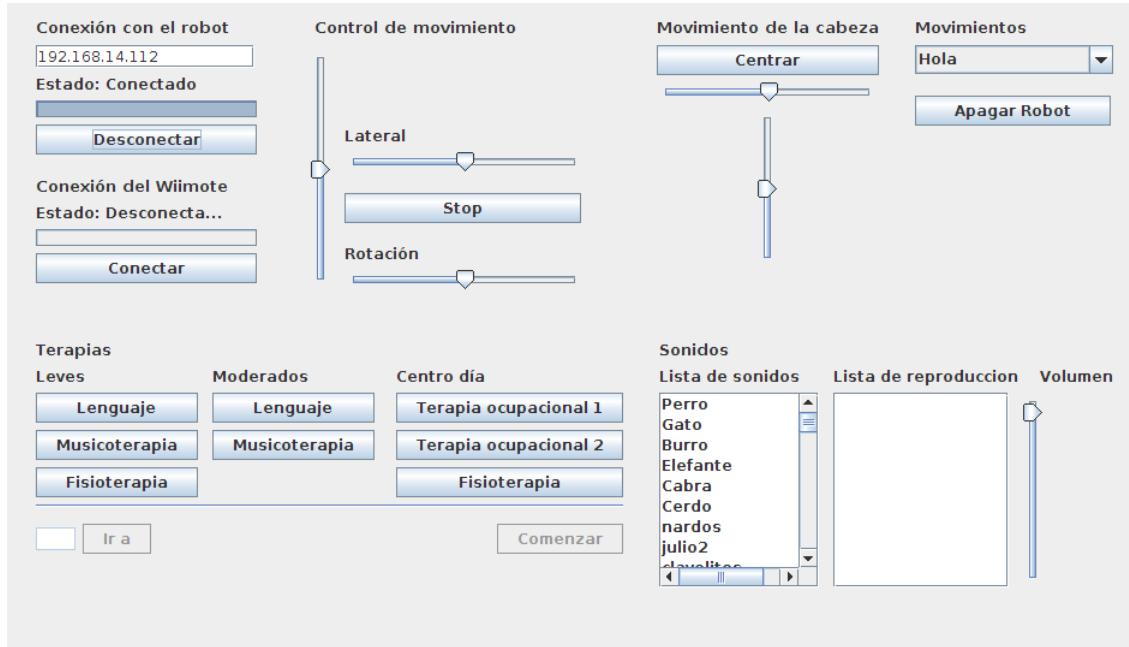


Figura 4.8: Captura de pantalla de la Aplicación CIEN.

Como se ha comentado en el capítulo 2, esta aplicación ha sido creada a base de distintos prototipos que eran probados en las terapias. La realimentación para hacer el siguiente prototipo provenía principalmente de los terapeutas e investigadores encargados de las terapias y de la experiencia personal. La figura 4.8 es una captura de pantalla de la interfaz gráfica de la aplicación. Este es el resultado al que se ha llegado después de numerosas iteraciones.

Para hacer lo más sencilla posible la aplicación, se optado por agrupar toda la funcionalidad necesaria para las terapias en una sola ventana. Para evitar que la aplicación sea confusa, las distintas funcionalidades se han dividido en pequeños módulos, que son: Conexión con el robot, Conexión del Wiimote, Control de movimiento, Movimiento de la cabeza, Movimientos, Terapias, Sonidos y un botón para apagar el robot. Cada uno de estos módulos es responsable de una funcionalidad. En las siguientes secciones se expone cada una de estas funcionalidades.

4.2.1. Módulo de conexión con el robot

El módulo de conexión con el robot (Figura 4.9), se encarga de gestionar la conexión por red con el robot. Dispone de un campo de texto en donde se introduce la dirección del robot. El estado de la conexión se puede ver por medio de una etiqueta y una barra de progreso. También dispone de un botón multifunción que, dependiendo del estado en el que se encuentra la conexión, sirve para conectarse o desconectarse.

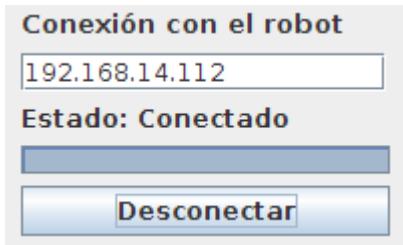


Figura 4.9: Captura de pantalla del módulo de conexión con el robot.

La dirección del robot puede introducirse de dos maneras: a través de su ip o a través del nombre del robot junto con el dominio `.local`. El puerto que utiliza BICA no es necesario conocerlo, la aplicación lo pone automáticamente. Para averiguar el número de puerto se sigue la norma de sumar el último número de la dirección ip del robot a 10.000, es decir, si la ip del robot termina en 112, se suma 2 a 10.000, por lo que el puerto de conexión es el 10.002.

Se ha simplificado al máximo la conexión con el robot eliminando términos técnicos informáticos como ip y puerto. Simplemente conociendo el nombre del robot y agregando el dominio `.local`, el terapeuta que lo utilice puede conectarse a él, la resolución del nombre se hace automáticamente gracias a las bibliotecas de *Avahi*. Esta biblioteca ofrece, entre otros servicios, un servicio de *multicast DNS* para la resolución de nombre en redes de área local.

Respecto al método de conexión con el que se contaba antes, se ha simplificado el proceso. Los términos ip y puerto son básicos en área de redes informáticas, pero pueden confundir a un usuario sin conocimientos informáticos. Con este método que se acaba de explicar se simplifica la conexión con el robot.

4.2.2. Módulo de conexión con el Wiimote

El módulo de conexión con el Wiimote (Figura 4.10), funciona de forma parecida al módulo de conexión con el robot. El estado de la conexión se muestra a través de

una etiqueta y de una barra de progreso. Sólo se dispone un botón que, dependiendo del estado en el que se encuentra la conexión con el Wiimote, sirve para conectarse o desconectarse.

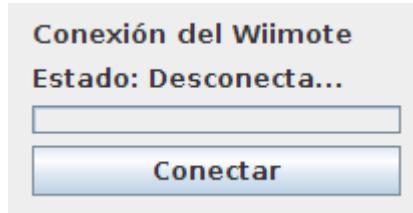


Figura 4.10: Captura de pantalla del módulos de conexión del Wiimote.

Cuando se pulsa el botón de conectar, la aplicación inicia una búsqueda a través del bluetooth de los mandos disponibles. Para conectar el mando es necesario pulsar simultáneamente los botones 1 y 2. Los LEDs del mando se pondrán a parpadear mientras se sincronizan los dispositivos. Si se establece la conexión con éxito, el mando vibra y se queda iluminado el primer LED de éste.

Este componente gráfico es genuino del desarrollo que se ha realizado en este proyecto. Anteriormente, no existía ningún componente que permitiese teleoperar al robot con el Wiimote.

4.2.3. Módulo de control de movimientos del cuerpo

El módulo de control de movimientos del cuerpo está dividido en dos. Por un lado tenemos un teleoperador para mover al robot (Figura 4.11a) y, por el otro, un selector de movimientos. El teleoperador está compuesto por tres sliders que controlan cada uno de los posibles desplazamientos del robot: adelante/atrás, rotar a un lado y al otro, y el desplazamiento lateral. También dispone de un botón de parada. El selector de movimientos está compuesto por una única lista desplegable con los movimientos disponibles.

Para teleoperar al robot se utilizan los sliders. Éstos regulan la velocidad a la que se ejecuta el desplazamiento, cuanto más al extremo, más rápido se moverá el robot. Los sliders pueden utilizarse conjuntamente.

El selector de movimientos es configurable a través de un fichero de texto. Este se encuentra en el directorio `conf` del proyecto y se llama `movements.conf`. La sintaxis del

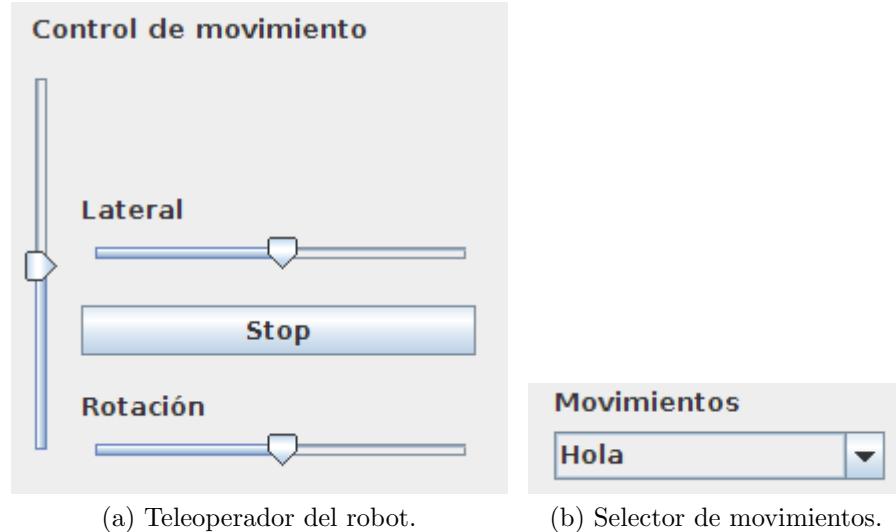


Figura 4.11: Capturas de pantalla de los módulos de control de movimientos del cuerpo.

fichero es muy sencilla. Las líneas que comienzan con ”#” se consideran comentarios y los nombres de los movimientos se escribirán uno en cada línea. Esto hace que insertar y eliminar movimientos de la aplicación sea una tarea sencilla. También permite poder ver todos los movimientos de un vistazo y elegir el más conveniente para la acción que se quiera realizar. A continuación se muestra un fragmento de un fichero de configuración.

```
# Fichero de configuración del módulo de movimientos.
# -----
# Las líneas que comienzan con un # se consideran comentarios
.

Hola
Adios
Flamenco
Introduccion
```

Esta nueva interfaz gráfica para teleoperar el desplazamiento del robot es más intuitiva, ya que se ha seguido el criterio de girar, o desplazarse en el caso del movimiento lateral, hacia el mismo lado que se mueve el slider. Es decir, si se desplaza el slider a la derecha, el robot gira o se desplaza a la derecha. Por otro lado, se ha mejorado y facilitado el acceso a los movimientos que puede realizar el robot, mostrando los disponibles en un menú desplegable. Esto evita tener que conocer el nombre de los movimientos que puede ejecutar el robot. Para reproducir un movimiento simplemente hay que seleccionarlo.

4.2.4. Módulo de control de movimientos de la cabeza

El módulo de control de los movimientos de la cabeza (Figura 4.12) permite teleoperar el cuello del robot y hacer que *mire* a los pacientes. Poder dirigir la mirada del robot a los pacientes y establecer un contacto visual, ayuda al robot a integrarse en mayor medida con los pacientes de las terapias y les incita a participar. La comunicación con contacto visual siempre es más natural. Se maneja con dos sliders, uno sirve para ajustar el movimiento horizontal y el otro para ajustar el movimiento vertical. Además, dispone de un botón para centrar la cabeza.

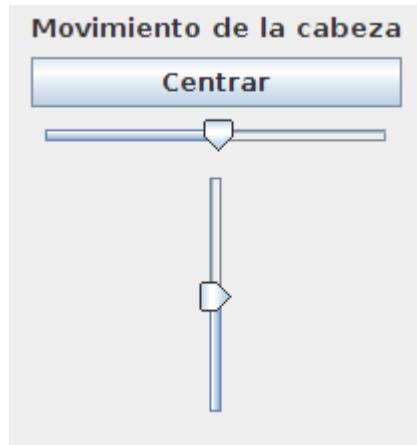


Figura 4.12: Captura de pantalla del módulo de control de la cabeza.

La posición donde se encuentra el slider indica la posición de la cabeza, coincidiendo la posición máxima del slider con la posición máxima de la cabeza. Se ha preferido implementar uno sólo de los dos métodos de control de la cabeza para que la tarea sea más sencilla y no complicar las cosas a la terapeuta.

4.2.5. Módulo de control de terapias

El módulo de control de las terapias (Figura 4.13) se encarga de ejecutar los guiones de las terapias. Esta formado por unos botones con los que se cargan las terapias, un botón para ejecutar la siguiente acción de la terapia y otro para seleccionar una línea concreta del guión y ejecutarla directamente.

Para usar este módulo, lo primero es cargar una terapia mediante el botón correspondiente. Una vez cargada la terapia, se habilitan los botones situados en la parte inferior. El botón situado a la derecha es el que más se utiliza. Sirve para comenzar la terapia y para continuar la siguiente acción, cuando el robot efectúa una pausa. El



Figura 4.13: Captura de pantalla del módulo de control de las terapias.

campo de texto situado a la izquierda sirve para introducir el número de línea que quieras ejecutar y con el botón *Ir a* se inicia la acción.

La función de poder escoger el número de línea que se quiere ejecutar es muy útil cuando se quieren hacer saltos en la sesión. Normalmente, los guiones se ejecutan enteros, pero en ocasiones, por falta de tiempo, se acortan. También es muy útil cuando ocurre algún problema con el robot. El más habitual es que se agote la batería. En estos casos se puede retomar la sesión donde se quedó.

En un principio, para poder ejecutar el siguiente comando de un guión había que pulsar siempre el botón situado en la punta del pie izquierdo. Esto era incómodo y tedioso para el terapeuta, ya que le obligaba a estar cerca del robot para poder pulsar el botón y continuar con la terapia. Esta funcionalidad se ha mantenido, pero gracias al botón de *Siguiente* se puede ejecutar el comando siguiente sin necesidad de pulsar el botón del pie. Esto aporta al terapeuta mayor autonomía y facilita la interacción con los pacientes, ya que puede moverse por todo el aula.

Respecto al interfaz anterior se ha implementado solamente la funcionalidad de reproducir guiones. Un terapeuta que está realizando una sesión no puede ponerse a editar el guión, porque no puede desatender a los pacientes. En caso de que haya necesidad de modificar un guión, se hace después de haber realizado la terapia. Para facilitar la acción de cargar el guión, éstos se muestran en la interfaz gráfica y se cargan pulsando el botón correspondiente. El control del guión también se ha simplificado gracias a los botones *Ir a* y *Comenzar/Siguiente*.

4.2.6. Módulo de control de sonidos

La funcionalidad de poder encolar ficheros de audio es muy útil porque permite crear frases sencillas con varios ficheros. Si se tienen las palabras ”¡Hola!”, ”¿Qué tal?”, ”Emma” y ”María”, se pueden crear frases como ”¡Hola! ¿Qué tal Emma?” o ”¡Hola María! ¿Qué tal?”. Los sonidos y frases que reproduce el robot sirven para estimular y captar la atención de los pacientes. Esto es importante en los enfermos más graves.

El módulo de control de sonidos (Figura 4.14) es el responsable de controlar los sonidos que reproduce el robot. Este módulo está compuesto por una lista con los audios disponibles, una cola de reproducción y un slider que controla el volumen.

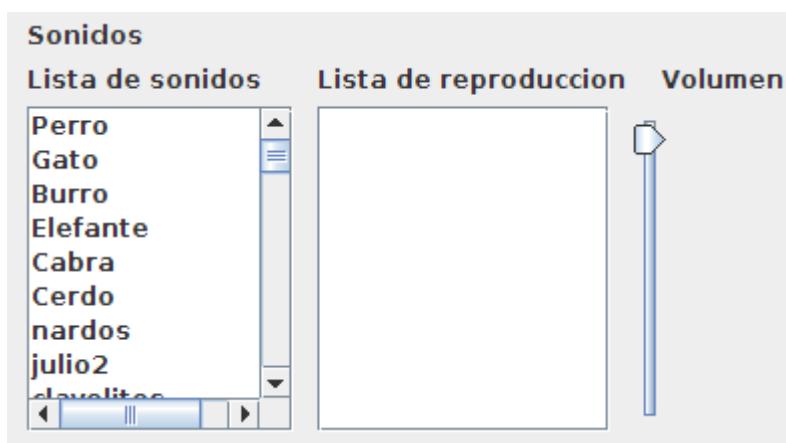


Figura 4.14: Captura de pantalla del módulo de control de sonidos.

Para reproducir un sonido, simplemente hay que hacer doble click sobre su nombre y el sonido se añade a la cola de reproducción. En caso de estar en primer lugar se reproduce, pero si ya hay un fichero sonando, éste se encola y se reproduce cuando el primer fichero termine. Para parar la reproducción de un fichero que está sonando, hay que hacer doble click sobre su nombre en la lista de reproducción. Éste se para y se reproduce el siguiente, en caso de haya alguno. Si hacemos doble click sobre un fichero encolado, éste se elimina de la cola. El volumen de reproducción se ajusta mediante el slider.

Los ficheros de audio disponibles se configuran mediante un fichero que sigue la misma sintaxis que el fichero de configuración del módulo de movimientos, pero éste se llama **sounds.conf** y se encuentra el directorio **conf**. Los nombres de los ficheros de audio se deben escribir uno en cada línea del fichero.

Al igual que ocurre con los movimientos o con los guiones de las terapias, los ficheros de audio disponibles se muestran en la interfaz gráfica para que sean más accesibles. Por otro lado, la reproducción de uno de estos ficheros se ha simplificado. La funcionalidad de encolar los ficheros es genuina de este proyecto.

4.3. Control remoto

Aunque la aplicación es adecuada a las necesidades de actuación del robot, requiere un operador. En las sesiones se vio la necesidad de dar mayor autonomía al terapeuta facilitándole el control del robot durante las sesiones. Para ello se ha implementado un control remoto usando el Wiimote. En la sección 3.6 se habla de las características del mando y de las razones por las que se ha elegido. La implementación final del mando, al igual que el desarrollo del resto de la aplicación, se ha realizado por medio de prototipos. Se han probado distintas configuraciones hasta conseguir una que ha sido aceptada y validada por los terapeutas de la Fundación.

Para poder utilizar el mando para teleoperar al robot, lo primero es enlazarlo con la aplicación. Para ello se procede tal y como se ha explicado en 4.2.2. Una vez realizado el enlace, el sistema ya está listo para ser manejado por el mando. Solamente se ha implementado la funcionalidad básica de teleoperación del robot para simplificar al máximo el control del mando. Las operaciones que se pueden realizar son: teleoperar el movimiento del robot, teleoperar la cabeza y teleoperar la reproducción de un guión de sesión.

Teleoperar al robot. El control del movimiento del robot se ha realizado a través de la cruz de dirección. Para caminar hacia adelante o hacia atrás, sólo hay que pulsar el botón de arriba y abajo respectivamente. De la misma manera, para rotar a la derecha o a la izquierda se hace pulsando los botones derecho e izquierdo. El control del movimiento adelante/atrás es distinto del control de rotación. Para que el robot empiece a caminar hacia adelante o hacia atrás sólo hay que pulsar la flecha correspondiente y soltar. El robot comienza a caminar y no se detiene hasta que no se pulsa el botón A. En cambio, para el control de rotación es necesario pulsar el botón y mantenerlo pulsado todo el tiempo que se quiera girar. Cuando se suelta la flecha de dirección izquierda o derecha el robot deja de girar. Los giros pueden hacerse tanto con el robot parado, donde éste gira

en el sitio, o con el robot caminando, donde se combinan los dos movimientos realizando una curva.

Teleoperar la cabeza. El control de la cabeza se realiza también a través de la cruz de dirección, pero es necesario mantener pulsado el botón Z a la vez que se pulsan las flechas de dirección, para diferenciar cuando se quiere teleoperar al robot de cuando se quiere teleoperar la cabeza. El botón Z está situado detrás del mando y tiene forma de gatillo. Cada vez que se pulsa una flecha de dirección, se mueve la cabeza 10° en esa misma dirección. Para centrar rápidamente la cabeza se hace pulsando el botón A al mismo tiempo que se tiene pulsado el botón Z.

Reproducción de un guión de sesiones. La única acción del reproductor de sesiones que se ha implementado es la acción de ejecutar el comando siguiente, que es la funcionalidad más básica de este componente. Para ellos se ha de pulsar el botón +. Antes de poder usar esta funcionalidad es necesario cargar una sesión desde la interfaz gráfica.

4.4. Implementación de sesiones

Junto con el desarrollo de esta aplicación, hemos implementado varias guiones de terapias. Todos los guiones son escritos por los investigadores de la Fundación CIEN y están adaptados para pacientes con la enfermedad de Alzheimer. Cada grupo de pacientes tiene sus propias sesiones ajustadas al desarrollo de la enfermedad. Durante el tiempo que se realizan las terapias en un grupo, siempre se ejecuta el mismo guión.

Ahora mismo existen tres tipos de sesiones: terapia ocupacional, musicoterapia y fisioterapia. Cada una de ellas está enfocada a activar y desarrollar unos aspectos concretos.

Terapia ocupacional. Las sesiones de terapia ocupacional están compuestas por varios ejercicios. Los objetivos de estos ejercicios son estimular y mantener las capacidades mentales de los pacientes, evitar la desconexión con el entorno y fortalecer las relaciones sociales, entre otros. Los ejercicios que se realizan son adivinanzas, operaciones aritméticas simples, relacionar objetos, tareas de vocabulario y léxico, tareas de comprensión y refranes. A continuación se muestran fragmentos de una de las sesiones de terapia ocupacional:

1. Buenos días a todos. Hoy tengo muchas ganas de jugar, así que espero que todos vosotros tengáis ganas de jugar conmigo.

2. Es un juego de adivinanzas. Yo os voy a ir dando pistas y tenéis que adivinar lo que yo estoy pensando .

3. Es una fruta roja, que se come a mordiscos, y cuando está pocha le salen gusanos.

4. Manzana

...

50. Ahora vamos a jugar a sumar y restar.

51. 3 + 4

52. 7

...

87. Ahora tenéis que decirme en qué se parecen.

88. El zumo de naranja y la leche.

89. Son bebidas que tomamos en el desayuno.

...

120. Ahora, tenéis que decirme cómo se llama la persona que se dedica a.

121. La persona que hace muebles.

122. Carpintero.

...

156. Ahora tenéis que decirme qué palabra se relaciona con .

157. Que se relaciona con el pie: ¿la cabeza o un calcetín?

...

195. Ahora vamos a hacer un juego de refranes.

196. A quien madruga...

197. Dios le ayuda.

...

Lo habéis hecho todo genial, muy bien. Así que, con esto y un bizcocho, ¡hasta mañana a las ocho! ¡Adiósooooos !

A lo largo de la sesión se intercalan frases de refuerzo como ”¡Muy bien!” o ”¡Genial!”. Con cada una de las frases el robot realiza movimientos con los brazos y la cabeza para captar mejor la atención de los pacientes.

Musicoterapia. El esqueleto principal de las sesiones de musicoterapia son las canciones. Antes de cada canción se realizan una o dos preguntas relacionadas con la canción. A continuación se muestra un fragmento de una sesión de musicoterapia:

1. Buenos días a todos, hoy tengo muchas ganas de cantar , así que espero que todos vosotros queráis cantar conmigo .

2. ¿Sabéis donde vivimos?
 3. Vivimos en Madrid, así que como estamos en Madrid me vais a decir calles de esta ciudad.
 4. ¿Alguien sabe una canción que diga: 'Por la calle de Alcalá'?
- Se reproduce la canción ''Por la calle de Alcalá''.
5. Muy bien. ¡Un aplauso!
 6. Hay una canción que habla de los meses del año, ¿sabéis cual es?
 7. Esta canción es típica de los San Fermínes.
- Se reproduce la canción ''San Fermín''.
- ...
28. ¡Qué bien habéis cantado hoy! Un aplauso para todos.
 29. Me despido. Espero volver a veros a todos el próximo día.
- Se reproduce la canción ''Adiós con el corazón''.

Las canciones que se escuchan en esta terapia son canciones populares españolas, para que las conozcan todos los pacientes y puedan cantarlas.

Fisioterapia. Las sesiones de fisioterapia están compuestas por ejercicios en los que se anima al paciente a mover distintas partes del cuerpo. Las sesiones están preparadas por fisioterapeutas. A continuación se muestra fragmentos de una sesión:

1. ¡Hola chicos! Vamos a trabajar un poquito una tabla de gimnasia.
 2. Venga, culete para atrás de la silla, espalda recta y los dos pies en el suelo sin cruzar.
 3. Vamos a empezar por la cabeza y moveremos todo el cuerpo hasta los pies.
 4. Venga, vamos a trabajar el cuello.
 5. Arriba/abajo 1..10.
- ...
9. Ya hemos terminado con el cuello. Vamos a mover los brazos.
 10. Vamos a ponerlos a lo largo del cuerpo y los subimos y los bajamos.
 11. Arriba/abajo 1..10.
- ...
24. Ya hemos trabajado el cuello, los brazos y las manos, así que vamos con la cintura.
 25. Manos en la cintura y cuerpo hacia adelante, venga.
 - 26 Abajo/arriba 1..10.
 27. ¡Genial!
 28. Ahora vamos con las piernas. Venga, vamos a dar patadas
 29. 1..10.
- ...

50. Buenos chicos, lo habéis hecho muy bien. Gracias por colaborar. Espero veros otro día. ¡Adiós!

Como el resto de sesiones, los guiones de fisioterapia están adaptados al grupo donde se ejecuta. Ésta en concreto se realiza en el centro de día, donde la mayoría de los ancianos se encuentran en etapas tempranas de la enfermedad y son capaces de realizar más ejercicios. Hacerlo con el robot estimula a los pacientes, ya que realizan los ejercicios imitando al robot.

5

Experimentos

En este capítulo se explican los experimentos realizados para comprobar la validez del sistema. El capítulo está estructurado en dos secciones, en las cuales se presentan los resultados obtenidos desde dos puntos de vista distintos. En primer lugar se comentan los resultados tecnológicos. Estos resultados son los derivados de atender a las necesidades y peticiones de los terapeutas e innovar y proponer posibles mejoras. Actualmente se pueden realizar tres tipos de sesiones: sesiones estructuradas por guiones, sesiones no estructuradas y otras actividades terapéuticas.

En segundo lugar, se comentan los resultados médicos obtenidos en los pacientes participantes en las terapias. Estos resultados, como es lógico, no han sido producidos por nosotros, sino por los investigadores de la Fundación CIEN responsables de las investigaciones en robotherapy, aunque su aportación demuestra los efectos de este trabajo en este campo.

Los experimentos que se han realizado para validar el sistema no son los típicos que se efectúan en un PFC, en donde se verifica que el sistema se comporta correctamente. En su lugar todas las pruebas y esfuerzos se han centrado en la validación del sistema por parte de los usuarios, los terapeutas encargados de realizar las sesiones de terapia con el robot. La realimentación por parte del personal médico de la investigación ha sido continua desde el primer prototipo, para conseguir el mayor grado de aceptación por parte de estos.

5.1. Resultados tecnológicos

En esta sección se explica el uso del software creado en una sesión real. Realizar una sesión de robotherapy es una actividad compleja en la que interactúan entre

sí varios componentes: el robot, un ordenador y el Wiimote. El objetivo del proyecto era juntar todos estos elementos de una manera simple, para que puedan ser utilizados por cualquier persona sin conocimientos informáticos. Para poder hacer una sesión de terapia con el robot hay que tener en cuenta una serie de factores:

- **Entorno.** El lugar donde se ejecutan las terapias es importante. Lo ideal es que se realice en habitaciones espaciosas, lo suficientemente amplias como para colocar a todos los pacientes en círculo, o alrededor del robot, sin que nada ni nadie les obstaculice la visión de éste.



Figura 5.1: Disposición de los pacientes en una sesión de roboterapia.

- **Participantes.** Los pacientes deben estar sentados, ya que su débil estado físico les impide estar el tiempo que dura la sesión de pie. De hecho, muchos de ellos no son capaces de mantenerse en pie ni de caminar por ellos mismo y necesitan ayuda. El espacio central del círculo de los pacientes debe ser lo suficientemente grande como para permitir al robot caminar por su interior libremente, de forma que pueda acercarse a ellos para llamar su atención. El interior del círculo no debe contener obstáculos para evitar que el robot se caiga. En caso de una caída, el robot se levanta sólo y no genera ningún problema, pero hay más posibilidades de que se rompa algún motor que no permita terminar la sesión. Por el mismo motivo, para evitar que se rompa, el robot debe estar colocado en el suelo y no

encima de una mesa o una superficie en altura, ya que una caída desde ahí arriba haría muy probable que se rompiera el robot.

- **Infraestructura.** La infraestructura tecnológica utilizada en las terapias es bastante simple. Sólo es necesario la instalación de un punto de acceso inalámbrico. Este punto de acceso sirve para realizar la conexión entre la aplicación y el robot, que se realiza por la red Wifi. En caso de querer utilizar el Wiimote para teleoperar al robot durante la sesión, es necesario que el portátil esté provisto de un adaptador bluetooth. Hay que tener en cuenta que la tecnología bluetooth tiene un alcance máximo de aproximadamente 10 metros. Esta es la distancia máxima que puede separarse el terapeuta del portátil, ya que la conexión bluetooth se realiza entre éste y el Wiimote. A pesar de que el alcance no es muy grande, es suficiente para realizar las terapias en la fundación.
- **Precauciones.** Las terapias actualmente se realizan en una residencia de ancianos situada en el mismo centro donde se encuentra la Fundación CIEN, el Centro Alzheimer Fundación Reina Sofía¹. Se trata de un complejo asistencial para personas mayores afectadas por la enfermedad de Alzheimer. Aunque hasta la fecha sólo se han realizado terapias en este lugar, otras residencias y centros hospitalarios son lugares potenciales donde se pueden ejecutar éstas. Debido a que la comunicación es totalmente inalámbrica, es necesario comprobar que en las cercanías del lugar donde se ejecuten las terapias no existan máquinas o dispositivos que se puedan ver afectados por las ondas generadas por estos aparatos, o por el contrario, que la red inalámbrica generada por el punto de acceso tenga demasiadas interferencias y se haga imposible la conexión con el robot. En el caso de conexión bluetooth entre el ordenador y el Wiimote puede ocurrir lo mismo.
- **Conducir una sesión.** Las sesiones siempre están dirigidas por un terapeuta. El robot es simplemente una herramienta que ayuda al terapeuta a guiar y estimular a los pacientes en los distintos juegos y ejercicios. Cuando comienzan las sesiones, el terapeuta siempre presenta al robot para ver si se acuerdan de él. A pesar de los esfuerzo del terapeuta por captar la atención de los pacientes sobre el robot, la hora del día en la que se realiza la terapia influye bastante en los resultados. Por las mañanas, que es cuando hemos realizado las sesiones con el robot, suelen estar más dormidos que por las tardes. Esto es debido en gran parte

¹<http://www.centroalzheimer.es>

a los efectos secundarios producidos por la medicación que siguen, que son más visibles durante la mañana. Aun así, hay que ser sistemáticos en las horas para poder obtener resultados objetivos.

- **Voz del robot.** En un principio se utilizaba un sintetizador de voz que reproducía texto con una voz. Se vio que este mecanismo no era útil en este contexto porque los enfermos no entendían bien lo que decía el robot y la voz les resultaba extraña, ya que no están acostumbrados a las nuevas tecnologías. Como alternativa se propuso, y aún se sigue haciendo de esta manera, grabar los textos dichos por uno de los terapeutas. De esta manera los textos se entienden mucho mejor.
- **Evaluación médica.** Para poder evaluar los resultados en la investigación médica, todas las sesiones se graban con dos cámaras de vídeo. Esto permite a los doctores de la fundación, por medio de una comisión evaluadora, analizar los vídeos y sacar conclusiones al término de la investigación.

Uno de los síntomas de la enfermedad de Alzheimer es la incapacidad de concentrarse en alguna tarea por un periodo de tiempo. Por eso las sesiones tienen una duración de unos 30-40 minutos. Cuanto más avanzada se encuentra la enfermedad, más difícil les resulta concentrarse. La posibilidad de mover al robot y acercarse a ellos les ayuda en este aspecto. Igual pasa cuando se fija la mirada del robot en la de los pacientes. La unión de estos dos factores ayuda a que las preguntas que realiza el robot tengan un carácter más personal, ya que puede realizarlas encarando el cuerpo al paciente y mirándole a los ojos. Esto produce la sensación de que el robot te habla personalmente y ayuda a la estimulación de éstos. A continuación se explican las distintas sesiones que se pueden realizar.

5.1.1. Sesiones estructuradas por guiones

Las sesiones estructuradas por guiones se realizan en los grupos considerados como leves o moderados. Los enfermos en estos grupos aún conservan algunas capacidades mentales y físicas. Los juegos o actividades que se realizan son sencillos y obligan a los pacientes a responder a preguntas sencillas, a relacionar objetos cotidianos entre sí, a realizar cálculos matemáticos básicos, a recordar refranes típicos o a cantar canciones populares. Todas las actividades están enfocadas a retrasar los efectos de la enfermedad de Alzheimer.

Como se ha comentado en la sección 4.4, existen tres tipos de sesiones: las sesiones de terapia ocupacional, las sesiones de musicoterapia y las sesiones de fisioterapia.

Todas las semanas se realizan dos sesiones, una sesión de terapia ocupacional o de musicoterapia y una de fisioterapia. Las primeras que hemos nombrado se van alternando una semana cada una.

Para realizar las sesiones estructuradas por un guión, el trabajo comienza mucho antes de efectuar la terapia en sí. Primero, los médicos y doctores de la fundación elaboran la sesión teniendo en cuenta el estado del grupo para el que se realiza. Luego hay que crear el guión que se ejecuta en el componente **Movie**. Esta tarea nos corresponde a nosotros. Y por último, después de haber realizado la sesión, los investigadores de la fundación evalúan la sesión. Hay que diferenciar entre evaluar los resultados médicos de las sesiones, que se realiza al finalizar todas las terapias analizando los vídeos grabados de éstas, y evaluar una sesión, en donde se buscan posibles errores que se hayan podido cometer en la elaboración del guión para subsanarlos de cara a las siguientes sesiones. En este caso, nos referimos a la evaluación de la sesión para encontrar errores. Este proceso, al igual que el desarrollo de la aplicación que hemos creado, se realiza en cada iteración. Se puede ver un diagrama temporal del diseño de una sesión en la figura 5.2.

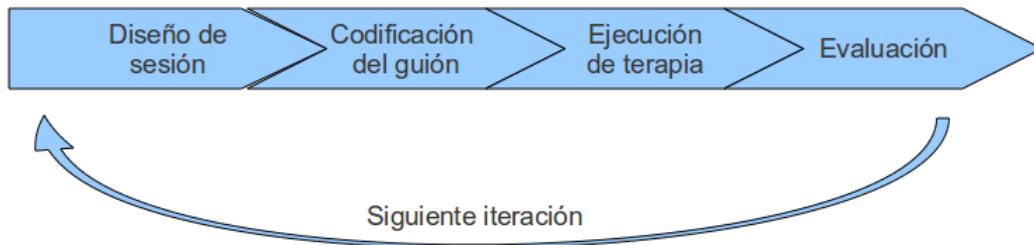


Figura 5.2: Diagrama temporal del diseño de una sesión de terapia.

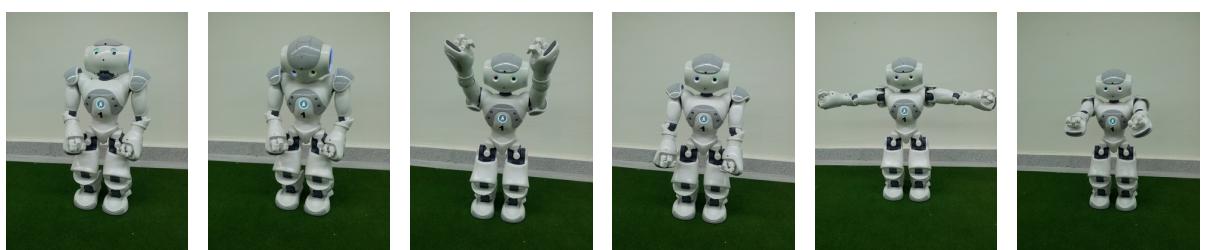
Cuando se ejecuta un guión, el robot puede ser teleoperado cuando se encuentra esperando a que se dé la orden para que se ejecute el siguiente comando. El terapeuta puede mover al robot por el círculo de pacientes, mover la cabeza para mirarlos o realizar movimientos para animarles a contestar. Se ha comprobado que la participación por parte de los pacientes es mayor cuando se les acerca el robot y les mira, por lo que los terapeutas, cada dos o tres preguntas mueven al robot por el círculo acercándose a los pacientes menos participativos. En la figura 5.3 se puede ver al robot mirando a uno de los pacientes durante un sesión de terapia para captar su atención.

En las sesiones de fisioterapia el robot realiza los mismos movimientos que deben ejecutar los pacientes. Mediante estos ejercicios se intenta que los ancianos muevan



Figura 5.3: El robot mirando a un paciente.

todo el cuerpo y no pierdan tanta movilidad. Los ejercicios comienzan moviendo la cabeza y recorren todas las articulaciones hasta los pies. En la secuencia de imágenes se pueden ver varios ejercicios que se ejecutan en una de las sesiones de fisioterapia que hemos implementado. Las figuras 5.4a y 5.4b corresponden a un ejercicio de mover arriba y abajo el cuello, las figuras 5.4c y 5.4d corresponden al ejercicio de subir y bajar los brazos estirados, y las figuras 5.4e y 5.4f corresponden al ejercicio de abrir y cerrar los brazos con ellos estirados.



(a) Cabeza arriba (b) Cabeza abajo (c) Brazos arriba (d) Brazos abajo (e) Abrir brazos (f) Cerrar brazos

Figura 5.4: Distintos ejercicios que se realizan en una sesión de fisioterapia.

De este proyecto, junto con otros proyectos en curso relacionados con las terapias de enfermos de Alzheimer se ha escrito el artículo incluido en el apéndice A, aún en proceso de revisión.

5.1.2. Sesiones no estructuradas

Las sesiones no estructuradas están pensadas para los grupos de pacientes más graves. Estos se encuentran en un estado que no son capaces de reaccionar a estímulos externos, y menos aún de seguir un guión. Para estos grupos se pensó que lo mejor era, directamente, teleoperar al robot y realizar las acciones que el terapeuta crea convenientes según reaccionen los enfermos. En la figura 5.5 se puede ver a una terapeuta teleoperando el robot mediante el Wiimote.



Figura 5.5: Terapeuta teleoperando el robot en una sesión.

Aunque no se disponga de un guión, estas sesiones también se preparan. Las sesiones están compuestas por varios sonidos cotidianos fáciles de identificar por los pacientes, como sonidos de animales o sonidos de ambiente. Los sonidos de ambiente son, por ejemplo, un despertador, una sirena de bomberos, un timbre, y más sonidos de este tipo. También disponemos de los nombres de los pacientes. Con los nombres y algunas

palabras y frases cortas, tal y como se explicó en 4.2.6, se pueden crear oraciones más complejas para saludar a los pacientes o para llamar su atención.

5.1.3. Otras actividades terapéuticas

Las dos actividades principales que se realizan en las terapias son las dos que acabamos de comentar: las sesiones estructurados por un guión y las no estructuradas. Pero el diseño que se ha realizado de la aplicación y del sistema completo permite realizar otras actividades terapéuticas fácilmente.

De vez en cuando, y con motivo de alguna fiesta en especial o fecha importante, el centro realiza actividades distintas de las habituales. En concreto, después de haber terminado las sesiones correspondientes a nuestra investigación, en Navidad, se organizó una sesión de villancicos con el robot. La sesión de villancicos estaba compuesta por villancicos clásicos como *Los peces en el río*, *Hacia Belén va una burra* o *La marimorena*.

La sesión estaba formada por distintos grupos de leves y moderados. Se tuvo que realizar en los pasillos de la fundación, porque tanta gente no cabía en ninguna sala. A los pacientes se les puso en círculo, como en las sesiones habituales, y se les dio un instrumento musical a cada uno de ellos. Los instrumentos eran panderetas, zambombas, palos chinos, maracas y, en general, instrumentos de percusión fáciles de tocar. Al robot se le disfrazó con un traje de Papá Noél (Figura 5.6) para darle un ambiente más navideño.

La sesión duró aproximadamente 50 minutos, en los que el robot cantaba todos los villancicos mientras bailaba y se movía por todo el interior del círculo, y los pacientes tocaban los instrumentos al ritmo de la música y cantaban las canciones. Los resultados obtenidos fueron muy buenos, tanto que uno de los investigadores de la Fundación CIEN responsables del proyecto, al conocer el tiempo que llevaban los pacientes cantando y tocando los instrumentos sin hacer ningún descanso, nos comentó que estaba impresionado de la respuesta que estaba teniendo la gente. Nos dijo que era muy difícil captar la atención de los enfermos y mantenerlos activos tanto tiempo, ya que les cuesta mucho concentrarse.



Figura 5.6: El robot disfrazado de Papá Noel.

5.2. Resultados médicos

Los resultados médicos de la investigación han sido evaluados por un equipo formado por personal de distintas universidades y centros de investigación médica. Los resultados derivados de este trabajo han dado pie a varios artículos. En el apéndice B se adjunta el póster presentado en un congreso médico en 2011. El póster publica los resultados obtenidos en el estudio piloto de roboterapia en pacientes con demencia moderada. Estos resultados se presentan porque son la evaluación del impacto del desarrollo realizado por este proyecto.

Como hemos comentado anteriormente, las terapias cognitivas y las sesiones de fisioterapia con el robot se han realizado dos días por semana, durante tres meses, en grupos de pacientes con demencia moderada. Durante el proyecto se han realizado sesiones con más grupos, pero los resultados no han sido publicados aún. En estas evaluaciones médicas se han mirado distintos aspectos relacionados con la enfermedad de Alzheimer, como la apatía, el deterioro general o la calidad de vida en estadíos tardíos de demencia.

Los grupos de pacientes evaluados en este estudio estaban divididos según el avance de la enfermedad medido en la escala GDS (Escala de deterioro global), que es una escala estandarizada que sirve para evaluar el estado de demencia de un paciente. Puede tomar valores entre 1, que significa ausencia de alteración cognitiva, hasta 7, que se tiene un defecto cognitivo muy grave. El 3,4 % de los pacientes se encuentran en GDS 3, el 24,1 % con GDS 4, el 41,4 % con GDS 5 y el 31 % con GDS 6 (Figura 5.7). La media de edad de los pacientes era de 86,2 años y el rango de edades estaba comprendido entre 74 y 100 años. El 83,34 % eran mujeres.

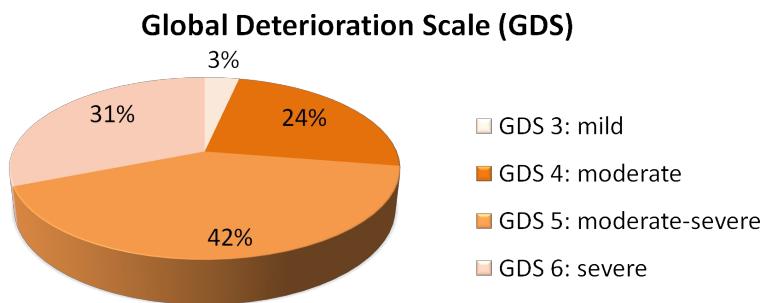


Figura 5.7: Muestra del estado de los pacientes participantes en la investigación medido en la escala de deterioro global (GDS).

Los resultados médicos que se muestran en la figura 5.8 son bastante prometedores. En ellos se comparan los resultados obtenidos en pacientes tratados con terapias tradicionales y pacientes tratados con roboterapia. Los resultados son visiblemente mejores en los pacientes tratados con el robot que sin él. En concreto, aspectos como la ansiedad, la irritabilidad o los comportamientos alborotadores durante la noche fueron los que tuvieron una mejora mayor.

Los resultados más significativos de esta investigación fue que la inquietud y la depresión de los pacientes, en general, mejoró. Las conclusiones de la investigación son positivas. Los síntomas neuropsiquiátricos y la apatía tendieron a mejorar después de la roboterapia en pacientes con demencia moderada.

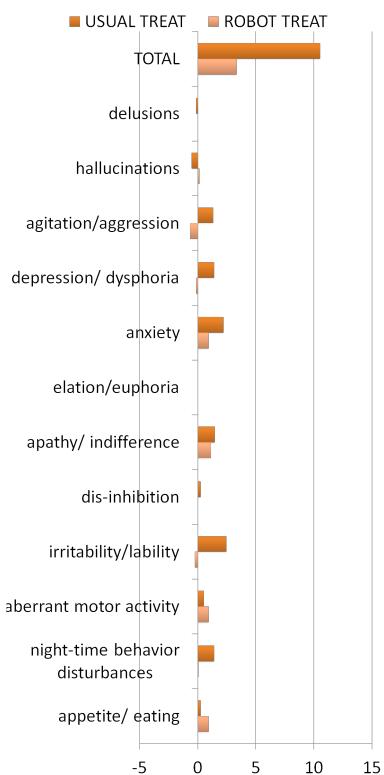


Figura 5.8: Resultados gráficos de la investigación médica.

Conclusiones y trabajos futuros

Una vez presentado el software que se ha desarrollado y la utilización del mismo en las sesiones de terapia, en este último capítulo se exponen las conclusiones obtenidas en el ámbito tecnológico. En último lugar se proponen una serie de ideas y herramientas aplicables tanto a la ejecución de las terapias como a la elaboración de las mismas.

6.1. Conclusiones

Para este proyecto fin de carrera se ha desarrollado una serie de herramientas de ayuda para manejar un robot en sesiones de terapia ocupacional con enfermos de Alzheimer, lo que se ha descrito como sesiones de roboterapia. Las herramientas son simples e intuitivas y permiten teleoperar al robot a la vez que se dirige una terapia. Además de una aplicación gráfica, se proponía implementar un método de control externo para facilitar el manejo del mismo.

Como conclusión general del proyecto se puede decir que se han cumplido satisfactoriamente los objetivos marcados en el capítulo 2. Las herramientas diseñadas e implementadas funcionan correctamente y han sido validadas, a través de muchas iteraciones y prototipos, por los terapeutas e investigadores de la Fundación CIEN. Las herramientas son sencillas de utilizar, y la interfaz gráfica es bastante intuitiva y no requiere de conocimientos informáticos para usarla. A continuación se comentan los subobjetivos en los que se dividió el proyecto para simplificar la elaboración del mismo:

- **Terapias.** La aplicación reproduce los guiones de las terapias durante una sesión y se han implementado las acciones que se proponían en un principio: cargar terapias, ejecutar la acción siguiente y reproducir la acción que se quiera. La implementación realizada está explicada en la sección 4.2.5, ha sido probada en las terapias y se ha visto que funciona correctamente. Se ha implementado la

funcionalidad mínima necesaria para reproducir un guión durante una sesión de terapia.

- **Teleoperar.** El terapeuta puede teleoperar al robot mediante un control intuitivo. Se han implementado las funcionalidades propuestas en un principio y, además, se han implementado algunas genuinas como la cola de reproducción de sonidos. Todas las funcionalidades implementadas han sido utilizadas y validadas por los terapeutas y validadas. Los diferentes módulos con los que se han resuelto estas funcionalidades están explicados en 4.2.3, 4.2.4 y 4.2.6.
- **Métodos de control auxiliares.** Se ha desarrollado un método de control externo que facilita el manejo del robot durante las terapias. El dispositivo elegido, el Wiimote, es inalámbrico, fácil de usar y cumple las condiciones impuestas. Se conecta por bluetooth a la aplicación y permite al terapeuta desplazarse alrededor del grupo donde se realice la terapia y, al mismo tiempo, controlar al robot y los guiones.
- **Integración.** Por último se han integrado todas estas funcionalidades dentro de una misma aplicación. Esta aplicación tiene una interfaz simple, que puede ser utilizada por personal médico que no tenga conocimientos informáticos avanzados. El resultado de este desarrollo es la aplicación CIEN. Con él, se completa la parte de programación del proyecto.

Es importante remarcar que el proyecto que se ha realizado no se centra únicamente en el diseño e implementación de herramientas para manejar al robot durante una terapia, es más que eso. En este proyecto nos hemos responsabilizado de la parte técnica de una investigación médica que quiere introducir a un robot como herramienta terapéutica para enfermos de Alzheimer. Esto conlleva no sólo programar las herramientas, sino que hay que hacerse cargo de muchas otras tareas. Hay que realizar una evaluación de las herramientas disponibles, para ver qué se puede reutilizar y qué funcionalidades exige una sesión de terapia. Hay que diseñar e implementar la aplicación gráfica. Hay que asistir a las terapias para probar la aplicación. Y por último, hay que evaluar las herramientas junto con los terapeutas y doctores responsables de las terapias. Pero el proceso no acaba ahí, tal y como se explicó en el segundo capítulo, el resultado de este proceso es solamente un prototipo, por lo que este procedimiento se repite semanalmente durante todo el tiempo que dura la investigación.

Siguiendo la línea marcada por los objetivos del proyecto, se impusieron una serie de requisitos que tenía que cumplir el producto final de la investigación. El lenguaje utilizado para la aplicación gráfica es Java. Ha sido implementada sobre un sistema GNU/Linux, en concreto sobre la distribución *Ubuntu 10.04 LTS*. La aplicación es simple e intuitiva. Ha sido diseñada y pensada para que la utilicen usuarios sin apenas conocimientos informáticos. El software que controla el robot es una versión de BICA. Y por último, la aplicación incorpora un dispositivo externo que facilita el manejo del robot aportándole al terapeuta mayor autonomía.

La conclusión personal del proyecto ha sido muy satisfactoria. La posibilidad de aplicar tecnología robótica en una labor social es muy gratificante. No sólo es la posibilidad de ver como las herramientas desarrolladas funcionan y son utilizadas por terceras personas, sino que además contribuye a mejorar la sociedad y a intentar mitigar los efectos de un mal que cada día afecta a más gente: la enfermedad de Alzheimer.

Otro punto del cual me siento muy orgulloso es el haber realizado como proyecto una investigación completa. No sólo ha consistido en desarrollar herramientas para que se *usen* en terapias y ahí termine el proyecto, sino que nos hemos encargado de todos los aspectos relacionados con las terapias: diseño de las herramientas, implementación de sesiones, desarrollo de las terapias junto con los terapeutas, evaluación de las terapias y de las herramientas con los terapeutas y con el tutor del proyecto, mantenimiento de todo el software empleado y muchas otras actividades.

Pero, sin duda alguna, de este proyecto me quedo con el día a día de las terapias. Ver las caras de alegría de los pacientes cuando ven a *Paquito*, así es como llaman al robot, produce mucha satisfacción, al igual que cuando ves los resultados médicos y, efectivamente, compruebas que el trabajo que estás invirtiendo sirve para algo más que para hacer un proyecto fin de carrera.

6.2. Trabajos futuros

El proyecto que hemos realizado forma parte de una investigación médica de mayor duración. Aunque, con el fin de cerrar el proyecto fin de carrera, hemos cerrado la parte de diseño e implementación en este punto para presentar los resultados obtenidos hasta ahora, ello no quiere decir que la investigación médica haya concluido también.

De hecho, ésta continúa y el grupo de Robótica de la universidad sigue colaborando con él, mejorando la parte técnica relativa al robot.

En este apartado se proponen una serie de mejoras a las funcionalidades del robot y de las herramientas, así como de alguna herramienta, que puede ser muy útil en este contexto de las terapias.

6.2.1. Mejoras relativas a las herramientas

En este apartado se proponen una serie de mejoras relativas a las herramientas con la intención de crear una segunda versión de ésta. Las mejoras propuestas son:

- Mostrar más información relativa al estado del robot; por ejemplo, el nivel de batería. También sería bueno mostrar mas información relativa al guión de una terapia.
- Otra mejora bastante interesante sería añadir la funcionalidad de descubrir servicios en una red local. Con esto, el encargado de la terapia con el robot no tendría que conocer ni la ip ni el nombre del robot, ni el puerto de conexión de BICA, lo que simplificaría enormemente la conexión con éste.

6.2.2. Mejoras relativas a los componentes de BICA

Las mejoras que se presentan a continuación son relativas a los componentes BICA ya existentes. También se proponen nuevos componentes que aportarían mayor autonomía al robot y mejorarían la calidad de las sesiones.

- Como acabamos de comentar, sería bueno mostrar más información relativa al estado del guión de la terapia que se está realizando. Esto afecta directamente al pseudo-lenguaje creado para la implementación de los guiones. Sería bueno poder agrupar los comandos de forma que se ejecuten grupos de comandos y no comandos sueltos. Esto nos permitiría tener varias acciones en un mismo grupo y tratarlo como una unidad, lo que simplificaría el desarrollo de los guiones.
- Un componente BICA que actualmente no existe y aportaría mayor autonomía al robot es un localizador de caras. Este componente se podría ejecutar en tiempos de inactividad después de haber formulado una pregunta. Esto automatizaría la tarea de centrar la mirada del robot en los pacientes para estimularles y animarles a que contesten.

- A este componente localizador de caras podría sumársele otro componente reconocedor de caras que pudiera diferenciar a los pacientes e, incluso, llamarles por su nombre. Esto reforzaría los lazos con el robot y les motivaría a ser más participativos en las sesiones.
- Otro componente relacionado con estos dos sería un localizador de sonidos. El robot sería capaz de localizar de donde proviene un sonido para mirar hacia la fuente de éste o, incluso, girar el cuerpo porque la fuente esté fuera de su alcance visual.

6.2.3. Herramientas propuestas

Para terminar, presentamos dos herramientas que podrían ayudar en el desarrollo de las terapias de una forma global.

- La primera herramienta es un editor visual de guiones. Esta herramienta permitiría crear y editar guiones, tarea bastante engorrosa cuando se trata de ficheros de más de 500 líneas.
- La segunda herramienta sería una versión de nuestra aplicación, pero programada para el sistema operativo Android. De esta manera se podría controlar al robot desde una tableta electrónica o incluso desde un teléfono móvil. Esto aportaría mayor autonomía al terapeuta.

Bibliografía

[Benítez Mejías, 2010] Raúl Benítez Mejías. Componente BICA de coreografías para robot NAO aplicado a terapias en enfermos de Alzheimer. Proyecto Fin de Carrera, Universidad Rey Juan Carlos, 2010.

[Breazeal and Scassellati, 1999] C. Breazeal and B. Scassellati. A context-dependent attention system for a social robot. *Proceedings of the Sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI99)*, pages 1146–1151, 1999.

[Breazeal, 2000] C. Breazeal. *Sociable Machines: Expressive Social Exchange Between Humans and Robots*. Sc.d. dissertation, Department of Electrical Engineering and Computer Science, MIT, 2000.

[ISO12207, 2008] ISO12207. Tecnología de la información - Procesos del ciclo de vida del software, 2008.

[Martín *et al.*, 2010] Francisco Martín, Jose María Cañas, Carlos Agüero, and Eduardo Perdices. Behavior-based Iterative Component Architecture for robotic applications with the Nao humanoid. In *Proceedings of WAF2010 XI Physical Agents Workshop*, pages 131–142, 2010.

[Shibata *et al.*, 2003] T. Shibata, K. Wada, and K. Tanie. Statistical analysis and comparison of questionnaire results of subjective evaluation of seal robot in japan and uk. *The 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 3152–3157, 2003.

[Shibata *et al.*, 2009] T. Shibata, K. Wada, Y. Ikeda, and S. Sabanovic. Cross-cultural studies on subjective evaluation of a seal robot. *Advanced Robotics* 23, pages 443–458, 2009.

[Sommerville, 2005] Ian Sommerville. *Ingeniería del Software*. Prentice Hall, 2005.

A

Apéndice A

RoboTherapy with Alzheimer patients

Francisco Martín, Carlos Agüero, José M. Cañas, Gonzalo Abella, Raul Benitez, Sergio Rivero, Pablo Martínez and Meritxell Valenti

Abstract—Humanoids have became a increasing focus of attention in robotics research in last years, specially in service and personal assistance robotics. This paper presents the application developed for humanoid robots in therapy of Alzheimer patients, as a cognitive stimulation tool. The behavior of the robot along the therapy sessions is visually programmed in a session script that allows music playing, physical movements (dancing, exercises...), speech synthesis and interaction with the human monitor. The application includes the control software onboard the robot and some tools like the visual script generator, a monitor to supervise the robot behavior along the sessions. Their impact on the patient's health has been studied. Experiments with real patients have been performed in collaboration with a neurological health medical center. Initial results show a light improvement in neuropsychiatric symptoms over other traditional therapy methods.

Index Terms—Social Robotics, Humanoid robot, Robot Therapy

I. INTRODUCTION

ONE field of growing interest in robotics are humanoids. Prototypes such as the Honda Asimo or the Fujitsu HOAP-3 are the basis for many research efforts, some of them designed to replicate human intelligence and maneuverability. Their appearance similar to people facilitates their acceptance and natural interaction with humans as a personal assistant in the field of service robotics, for instance. As a representative sample, the functionality achieved in the Asimo humanoid has progressed significantly in recent years, allowing running, climbing stairs, pushing carts, serve drinks, etc..

On other hand, neurodegenerative dementia is a disease that progressively deteriorates brain functionality. One of the most common symptoms of dementia is memory loss. Also, usually, patients lose the ability to solve problems or control their emotions and present changes in personality and normal behavior. Over time, people with dementia are unable to properly perform the basic activities of daily living such as maintaining personal hygiene or food. Estimates point that in 2016 there will be 26.6 million people worldwide with Alzheimer's disease, and this figure will be three times bigger by 2050. On that date, the Alzheimer will affect 1 in 85 people of the total world population. And 40% of them will be in an

Francisco Martín, Carlos Agüero, José M. Cañas, Gonzalo Abella, Raul Benitez and Sergio Rivero are with Rey Juan Carlos University .

E-mail: {fmartin, caguero, jmplaza}@gsyc.es, {abellagonzalo, raulbenitezmejias, serginho.river}@gmail.com

Pablo Martínez and Meritxell Valenti are with Centro Investigación Enfermedades Neurológicas.

E-mail: {pmartinez, mvalenti}@fundacioncien.es

advanced state of disease, requiring a level of care that involves high consumption of resources [1].

While there is no causal cure for the disease, palliative medication and nonpharmacological therapy are the only ways patients can improve symptoms and slow down its progression.

Nonpharmacological therapy focuses on strengthening the activities mentally, physically and emotionally. Such actions seek to maintain the functional capacity of the person, while ensuring her levels of quality of life and autonomy. Animal therapy has also shown good results, especially with elderly that live alone. However, it is not always possible. Sometimes the entrance of animals in elder residences it is not allowed due to health and safety reasons. Other times it is the cost of maintaining these animals and the care they need which precludes their presence in the residence. Another issue to consider is that the therapeutic interaction at the cognitive level needed in older people with dementia is not resolved with the presence of animals in the environment of the patient [2].

In this paper we describe the use of a humanoid robot as a cognitive stimulation tool in therapy of Alzheimer patients. Several software modules have been programmed and three types of robotherapy sessions have been developed: physiotherapy, music and logic-language sessions. They have been used with real patients.

The remainder of this paper is organized as follows. Second section presents some works with social robots and their use in dementia therapies. Third section explains all the software developed for this humanoid application, including some tools designed to visually program the robot behavior in the robotherapy sessions. The fourth section describes the experiment performed with real patients to measure the impact of this robotic tool on their health. Finally some conclusions are summarized.

II. RELATED WORKS

The interest in social robots is growing, as one of upcoming application fields of the next generation robots. For instance as game platforms [3], personal assistants, nursing robots [4] or assistive tools in rehabilitation [5].

In the past 5 years, several projects have been initiated with the therapeutic use of social robots [6] as reasonable substitutes for animal therapy in people with dementia. Robots do not involve the responsibility or the need for an animal facility and their sensors can respond to environmental changes (movements, sounds ...) simulating an interaction with the patient [7]. At the same time, they provide the opportunity to monitor patients and perform cognitive therapy, unlike animal therapy [8]. Other potential benefits of therapy with robots are that it has no secondary effects (like drug therapy) and does

not require specially trained personnel (as opposed to the other therapies such as music therapy, pet therapy, etc.).

The Paro robot with seal shape has been used in dementia therapies [9] with positive results.

Broekens et al published in 2009 [10] a systematic review analyzing the literature on the effects of social robots in the health care of the elderly, especially in the role of the company to the patient. It is noteworthy that all studies are after 2000, which indicates the novelty of this research area. Most studies have been conducted in Japan, Southeast Asia and the U.S. [11]. The main results of analysis of these studies are:

- Most of the elderly like robots.
- The shape and material of the robot influence the acceptance and the effect of the robots.
- Improving health by lowering stress levels (measuring stress hormones in urine) (Kyoko et al, 2002) and increased immune system response [12].
- Improvement of humor (through surveys and the evaluation of facial expressions)
- Decreased sense of loneliness (using scales measuring loneliness)
- Increased communication (measured by the frequency of contact with robots and family).
- Remember the past (especially with a robot as a baby).
- Some studies indicate an improvement in the scales of severity of dementia.

III. ROBOT SOFTWARE FOR ROBOTHERAPY

We have developed several software pieces for the use of humanoids in therapy. The robot behaviors in therapy sessions are described mostly as a sequence of basic movement, music or text playing and light turning on-off operations. A file format syntax has been developed to store these behavior descriptions, they are called *session scripts*. A programming framework, named BICA, was created to develop autonomous robot applications and it has been used for robotherapy. Some specific components inside BICA have been developed, like one that runs session scripts or other that provides access to robot lights from application software. In addition, some tools have also been created: a session script generator that allows an easy and visual “programming” of robot behavior in therapy sessions, and the session monitor tool that helps the human therapist to control the session progress. They are all described in this section.

A. BICA architecture

The software of our humanoid robot is organized with a behavior-based architecture. It is implemented in a component oriented software architecture, named Behavior-based Iterative Component Architecture (BICA) [13], programmed in C++ language. Components are independent computation units which periodically execute at a pre-configured frequency. Every component has an interface to modulate its execution and retrieve the result of the computation. Behaviors in BICA are defined by the activation of perception components and actuation components. Actuation components take movement decisions, send commands to the robot motors, or locomotion

system, or activate other actuation components. They run iteratively to periodically update their outputs. Perception components take data from robot sensors or other perception components and extract information. They basically provide information to the actuation components. The output of a perception component is refreshed periodically and can be read from many other components in the system.

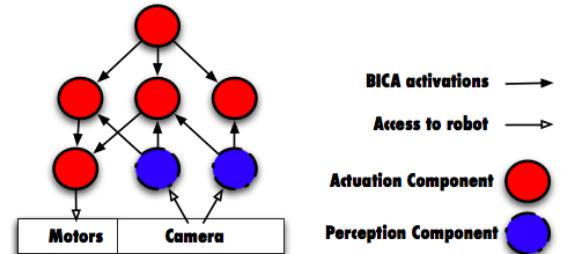


Fig. 1. Behavior in BICA composed by actuation and perception components

Not all the perception capabilities of the robot must be active at the same time, consuming computing resources. Even more, the whole set of behaviors that the robot is able to eventually perform is not suitable to deal with the current situation. Only a subset of behaviors and perception units are relevant to the current situation. In BICA each component is activable and deactivable at will, so it remains inactive until the situation demands it, when another component activates it. Typically an actuation component activates the perception components it requires and the child actuation components (if any) that implement its control decisions. This activation chain creates a dynamic component tree to cope with the robot’s current situation. Figure 1 shows an component activation tree with both perception and actuation components.

Beyond being a framework to integrate perceptive and actuation capabilities for autonomous behaviors, the BICA architecture also includes components that provide access to the basic sensors and actuators of the robot, a Hardware Abstraction Layer (HAL) for robot applications. BICA is built on top of Naoqi, the manufacturer middleware, and offers this HAL as a set of object method invocations. For instance, the Body component provides access to the motion capabilities, both the legged locomotion and the arm movements. The Perception component provides access to the camera images. The LED component provides access to several lights on the robot head and chest, which can be turned on and off from the application software. The Head component provides access to the neck of the humanoid, allowing to rotate the head horizontally or vertically. The Music component provides the capability of playing sound files. It has been specifically developed for the robotherapy application. The stories, questions, songs involved in therapy sessions are stored as sound files and played back using this BICA component.

The behavior based organization of the software of the robot in BICA allows a modular development of robot functionalities, with new components to accomplish new robot tasks or to perceive new stimuli associated. Beyond the humanoid behavior in the RoboTherapy application, this architecture

is also used for humanoid behavior programming in other scenarios like the RoboCup competition, where we developed several perceptive and actuation components for the SPL soccer player. Some actuation components were programmed as PID reactive controllers, and others as Finite State Machines, depending on the complexity of the behavior.

B. Session script generator

The robot behavior set required for robotherapy application is smaller than for other fully autonomous applications like the robotic soccer in RoboCup. In essence, the robot behaviors in therapy sessions are described mostly as a sequence of basic movement, music or text playing and light turning on-off operations. They are usually launched together as the robot may be playing a song and dancing at the same time, for example.

A file format syntax has been developed to store these behavior descriptions, they are called *session scripts*. It includes three basic instructions: move, music and light. Two or three basic operations of different type can be grouped together, in group instructions, to be executed simultaneously. The robot behavior is a sequence of these basic or group instructions. In the script some synchronization points can be included to wait for the termination of all the basic intructions inside a group. In addition, the wait instruction causes the robot to stop execution until the human therapist provides the continue order, striking one button in the robot body or using any monitor tool. This allows the human therapist to control the session progress.

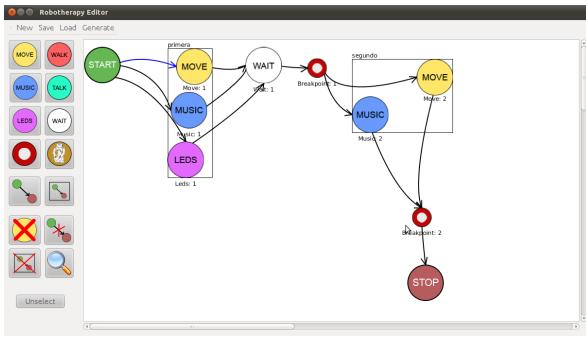


Fig. 2. Session script generator

The scripts are generated and stored in text files. Their contents are designed by medical doctors and health assistants, attending to the desired stimulation in the Alzheimer patients. At the beginning they were created directly editing text files. We have developed a graphical tool, the session script generator (Figure 2), that allows a fast a visual creation of these scripts.

C. Movie component

One specific component has been developed inside BICA for the robotherapy application, the *Movie* component. It accepts session scripts as input and runs the corresponding orders to robot motors and actuators, at the proper timing,

unfolding the specified robot behavior. It uses several HAL components available in BICA, like the *Body*, *LED*, *Music* and *Head* components, as shown in Figure 3.

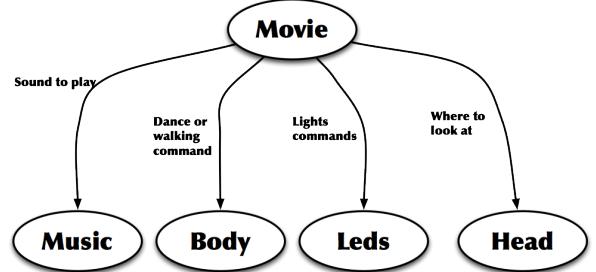


Fig. 3. Movie component in BICA runs session scripts on board the robot

For dancing the robot has previous descriptions of its movements. They are stored as single files following a given syntax, and can be referenced in the scripts run by the *Movie* component. Those movement files include the position of all robot joints and the right time for each one. For singing or a story telling the corresponding song and text are stored as sound files, and they can also be referenced in the session script.

D. Session monitor

The human therapist needs a way to communicate with the robot, start a robotherapy session, stop its execution while the patients answer one of the robot questions, repeat any script step, etc.. The basic interface with the real robot was the set of buttons on its feet and chest. At the beginning these buttons were used, but we developed two session monitor applications to allow an easier way to control the robot.

The first branch is an application running on a regular computer. It offers a Graphical User Interface with sliders, selectors, visual buttons, etc. as shown in Figure 4. It allows the teleoperation of the robot body and head, in order to approach the robot towards the patients at the beginning of the sessions, for instance. It can be operated from an external computer, or used in conjunction with a *wiimote*. This is more convenient than the regular display, keyboard and mouse configuration. In this case the session monitor reads the therapist orders from the *wiimote* buttons and accelerometers using bluetooth.

In order to improve the tool usability, a second branch has been created that runs mobile devices like Android tablet or smartphone (Figure 5). Using it no extra computer, nor *wiimote* is required, just the robot and a tablet. With it, the human therapist has full control of the progress of the therapeutic session.

Interaction between different BICA components is performed as method invocation of other component objects. An specific module has been developed for communication between BICA and software outside the robot, for instance the communication between these session monitor tools and the *Movie* component onboard the robot. This module and the session monitor use ICE as communication middleware.

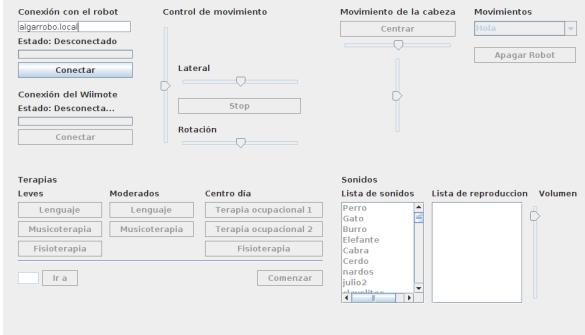


Fig. 4. Session monitor GUI

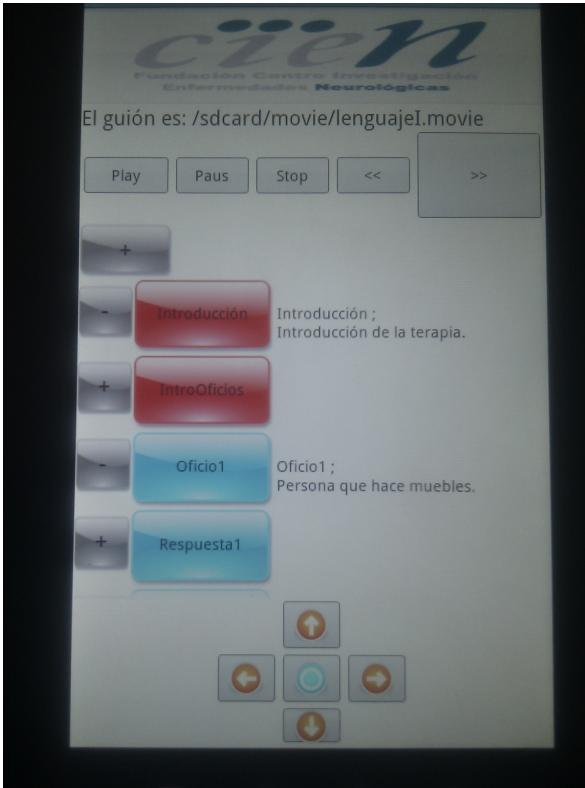


Fig. 5. Session monitor at a tablet

IV. EXPERIMENTS

The platform available for this project were initially the robot seal Paro, Aibo robot dog robot and humanoid Nao. The mobility robot seal Paro is mainly confined to his head (it moves the eyes) and produce sounds that simulate those of a baby seal. In the opinion of the psiconeurlogos involved in this evaluation, this robot is not effective in diseases of dementia, but in patients with diseases related to autism.

The robot dog Aibo and humanoid robot Nao offer much more functionality: they are both nice to look, walk, move his head, have lights and make sounds. In principle, psychologists conclude that cognitive activation is similar in both robots, but the larger size of humanoid makes it more visible than the robot dog. In addition, the humanoid robot is most useful

in physical therapy. It can perform the same exercises that patients, and the ability to mimic the movements of the robot by patients is a key factor.

From a technical point of view, the development of software for the robot seal Paro is complicated because it is a closed platform. Our group has extensive experience in the programming of the other two platforms in the RoboCup environment, and in both cases we could develop the work described in this paper. The difference on behalf of humanoid robot Nao was due to availability. Although we have several robots Aibo, and was a best-selling commercial robot currently its manufacturing has been discontinued since 2008. Currently our group is participating in the Robocup Nao humanoid robot with, and the architecture developed to control the robot in this environment, is also general enough to be suitable in the application of therapies. Before the session phase, the robot was presented to a group of 20 patients with differing severity of the disease. The robot was accepted by most of them: 80% showed a very positive attitude, 15% did not react and 5% (one person) showed aggression towards the robot (and also to therapists and psychologists). Most patients identified him as a child, and tried to talk to him.

A. Therapy sessions

The therapy sessions have been designed by therapists specialized in diseases of dementia. Our work focuses on developing the software so these sessions can be carried out with maximum fidelity to how they were conceived. We have developed all software components, sounds and movements that they have required, and we have proposed new tools they have evaluated.



Fig. 6. Real sessions with Alzheimer patients

We conducted two experimental phases. The first lasted 6 months and was performed in a single group (Figure 6) with involvement of the moderate-severe disease (Figure 7). Each week there was a session. Each session takes between 30 and 45 minutes and was recorded by three cameras. These recordings were later analyzed by experts to observe the reaction of patients. We designed four types of sessions: language, music therapy, storyteller and physiotherapy. In the language sessions, the robot asked about numbers, days of the week, riddles and questions specializing in cognitive

activation. In the music therapy session the robot combines basic questions related to popular songs. Physiotherapy session consisted in a set of exercises that the robot explained and then performed: movements of arms, head, torso and walking exercises. Storytelling session had no interaction with patients; the robot told a story, using movements and lights at a time.

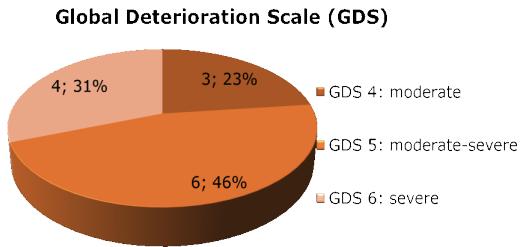


Fig. 7. Global deterioration Scale of the group involved the first phase

The conclusions of this first phase was that patients accepted well the robot and participate as actively in therapy sessions with robot as in the regular sessions. Clinical study using robots for cognitive therapy in dementia institutionalized patients was classified feasible. The second phase experiments depended on the success of the first and last took place during 1 year and the composition of the groups was different (Figure 8). There were three groups, each one with patients with different degrees of severity of the disease: mild, moderate and severe. The methodology was similar: 30-45 minutes each session and they were recorded and analyzed. Storytelling session was discarded to be clear that without interaction, all patients quickly lost attention.

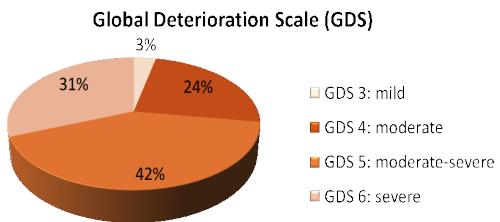


Fig. 8. Global deterioration Scale of the group involved the second phase

The medical results, showed in Figure 9, were promising. Neuropsychiatric symptoms and apathy tended to improve after robotherapy in patients with moderate dementia. The sessions for seriously ill patients can not be structured in sessions because they are unable to maintain attention long enough to be effective. For them we designed a set of activities to be carried the robot: Walking to a patient, "look" at the face of a patient, making sounds of animals ... These actions significantly improved the apathy of critically ill patients. Moreover, some of these activities (walking towards a patient and "look at him" to the face) were also applied during the sessions in the rest of the group, clearly improving the response. To carry out these activities, we improved tools to

be easily used by the therapist. In wiimote and tablet have been developed to see, during the experiments, the autonomy needs of therapists.

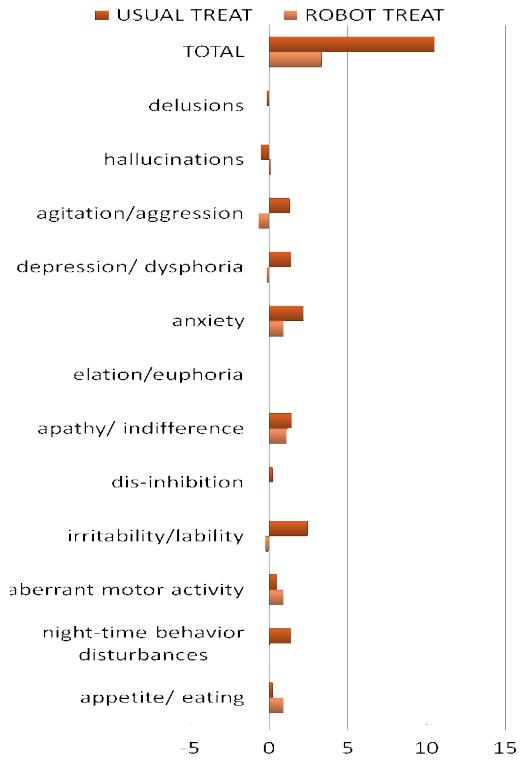


Fig. 9. Graphical results of the second phase

V. CONCLUSIONS

In this paper we have presented a cutting edge application of humanoid robots in therapy of Alzheimer patients, as a new cognitive stimulation tool. They help to slow down the increasing impairment typical of this kind of dementia.

We have developed some software pieces to support this application. First, a software architecture (named BICA) to integrate all robot perceptive and actuation capabilities. Second, a software module helps to visually generate "session scripts". These session scripts are simple descriptions of robot behavior sequence along the therapeutic sessions, they involve the music playing, movement and light generation capabilities onboard the humanoid. They have been created with the knowledge and support of medical experts and are stored in single files. Third, a software module inside BICA runs the session scripts on the real robot. Fourth, a monitor module allows the human therapist to control the script execution, proceeding with the next behavior, repeating, etc. and so modulating the session development. Two different monitors have been developed, one running on a regular PC and another one running on an Android tablet. The use of a wiimote has also been explored.

Three kind of sessions have been prepared and performed: music therapy, physiotherapy and logic-language therapy. In music sessions the robot plays some songs from the years

when the patients were young, trying to touch their affective and feeling stimulation. In physiotherapy sessions the robot performs several physical exercises with the intention of being repeated by the human patients. Logic-language therapy is based on several simple questions to cognitive stimulate the patient responses.

The preliminar results on real patients with moderate dementia are promising. Their neurophyschiatric symptoms have improved over those of patients following classic therapy methods. Surprisingly the robots capture elder attention due to its human shape, their movement and music capabilities.

We are working on extending the direct interaction between the patients and the humanoid. For instance, the real patient showing colored cards to answer to questions done by the humanoid. Also we are programming the robot with more autonomous behaviors like face tracking or people following.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the project S2009/DPI-1559, RoboCity2030-II, from the Comunidad de Madrid, by the project PI10/02567 from the Spanish Ministry of Science and Innovation and project 231/2011 from IMSERSO.

REFERENCES

- [1] A. Tapus, C. Tapus, and M. Mataric, "The use of socially assistive robots in the design of intelligent cognitive therapies for people with dementia," in *Proceedings of the International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, Kyoto, Japan, jun 2009.
- [2] G. Anerdi, A. Greco, L. Odetti, and G. Rodriguez, "An animaloid robot as a cognitive stimulator to support elders with cognitive impairments: preliminary requirements," in *HCP-2008-Third International Conference on human centered processes*, 2008, pp. 81–91.
- [3] V. Gonzalez, A. Ramey, F. Alonso, A. Castro-Gonzlez, and M. Salichs, "Maggie: A social robot as a gaming platform," pp. 371–381, 2011.
- [4] J. Pineau, M. Montemerlo, N. Roy, S. Thrun, and M. Pollack, "Towards robotic assistants in nursing homes: challenges and results," pp. 271–281, 2003.
- [5] A. Jardn, J. Vtore, S. Martnez, A. Gimnez, and C. Balaguer, "Personal autonomy rehabilitation in home environments by a portable assistive robot," pp. 1–10, 2011.
- [6] K. Wada, T. Shibata, T. Musha, and S. Kimura, "Robot therapy for elders affected by dementia: using personal robots for pleasure and relaxation," pp. 53–60, july 2008.
- [7] T. T. et al., "Is an entertainment robot useful in the care of elderly people with severe dementia?" pp. 83–85, 2004.
- [8] S. Lauriks, A. Reinersmann, H. Van der Roest, F. Meiland, R. Davies, F. Moelaert, M. Mulvenna, C. Nugent, and R. Dres, "Review of ict-based services for identified unmet needs in people with dementia," pp. 223–246, 2007.
- [9] K. Wada, T. Shibata, T. Musha, and S. Kimura, "Effects of robot therapy for demented patients evaluated by eeg," in *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS-2005)*, 2005, pp. 1552–1557.
- [10] J. Broekens, M. Heerink, and H. Rosendal, "Assistive social robots in elderly care: a review," pp. 94–103, 2009.
- [11] T. Shibata, K. Wada, Y. Ikeda, and S. Sabanovic, "Cross-cultural studies on subjective evaluation of a seal robot," pp. 443–458, 2009.
- [12] K. Wada and T. Shibata, "Social effects of robot therapy in a care house -change of social network of the residents for one year," 2009.
- [13] F. Martín, C. Agüero, J. M. Canas, and E. Perdices, "Humanoid soccer player design," in *Robot Soccer*, V. Papic, Ed. INTECH, 2010, pp. 67–100.
- [14] J. Gorostiza and M. Salichs, "End-user programming of a social robot by dialog," pp. 1102–1114, 2011.
- [15] E. Williams and R. Jenkins, "Dog visitation therapy in dementia care: a literature review," pp. 31–5, 2008.
- [16] S. Filan and R. Llewellyn-Jones, "Animal-assisted therapy for dementia: a review of the literature," pp. 597–611, 2006.
- [17] A. Libin and J. Cohen-Mansfield, "Therapeutic robocat for nursing home residents with dementia: preliminary inquiry," pp. 111–116, 2004.
- [18] N. Richeson, "Effects of animal-assisted therapy on agitated behaviors and social interactions of older adults with dementia," pp. 353–358, 2003.
- [19] B. McCabe, M. Baun, D. Speich, and S. Agrawal, "Resident dog in the alzheimer's special care unit," pp. 684–696, 2002.
- [20] S. Kyoko, S. Miki, Y. Hiroe, N. Shinobu, and M. Chieko, "Change in the concentration of salivary iga by contact of elderly subjects with a pet robot," pp. 251–254, 2002.
- [21] K. L. Greer, K. A. Pustay, T. C. Zaun, and P. Coppins, "A comparison of the effects of toys versus live animals on the communication of patients with dementia of the alzheimers type," pp. 157–182, 2001.
- [22] M. Kanamori, M. Suzuki, K. Yamamoto, M. Kanda, Y. Matsui, E. Kojima, H. Fukawa, T. Sugita, and H. Oshiro, "A day care program and evaluation of animal-assisted therapy (aat) for the elderly with senile dementia," pp. 234–239, 2001.
- [23] M. Churchill, J. Safaoui, B. McCabe, and M. Baun, "Using a therapy dog to alleviate the agitation and desocialization of people with alzheimer's disease," pp. 16–22, 1999.

\mathcal{B}

Apéndice B

ROBOTHERAPY IN moderate DEMENTIA: pilot study

Meritxell Valentí ¹, Francisco Martín ², Beatriz León ¹, José María Cañas Plaza ², Luis Agüera ^{1,3}, Isabel Ramos ¹, Javier Olazarán Rodríguez ¹, Pablo Martínez-Martín ^{1,4} and the Multidisciplinary Support Unit ^{1,2}

1. Alzheimer Disease Research Unit, CIEN Foundation-Reina Sofía Foundation, Carlos III Institute of Health, Alzheimer Center Reina Sofía Foundation. Madrid.

2. Robotics Laboratory, University Rey Juan Carlos. Madrid.

3. Consortium for Biomedical Research in Mental Health (CIBERSAM)

4. Consortium for Biomedical Research in Neurodegenerative Diseases (CIBERNED)

OBJECTIVE

- Robots may help in therapy of patients with dementia.
- Present study describes the early results of a pilot study using robots for cognitive therapy in institutionalized patients with moderate dementia.

METHODS

Cognitive therapy and physiotherapy sessions, 2 days/week during 3 months in two groups of patients with moderate dementia: conventional therapy (n=15) vs. therapy with a humanoid robot (n=15). Cognitive therapy included music therapy, recreational activities and language sessions. Evaluation at baseline and follow-up was carried out with Global Deterioration Scale (GDS), Neuropsychiatric Inventory (NPI), Apathy Scale for Institutionalized Patients with Dementia (APADEM-NH) and Quality of Life in Late-Stage Dementia Scale (QUALID). Blood pressure, heart rate and weight were recorded.



RESULTS

Table 1

VARIABLE	USUAL TREAT (mean of change ± SD)	ROBOT TREAT (mean of change ± SD)	P
NPI TOTAL	10.53 ± 16.56	3.33 ± 14.52	0.16
DELUSIONS	-0.13 ± 1.59	0 ± 1.51	0.67
HALLUCINATIONS	-0.53 ± 1.18	0.13 ± 0.51	0.04
AGITATION/AGGRESSION	1.33 ± 2.55	-0.66 ± 1.44	0.02
DEPRESSION/ DYSPHORIA	1.4 ± 2.94	-0.13 ± 1.18	0.04
ANXIETY	2.2 ± 2.88	0.93 ± 3.45	0.25
ELATION/EUPHORIA	0 ± 0	0 ± 0	-
APATHY/ INDIFFERENCE	1.46 ± 2.66	1.13 ± 4.15	1
DIS-INHIBITION	0.26 ± 1.03	0 ± 0	0.31
IRRITABILITY/LABILITY	2.46 ± 3.85	-0.26 ± 2.31	0.08
ABERRANT MOTOR ACTIVITY	0.53 ± 2.44	0.93 ± 2.12	0.53
NIGHT-TIME BEHAVIOR DISTURBANCES	1.4 ± 3.01	0.06 ± 4.41	0.10
APPETITE/ EATING	0.26 ± 2.73	0.93 ± 3.76	0.55

Figure 2

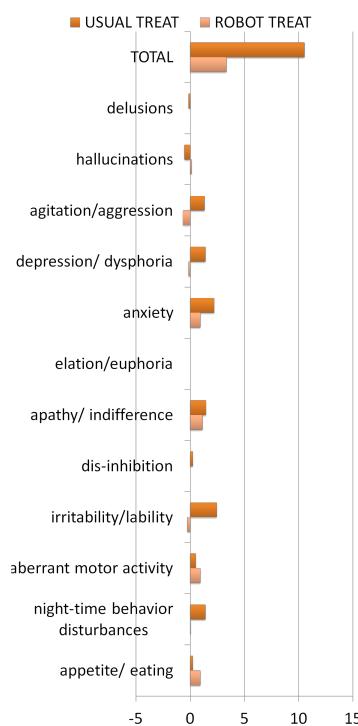
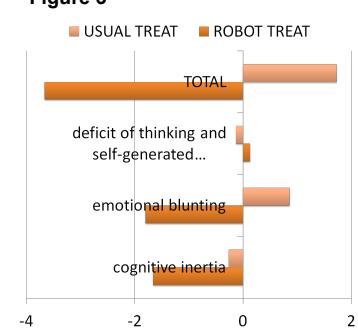


Table 2

VARIABLE	USUAL TREAT (mean of change ± SD)	ROBOT TREAT (mean of change ± SD)	P
TOTAL	1.73 ± 14.92	-3.66 ± 15.69	0.54
DEFICIT OF THINKING AND SELF-GENERATED BEHAVIORS	-0.13 ± 0.63	0.13 ± 0.63	0.25
EMOTIONAL BLUNTING	0.86 ± 3.92	-1.8 ± 4.31	0.09
COGNITIVE INERTIA	-0.26 ± 3.76	-1.66 ± 6.16	0.83

Figure 3



CONCLUSIONS

Neuropsychiatric symptoms and apathy tended to improve after robotherapy in patients with moderate dementia.

CONTACT AND GRANT CODES

Meritxell Valentí Soler **email:** mvalenti@fundacioncien.es **address:** Alzheimer Center Reina Sofía Foundation . 5 Valderrebollo street 28.031 Madrid Spain

FIS Code: PI10/02567

Figure 1

