
CIS2010CP01

RES-PwA: Sistema asistencial para el soporte emocional de personas con Alzheimer utilizando al robot Pepper.

Brayan Ricardo García Morales
María Fernanda Garcés Cala
Juan Sebastián León Suarez
Juan Diego Osorio Hernández

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
BOGOTÁ, D.C.
2020

CIS2010CP01

RES-PwA: Sistema asistencial para el soporte emocional de personas con Alzheimer utilizando al robot Pepper.

Autor(es):

María Fernanda Garcés Cala
Brayan Ricardo García Morales
Juan Sebastián León Suarez
Juan Diego Osorio Hernández

**UNDERGRADUATE FINAL PROJECT REPORT PERFORMED IN ORDER
TO ACCOMPLISH ONE OF THE REQUIREMENTS FOR THE SYSTEMS
ENGINEERING DEGREE**

Director

Ing. Enrique González Guerrero PhD

Jurados del Trabajo de Grado

Ing. Julio Cesar Bustacara Medina PhD

Ing. Eduardo Andrés Gerlein Reyes

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
BOGOTÁ, D.C.
Junio, 2021

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA DE SISTEMAS**

Rector Pontificia Universidad Javeriana

Jorge Humberto Peláez Piedrahita, S.J.

Decano Facultad de Ingeniería

Ingeniero Lope Hugo Barrero Solano

Director de la Carrera de Ingeniería de Sistemas

Ingeniera Alexandra Pomares Quimbaya

Director Departamento de Ingeniería de Sistemas

Ingeniero Efraín Ortiz Pabón

Artículo 23 de la Resolución No. 1 de junio de 1946

“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vean en ellos el anhelo de buscar la verdad y la Justicia”

AGRADECIMIENTOS

Brayan Ricardo García Morales: Gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mí familia, en un momento en el que es un privilegio tenerla cerca. Agradezco por cada decisión y proyecto en los que me ha dado la sabiduría, paciencia y fortaleza para afrontar cada obstáculo.

A mí familia, por la motivación que me dieron para seguir adelante, por la educación, cada consejo y enseñanza que me han dado, y por el apoyo incondicional que siempre me han brindado.

A mis compañeros, por el esfuerzo inmenso que hemos hecho, todo el tiempo que compartimos, y el proyecto inconmensurable que desarrollamos, que nos ha hecho fortalecer lazos que ojalá persistan en el futuro.

Al Dr. Carlos Cano y la Dra. Paola Suarez, los cuales fueron de vital ayuda en el desarrollo de este proyecto, brindándonos una ayuda incondicional para el progreso e implementación de este trabajo.

Agradezco especialmente a Daniela Libreros, quién aparte de ser una amiga muy especial, me motivó a seguir cuando las cosas se estaban poniendo duras. Además, de siempre estirar su mano para ayudar en lo que se pudiera.

Por último, agradecerles a todas las personas que hicieron que este trabajo fuera posible, a nuestro director, quién logró salir victorioso del COVID, y nos ha dado ese apoyo y guía en este proceso que con cada obstáculo nos hizo crecer como personas.

María Fernanda Garcés Cala: En primer lugar, quiero agradecer a mis papás, quienes, a pesar de la distancia, siempre me brindaron palabras de ánimo y consejos cuando más lo necesitaba permitiéndome culminar este proyecto y mi carrera universitaria satisfactoriamente. De igual manera, a mi hermana quien compartió parte de este proceso conmigo y lograba hacer que mis días fueran más alegres. Gracias por su acompañamiento y amor incondicional.

También a mis mejores amigas, quienes siempre me apoyaron y motivaron a seguir adelante en momentos donde creía no poder más. A mi compañero de proyectos que con el paso del tiempo se convirtió en mi mejor amigo y quien desde el primer día me hizo sentir como en casa. Les agradezco por siempre motivarme y creer en mí.

A los profesores que me ayudaron y guiaron durante mi vida universitaria, especialmente a Angela Carrillo y Enrique González.

Por último, a mis compañeros, Juan, Oso y Brayan con quienes compartí este periodo de aprendizajes y grandes retos. Gracias por su esfuerzo y dedicación, fue por esto que logramos un gran proyecto.

Juan Sebastián León Suárez: Quiero empezar agradeciendo a Dios, por Su compañía a lo largo de este proceso de crecimiento, que no ha sido únicamente de índole académico, sino personal. Así mismo, deseo reconocer el esfuerzo de mis padres y de mi hermana al brindarme apoyo constante y amor ilimitado. Sus lecciones han marcado mi vida y decido honrarlos por eso y más.

Agradezco a mis abuelos por ser la inspiración para este proyecto, que finalmente es solo una pequeña retribución para todo lo que ellos me han brindado. A mi compañera desde el primer día de la universidad le deseo todo lo mejor y le agradezco por aguantar mis excentricidades y defectos. Agradezco a mis compañeros de tesis, Brayan, Mafe y Oso, quienes se volvieron parte de mi familia y lucharon hasta el final para culminar este proyecto. Agradezco a la Manada y a mi amiga María Paula por su apoyo y cariño oportuno,

A los profesores German Chavarro, Angela Carrillo y Enrique González les agradezco por su guía incondicional y por su disposición en todo momento, su ética de trabajo me ha retado a mejorar diariamente. A los neojaverianos que tuve la oportunidad de apoyar y formar durante mi estancia en la universidad, les agradezco por recordarme que hay una vida más allá de la academia; estoy y estaré siempre orgulloso de ustedes.

Juan Diego Osorio Hernández: Quiero agradecerle primero que todo a mi familia, por estar siempre junto a mí, por ser el pilar más grande en mi formación tanto profesional como personal, son la razón de mi vida y el motivo por el cual siempre doy lo mejor de mí.

Agradezco a mis compañeros por este grandísimo esfuerzo, por no rendirse nunca y seguir siempre trabajando con gran empeño y dedicación a pesar de las adversidades. Cada sonrisa, broma, comentario y palabra de ánimo quedará siempre en mi memoria. Le agradezco a la vida por permitirme conocerlos y considerarlos parte de mi familia.

A los profesores Enrique Gonzales, Efraín Ortiz y Cesar Julio Bustacara, les agradezco por su dedicación y guía, cada uno me enseñó no solamente a ser un profesional, sino también el arte de ser persona y de brindarle lo mejor de nosotros a la sociedad. Jamás los olvidaré.

Finalmente, gracias a todas aquellas personas que están luchando actualmente por sus vidas, no solamente en una camilla de UCI, también los que ponen su existencia al frente para dignificar el pueblo colombiano. Le agradezco todas aquellas personas que ya no se encuentran con nosotros, que tuvieron que partir antes de lo esperado, siempre seguirán en nuestros corazones. Este trabajo es para ustedes.

CONTENIDO

I-	INTRODUCCIÓN	2
II-	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	3
1.	Problema	3
1.1	Contexto del Problema.....	3
1.2	Formulación del Problema	4
1.3	Propuesta de Solución.....	7
1.4	Justificación de la Solución.....	9
2	Descripción del Proyecto	11
2.1	Objetivo General	11
2.2	Objetivos Específicos.....	11
2.3	Entregables, Estándares y Justificación	11
III-	CONTEXTO DEL PROYECTO	13
3	Marco Teórico.....	13
3.1	PwD (Person with Dementia) y PwA (Person with Alzheimer)	13
3.2	Interacción humano robot	14
3.3	Robots de asistencia social (SARs).....	15
3.4	Personalización y Perfil del Usuario.....	15
3.5	Entretenimiento para la salud del PwA.....	16
3.6	Soporte emocional	17
3.7	Agentes Racionales	19
4	Análisis de Contexto	22
4.1	Trabajos Relacionados	22
4.2	Tabla de Comparación de alternativas	26
IV-	ANÁLISIS DEL PROBLEMA	29

5	Especificación Funcional	29
5.1	Diagrama de Casos de Uso	29
5.2	Diagramas de procesos.....	30
6	Metas del Sistema BDI-CHA.....	31
7	Requerimientos	32
8	Restricciones	33
V-	DISEÑO DE LA SOLUCIÓN	34
9	Modelo Entidad-Relación	34
10	Arquitectura	35
10.1	Vista lógica	35
10.2	Vista de Implementación	38
VI-	DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	40
11	Metodología	40
11.1	Fase de comprensión del problema	40
11.2	Fase de creación, diseño e integración de módulos	41
11.3	Fase de Implementación.....	41
11.4	Fase de Aceptación	41
12	Implementación.....	41
12.1	Desarrollo del módulo Agent-RESPwA.	42
12.2	Desarrollo del módulo Pepper Utilities.....	48
12.2.1	Funcionalidad de Diálogo	49
12.3	Integración entre el módulo Agent-RESPwA y el módulo Pepper-RESPwA.	50
VII-	RESULTADOS.....	51
13	Pruebas Unitarias	52
14	Pruebas de Integración	52

15 Pruebas de Sistema53

16 Pruebas de Validación con Expertos.....53

VIII- CONCLUSIONES59

17 Análisis de impacto del proyecto59

18 Conclusiones60

19 Trabajo Futuro61

IX- REFERENCIAS.....63

X- APÉNDICES.....74

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Robot Pepper.....	9
Ilustración 2. Estados placenteros y displacenteros	19
Ilustración 3. Diagrama de Casos de Uso	29
Ilustración 4. Diagrama BPMN Estimulación musical	30
Ilustración 5. Diagrama BPMN Cuentería.....	31
Ilustración 6. Metas del sistema.....	32
Ilustración 7. Modelo entidad-relación del perfil del usuario	35
Ilustración 8. Diagrama de Overview Arquitectural	36
Ilustración 9. Diagrama de Comunicación entre agentes.....	38
Ilustración 10. Vista de Paquetes	39
Ilustración 11. Fases metodológicas RES-PwA.....	40
Ilustración 12. Tópico Emoción Positiva.....	49
Ilustración 13. JSON del Agente RES-PwA al Robot	50
Ilustración 14. JSON del Robot al Agente RES-PwA	50

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de Selección para oportunidades	6
Tabla 2. Escala FAST	7
Tabla 3. Entregables de tesis.....	12
Tabla 4. Procesos BDI-CHA.....	21
Tabla 5. Ejes principales del TG.....	26
Tabla 6. Trabajos relacionados	28
Tabla 7. Priorización de los Casos de Uso.....	30
Tabla 8. Requisitos relevantes para RES-PwA.....	32
Tabla 9. Restricciones	33
Tabla 10. Componentes BESA	38
Tabla 11. Paquetes RES-PwA.....	39
Tabla 12. Creencias del Agente RobotAgent BDI.....	43
Tabla 13. Eventos Emocionales de Origen Interactivo.....	44
Tabla 14. Parámetros Emocionales.....	45
Tabla 15. Atributos con modulación Emocional	45
Tabla 16. Escala emocional	46
Tabla 17. Modelo basado en reglas CRISP.....	47
Tabla 18. Valores de retroalimentación	47
Tabla 19. Tópicos RES-PwA.....	50
Tabla 20. Especificación de las pruebas	52
Tabla 21. Pruebas Unitarias	52
Tabla 22. Pruebas de Integración.....	52
Tabla 23. Pruebas de sistema	53
Tabla 24. Distribución de los expertos.....	53
Tabla 25. Casos de Estudio	54

Tabla 26. Resultados Preguntas en Común.....	55
Tabla 27. Resultados Preguntas Geriatria	55
Tabla 28. Resultados Preguntas Psicología.....	56
Tabla 29. Resultados Preguntas Cuidador	57
Tabla 30. Resultados Preguntas Interacción Hombre-Máquina.....	58

RESUMEN

El Alzheimer es una condición neurológica progresiva que afecta en gran medida la realización de actividades de la vida diaria de quien lo padece, lo que implica la presencia permanente de un cuidador. Con el paso de los años, se espera que la cantidad de personas con Alzheimer aumente a mayor velocidad que la cantidad de cuidadores, lo que representa un problema; ya que no se podrá ofrecer al paciente ni la atención ni el cuidado personalizado que requiere.

Ante esta problemática, se desarrolló el sistema RES-PwA (Robot Emotional Support for People With Dementia), cuyo objetivo es brindar soporte emocional personalizado a adultos mayores que padecen del Alzheimer en estadios leves y moderados. El sistema está implementado utilizando la arquitectura de agentes BDI-CHA propuesta por el grupo SIRP de la Pontificia Universidad Javeriana y hace uso del Robot Pepper de SoftBank Robotics. RES-PwA está en la capacidad de realizar actividades como estimulación musical y cuentería, siguiendo el criterio del estado emocional del usuario. La solución fue validada y verificada por expertos en los campos de gerontología, psicología, interacción humano robot y cuidado de adultos mayores.

ABSTRACT

Alzheimer's is a progressive neurological condition that greatly affects the daily activities of the sufferer, which implies the permanent presence of a caregiver. Over the years, the number of people with Alzheimer's is expected to increase faster than the number of caregivers, which is a problem, since neither the attention nor the personalized care that the patient requires can be offered.

Faced with this problem, the RES-PwA (Robot Emotional Support for People with Dementia) system was developed, whose objective is to provide personalized emotional support to older adults suffering from Alzheimer's in mild and moderate stages. The system is implemented using the BDI-CHA agent architecture proposed by the SIRP group of the Pontificia Universidad Javeriana and makes use of the SoftBank Robotics Robot Pepper. RES-PwA is in the ability to carry out activities such as musical stimulation and storytelling, following the criteria of the user's emotional state. The solution was validated and verified by experts in the fields of gerontology, psychology, human-robot interaction, and elderly care.

I- INTRODUCCIÓN

La demencia es una condición neurológica progresiva, causada comúnmente por el Alzheimer, que deteriora la memoria, las funciones ejecutivas y el comportamiento; y afecta en gran medida la realización de actividades cotidianas por parte del paciente, haciéndolo dependiente de un cuidador [1]. El envejecimiento generalizado de la población y la disminución de la fuerza laboral para el año 2050 [2], implican una problemática a mediano plazo en el campo de cuidado de las personas que padecen de Alzheimer (PwA), pues menos cuidadores significan una reducción de la atención y del cuidado personalizado para los pacientes.

Como solución a la problemática enunciada, se propone el software RES-PwA, un sistema de soporte emocional personalizado para adultos mayores con demencia por Alzheimer en estadios leves y medios, basado en actividades de entretenimiento realizadas por un robot humanoide conocido como Pepper. RES-PwA fue diseñado en conjunto con expertos en geriatría del instituto de envejecimiento de la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ); y profesores de psicología de la universidad Konrad Lorenz.

Este sistema busca mejorar la calidad de vida de sus usuarios al brindar actividades de entretenimiento personalizadas que mitigan el impacto de estados emocionales indeseados, como lo son la depresión y la ansiedad. Para esto, el sistema se vale de un perfil del usuario con información médica e histórica del paciente, que, en conjunto con la toma de decisiones en tiempo real a partir de sus emociones, permite una interacción enriquecida que promueve el bienestar emocional del PwA. Así mismo, para mejorar la experiencia emocional del usuario, se extendió el modelo de modulación emocional propuesto por Bravo[3], el cual permitió al sistema mostrar empatía frente a las interacciones y estímulos del PwA.

De esta manera, el contenido de este documento describe a detalle el sistema RES-PwA. En la sección 2, se presenta la descripción y formulación de la problemática; y la solución propuesta. En la sección 3, se hace referencia al contexto de proyecto, de acuerdo con conceptos asociados a este; y un análisis de trabajos relacionados. En la sección 4, se realiza un análisis de la solución propuesta, al aplicar la ingeniería de requisitos. En la sección 5, se especifica la solución desde una perspectiva de diseño de alto nivel, especificando los componentes lógicos y físicos. En la sección 6, se detalla el desarrollo de la solución bajo el contexto de la metodología SCRUM. La sección 7, recopila la información obtenida de las pruebas realizadas, tanto a nivel de software como a nivel de validación con expertos; y se analizan los resultados obtenidos. Por último, se formulan las conclusiones de este trabajo de grado, el trabajo futuro y el impacto a corto, mediano y largo plazo.

II- DESCRIPCIÓN GENERAL

En este capítulo, se enunciará la problemática general y se especificará que busca resolver PwA: sistema asistencial para el soporte emocional personalizado de personas con Alzheimer utilizando al robot Pepper. De igual manera, se formula la solución propuesta, en conjunto con los objetivos generales y específicos del proyecto; y sus respectivos entregables.

1. Problema

A continuación, se describe la problemática que inspiró la formulación del sistema RES-PwA (Robotic Emotional Support for People With Alzheimer). De igual manera, se explica la solución propuesta y su respectiva justificación.

1.1 Contexto del Problema

La demencia es una condición neurológica progresiva que ocurre debido a una variedad de enfermedades [4] entre las cuales se encuentran el Alzheimer, el Parkinson y derivados de problemas vasculares. El deterioro causado por esta condición está asociado a la memoria, el lenguaje, las funciones ejecutivas y el comportamiento; lo que afecta en gran medida la realización de actividades de la vida diaria de quien lo padece [1].

Es importante mencionar que la mayoría de las personas que padecen de demencia son adultos mayores [5], lo que implica la necesidad de soporte emocional y cognitivo por parte de la familia o cuidadores externos con el fin de que los afectados puedan realizar sus actividades cotidianas. Las personas con demencia (**PwD** o Person With Dementia, por sus siglas en inglés) tienen dificultades asociadas con resolución de problemas y ejecución de actividades continuas, lo que afecta negativamente su sentido de autosuficiencia, su autoestima y bienestar [4]. Cabe resaltar que los únicos afectados por la condición de demencia no son solo pacientes, sino que también el 68% de sus cuidadores experimentan estrés, carga emocional y síntomas de depresión [4].

Asimismo, se prevé que para el año 2050 el número total de PwDs alcance los 152 millones de personas [6], alcanzando el 1.5% de la población mundial que según la *World Health Organization* [2], será de 9.8 billones de personas. En contraste, para el año 2060 la cantidad de cuidadores disminuirá de 67% a 56% [7]; es decir, que la cantidad de cuidadores en relación

con la población con demencia que necesita cuidado decrecerá considerablemente a mediano plazo.

Lo anterior representa un problema; ya que, al no existir una cura permanente para la demencia, se hace obligatoria la presencia de cuidadores que apoyen al paciente en la realización de actividades relacionadas al arte, la música y el aprendizaje enfocadas hacia la prevención de su deterioro cognitivo y emocional.

Los problemas mencionados anteriormente han llevado a la búsqueda de alternativas y complementos para el cuidado de PwDs. Una de las alternativas más conocidas implica la utilización de robots de asistencia interactiva (SARs o Socially Assistive Robots), los cuales se entienden según Tapus y Matarić [8] como: aquellos robots que pueden moverse e interactuar en escenarios donde el humano es el actor de mayor importancia. Así mismo, estos autores resaltan que los SARs se caracterizan por participar de la cotidianidad del usuario y por su facilidad de expresión emocional, basada en la utilización del lenguaje corporal en contextos sociales.

1.2 Formulación del Problema

El campo de robótica social ha sido trabajado e investigado desde principios del siglo XXI [9] y ha logrado avances en el cuidado del PwD. Por ejemplo, se ha conseguido: reducir depresión y efectos de soledad [10], aumentar la interacción social [9], presentar estados de ánimo positivos [11], entre otros. De igual manera, durante las investigaciones en este campo, se han identificado una serie de dimensiones en la interacción de PwD con SARs, entre las cuales se destacan: la asistencia personal, el entretenimiento, la estimulación y la seguridad (*Safety*) [12].

Para este trabajo de grado se consideró la dimensión de entretenimiento; ya que, es el área de interés de los cuidadores según el trabajo realizado por Salichs *et al.* [12], pues poder mantener entretenido a un PwD permite al cuidador tener tiempo libre, que puede utilizar para sí mismo. Además, se ha comprobado que la falta de entretenimiento en PwD produce efectos indeseables en la toma de decisiones, en el bienestar mental [13] y en sus reacciones en situaciones de peligro [14]. Por ejemplo, algunos estudios demostraron que la presencia de entretenimiento regulado en la vida de un PwD reduce la sensación de aislamiento y soledad [13], a la par que les permite mantener mentes activas. De igual manera, la falta de entretenimiento es un factor considerable a largo y mediano plazo en tendencias depresivas y suicidas [14].

Además, al realizar la matriz de oportunidades para el proyecto, y según el estado del arte, se encontró que la mejor oportunidad se encontraba en el escenario de asistencia. Luego, se plantearon las oportunidades específicas de acuerdo al criterio de escenario de asistencia, y se seleccionaron las necesidades, basadas en los criterios de selección (viabilidad técnica, valor agregado, facilidad de verificación, y alcance) llegando a concluir que la oportunidad en la que se va a centrar este proyecto es la asistencia enfocada en el entretenimiento (Ver [Anexo Trazabilidad artículos](#)).

Se ha comprobado que la participación de robots basados en entretenimiento, como herramientas de rehabilitación en tratamiento de pacientes con demencia temprana o moderada resulta ser eficiente, en cuanto a estimular la socialización en el contexto de terapia ocupacional [15]. Por otro lado, se ha confirmado en estudios, como el realizado por Marti et al. [16], que la utilización de robots de entretenimiento ayuda a disminuir significativamente los índices de ansiedad e irritabilidad en pacientes con condición de demencia en etapas moderadas. Así mismo, estudios realizados por *The Gerontologist* [17] han demostrado que las actividades de entretenimiento suplen con excelencia varias de las necesidades de los PwD, como lo son “la necesidad de acciones repetitivas, la necesidad de instrucciones basadas en pasos y la necesidad de actividades que no son orientadas hacia objetivos específicos”. Esto quiere decir que la utilización de robots orientados a entretenimiento es eficiente en el tratamiento de la problemática explicada.

Ya habiendo establecido la dimensión focal del trabajo, se procedió a la identificación de oportunidades a partir del análisis de múltiples trabajos relacionados. Se obtuvieron 6 oportunidades de mejora, de las cuales se seleccionaron 2 a partir de los criterios presentados en la Tabla 1. Criterios de Selección para oportunidades. Las oportunidades seleccionadas fueron: la implementación de un sistema de personalización y el soporte emocional.

Criterio	Descripción
Viabilidad técnica	Hace referencia a la posibilidad de que el sistema funcione, teniendo en cuenta el proceso de realización, la capacidad humana, las herramientas, entre otros.
Valor agregado	Se analizan sus características como originalidad, novedad o inexistencia en el mercado.

Facilidad de Verificación	Se refiere a la facilidad con la cual se puede comprobar la necesidad realizada, en este caso corresponde a la ejecución de las pruebas.
Alcance	Hace referencia a la probabilidad de completitud en el tiempo establecido (un semestre).

Tabla 1. Criterios de Selección para oportunidades

Frente a la oportunidad de personalización, se conoce que los PwD presentan diferentes gustos, actitudes, educación, experiencias, entre otros [18]. También, su deterioro cognitivo puede afectar distintas áreas [6], por lo que las actividades que se realicen deben poder adaptarse a las características que definen al paciente y de ser posible, ser dinámicas dada la naturaleza progresiva de la condición de demencia y el estado emocional del PwD. Incluso, se ha comprobado que los estímulos realizados a los pacientes tienen mayor impacto a nivel de comportamiento cuando las actividades son adaptadas a las características cognitivas [19] del usuario y a sus preferencias [20].

Por otro lado, estudios como el realizado por Castillo et al [21] demuestran que estados emocionales positivos promueven un bienestar físico y de salud en adultos mayores. En otra instancia, se ha comprobado que los PwD, sufren de síntomas de ansiedad y depresión [22], que requieren soporte constante y oportuno. Por lo tanto, se hace relevante la mitigación de estos síntomas de manera inmediata, con el fin de reducir la ocurrencia de episodios de ira causados por la ansiedad y disminuir la incidencia de efectos secundarios de la depresión, como falta de apetito, falta de sueño y aislamiento social.

Ahora bien, a partir de la bibliografía analizada, se ha encontrado que no existe una detección en tiempo real y completa de emociones que se base principalmente en adultos mayores con enfermedades mentales progresivas. Esta detección de emociones es esencial para la personalización y es aún más importante que el robot pueda demostrar empatía y reaccionar a las emociones del usuario con el fin de asegurar su atención durante la interacción [23].

Para el presente trabajo de grado y dadas características de cada paciente, según la enfermedad causal de la demencia, fue necesario delimitar el espectro a una única causa. En este caso, según la información recogida en las entrevistas realizadas a múltiples expertos en temas como geriatría, psiquiatría y psicología, se decidió enfocar la solución hacia usuarios que padezcan demencia por Alzheimer en estadios leves o moderados, es decir, de fase 5 o inferior según la

escala Functional Assesment Staging o FAST [24] la cual se puede observar en la Tabla 2. Escala FAST.

Fase	Descripción
1	Adulto normal. No se aprecia deterioro funcional alguno.
2	Adulto anciano normal. El paciente tiene conciencia personal de que ha sufrido algún tipo de declive funcional.
3	Enfermedad de Alzheimer o demencia temprana. En situaciones de trabajo exigentes se presentan algunas deficiencias funcionales.
4	Enfermedad de Alzheimer o demencia leve. El paciente necesita ayuda para realizar tareas complejas que antes llevaba a cabo con normalidad, como pueden ser actividades de contabilidad, planeación, etc.
5	Enfermedad de Alzheimer o demencia moderada. La persona empieza a necesitar ayuda para realizar actividades básicas de la vida cotidiana, excepto asearse o comer.
6	Enfermedad de Alzheimer o demencia moderadamente severa. No puede llevar a cabo el aseo personal de forma independiente o ir al baño, y puede presentar por este motivo incontinencia urinaria y fecal.
7	Enfermedad de Alzheimer o demencia severa. Se pierde la habilidad del habla, reduciéndose el vocabulario a unas pocas palabras. Asimismo, el paciente sufre una pérdida progresiva de su capacidad para caminar, sentarse o sonreír.

Tabla 2. Escala FAST

1.3 Propuesta de Solución

Como se puede identificar en las subsecciones 1.1 Contexto del Problema y 1.2 Formulación del Problema, el acompañamiento de PwDs utilizando SARs, bajo el marco del soporte emocional mediante entretenimiento personalizado, resulta ser provechoso tanto para el paciente como para el cuidador. Teniendo esto en cuenta y a partir del consejo de expertos en temas como geriatría¹ y psicología², se diseñó e implementó un sistema para la asistencia emocional personalizada de personas con Alzheimer o **PwA** (*Person With Alzheimer*, por sus siglas en inglés) en estadios leves o moderados mediante actividades de entretenimiento.

Frente a la dimensión focal de entretenimiento, propuesta por Salichs et al. [12], se hizo relevante que el sistema soportase actividades que fomentaran tanto la diversión, como la

¹ Instituto de Envejecimiento, Pontificia Universidad Javeriana

² Profesora Paola Suárez, Universidad Konrad Lorenz

remembranza de la vida del paciente, por ejemplo: cuentería y musicoterapia. Cabe recordar que estas actividades de entretenimiento se realizan con el fin de disminuir la ansiedad e irritabilidad del paciente, en caso de que signos emocionales displicentes sean percibidos. Además, este tipo de actividades que no implican movimiento físico complejo, son acordes para personas mayores quienes sufren de deterioro asociado a la movilidad.

Respecto al soporte emocional, el sistema debe estar en la capacidad de detectar las emociones del usuario y de demostrar empatía frente a estas. De esta manera, se hizo necesario que el sistema adoptara un modelo emocional interno, que puede ser expresado utilizando los actuadores del robot. Así mismo, con el fin de detectar las emociones del usuario, se hizo de vital importancia utilizar librerías que permitieran reconocer emociones, tanto las placenteras como las no placenteras, a partir de sus expresiones fáciles. Se hace relevante que la solución identifique emociones en tiempo real, de manera que la toma de decisiones lo sea también, lo que permite que la solución propuesta sea flexible y capaz de evaluar la información que recibe de la manera apropiada. Es por esta necesidad, que RES-PwA se encuentra basado en un sistema MultiAgentes, siguiendo la arquitectura BDI-CHA propuesta por la Universidad Javeriana[25].

Por último y teniendo en cuenta la necesidad de actividades personalizadas según el paciente el sistema incluye un modelo de personalización basado en los gustos, preferencias y características médicas de los PwA, con el fin de individualizarlos y adaptar las actividades según el usuario. Un ejemplo del dinamismo que provee la personalización a las actividades del sistema es la selección de bailes de preferencia del PwA, mientras que se realiza una actividad basada en danza y estimulación musical. Bajo el contexto de este trabajo de grado, la personalización incluye: la selección de actividades, cuentos, canciones, bailes e imágenes a partir de los gustos del usuario, la configuración del volumen del robot durante la interacción, el nombre preferido del usuario, entre otras.

En cuanto al robot que hace parte del sistema, se seleccionó al robot Pepper de *SoftBank Robotics*, el cual se puede ver en la Ilustración 1. Robot Pepper. Pepper [26] es un robot humanoide de 120 centímetros de altura diseñado para interactuar con personas. Entre sus características más importantes se encuentran: la detección de emociones a través de canales verbales y no verbales; la presencia de una tablet embebida; la facilidad para expresar

emociones a partir de sus actuadores y leds; y la implementación de tópicos para la interacción verbal estructurada con los usuarios. Teniendo en cuenta las necesidades del sistema en cuanto a las funcionalidades de personalización, soporte emocional y entretenimiento, se considera al robot Pepper como un candidato excelente para el desarrollo requerido.



Ilustración 1. Robot Pepper

1.4 Justificación de la Solución

Primero, es importante justificar porque una herramienta basada en robótica es relevante en el contexto del problema. Cuando se habla de problemas relacionados con PwA, sobre todo cuando se refiere a soporte emocional y social, es importante tener en cuenta el concepto de *Embodiment*, el cual hace referencia a la disposición del robot en el espacio, sobre todo a nivel físico[27]. Se ha comprobado, según Mataric [27], que la presencia física de un robot en conjunto con su comportamiento estructurado presenta una manera única y eficiente de lograr los objetivos de asistencia en cuidado para ancianos.

Respecto a robots, es posible decir que al comparar a Pepper con otros robots orientados a interacción con humanos (Paro[28], Babyloid[29], Aibo[15], CompanionAble Hector [30], NAO[31] o Matilda[32]), se evidencia que este tiene el potencial para realizar las mismas tareas (moverse, interactuar, reconocer, comunicar, entretener, entre otros) y adicionalmente, posee la capacidad para detectar emociones, una estructura humanoide, a pesar de no tener piernas, y una manera de interactuar con el usuario mucho más desarrollada. Esto resulta vital en la detección del estado emocional del usuario para la realización de las actividades, y en la expresión de emociones por parte del robot. A diferencia de otros proyectos, RES-PwA tiene

el potencial de realizar actividades que requieren de habilidades físicas (bailar, saludar de mano, expresión corporal, terapia física, entre otras), lo que implica una mayor motivación y atracción para el PwA y un mayor potencial para realizar una variedad de actividades previamente no exploradas en el campo del entretenimiento.

Por otra parte, el sistema RES-PwA tiene el potencial de disminuir la carga del cuidador; ya que, al identificar las emociones del paciente el robot puede determinar actividades para mantener los estados emocionales positivos y mitigar aquellas emociones negativas. Cabe resaltar que la detección de emociones propuesta en este trabajo de grado permitió al sistema ser flexible y reactivo a estímulos directos del usuario, lo que facilita una respuesta coherente del sistema bajo el contexto del Alzheimer. Estas características del sistema le permiten al cuidador mayor flexibilidad en su horario y potencialmente le facilitan atender a más de un PwA en un mismo contexto espacial y/o temporal. Eventualmente, se espera como resultado una disminución de la carga emocional y laboral del cuidador y en una mejor calidad de vida para los PwA.

Respecto a la personalización, son muy pocos los trabajos que implementan esta estrategia basándose en perfiles del usuario y aún menos, son aquellas investigaciones que tienen en cuenta las preferencias, información médica y el historial de vida del paciente. Este modelo de personalización con sus características intrínsecas permitió enriquecer la experiencia del PwA al interactuar con el sistema.

Finalmente, un factor clave que permite la justificación de la solución es el contexto social donde fue implementado y probado, que en este caso será la sociedad colombiana. Es preciso señalar que en Colombia no se han implementado proyectos de robótica asistencial para adultos mayores, ni se han realizado estudios de preparación cultural para la implementación de este tipo de tecnologías en el grupo objetivo. Ahora bien, la realización de proyectos de este tipo en culturas similares, como lo son la cultura española[18], la cultura mexicana[33] [34] y la cultura ecuatoriana[35] dan pautas para la realización de este tipo de proyectos en Colombia y se adaptaron estas métricas con la ayuda de expertos en tercera edad de diferentes ramas del conocimiento

2 Descripción del Proyecto

En la siguiente sección se enuncia el objetivo general y los objetivos específicos para el proyecto y los entregables que lo componen.

2.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema de soporte emocional personalizado mediante actividades de entretenimiento realizadas por un robot Pepper, para personas de tercera edad con demencia por Alzheimer en el rango de fases de 1 a 5 según la escala FAST.

2.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar las actividades de entretenimiento que permiten dar soporte emocional al PwA, a partir del análisis del estado de arte en asistencia emocional, SARs y robots de asistencia emocional (SARs).
2. Generar un modelo de personalización con el fin de realizar actividades de entretenimiento adaptables y ejecutadas por un robot Pepper.
3. Desarrollar un prototipo que implemente el modelo diseñado integrando la detección de emociones, la personalización y la expresión emocional interna del robot.
4. Verificar la eficacia de los modelos implementados a partir de la evaluación de expertos en el campo de estudio, basados en la interacción del sistema con un usuario.

2.3 Entregables, Estándares y Justificación

Entregable	Estándares asociados	Justificación
PMP Project Management Plan	IEEE 16326-2009 [36] IEEE 12207-2007 [37] IEEE 15288-2015[38]	Contienen los procesos y actividades que componen la totalidad del trabajo de grado. Así mismo, especifica la manera en la que se realizan procesos de soporte, como lo son: gestión de la configuración, gestión de riesgos y control y monitoreo del proyecto.
SRS Software Requirements Specification	IEEE 830-1998 [39] IEEE 29148-2018[40]	Este documento recopila y describe el funcionamiento del sistema en su totalidad de manera estructurada. Además, define el proceso de ingeniería de requisitos y la precedencia y criticidad entre lo que se

		desea diseñar e implementar durante el trabajo de grado.
SDD Software Design Description	IEEE 1016- 2009[41]	Este entregable contiene la arquitectura del sistema, los factores para tener en cuenta sobre la misma y su justificación.
Component Integration and System Test Plan, Case and Report Resumidos en un entregable de formato Excel	IEEE 829- 2008 [42]	Este documento recopila la planeación, ejecución y registro de las pruebas a realizar a nivel de unidad, de integración y de sistema, teniendo en cuenta características a validar, su trazabilidad y criterios de éxito. En el caso de este trabajo de grado, se considera crítica la planeación y ejecución de pruebas pues la correctitud del sistema es muy importante al realizar actividades de entretenimiento con adultos mayores.
Prototipo Funcional del Sistema		Es el resultado de la ejecución del trabajo de grado en su totalidad. En este se evidencia la aplicación de todo lo consignado en los documentos anteriores y el cumplimiento de los objetivos específicos.
Memoria del Trabajo de Grado		Documento que recopila y explica el proceso realizado durante el trabajo de grado
Formato de consentimiento informado		Requerimiento indispensable para la realización de pruebas con PwA.
Protocolos de prueba/ User Acceptance Test (UAT)	ASS-RSA- GU030 [43]	Es un documento que explica la metodología y procesos referentes a las pruebas de verificación realizadas en el trabajo de grado.

Tabla 3. Entregables de tesis

III- CONTEXTO DEL PROYECTO

3 Marco Teórico

A continuación, se presentan los fundamentos y conceptos relevantes para la comprensión del proyecto, sus causas y sus implicaciones. Es importante destacar que el sistema de software propuesto es una aplicación de la **robótica de asistencia social**, en este caso, orientada a personas que padezcan demencia por causa del **Alzheimer**. El objetivo del sistema es proveer **soporte emocional** mediante estrategias de **entretenimiento**, que buscan mantener **estados de ánimo placenteros** para el usuario al mitigar emociones no placenteras. Otra característica importante de RES-PwA, es la cualidad de ser **personalizado**, pues al interactuar con usuarios que presentan deterioro cognitivo se hace relevante tener en cuenta las preferencias, gustos, interés y hasta hábitos al momento de la interacción. De la misma forma, RES-PwA está en la capacidad de recibir información y tomar decisiones a partir de esta en tiempo real, como consecuencia del uso de la arquitectura **BDI-CHA**, en la cual está basado.

3.1 PwD (Person with Dementia) y PwA (Person with Alzheimer)

La demencia, según la Alzheimer's Association [44], "Es un término general para un deterioro grave de la capacidad mental que interfiere con la vida cotidiana". Esta condición es de naturaleza neurológica progresiva que ocurre debido a una variedad de enfermedades, siendo las más comunes el Alzheimer, el Parkinson y los problemas vasculares.

Bajo el marco de este proyecto, se consideró como usuario a todas las personas que padecían demencia (PwD), más específicamente aquella relacionada con la enfermedad de Alzheimer (PwA). Esta enfermedad, se entiende como "un tipo de demencia progresiva que causa problemas con la memoria, el pensamiento y el comportamiento" [45].

Según la escala Functional Assessment Staging (FAST) [24], un test utilizado para determinar el nivel de funcionamiento cognitivo de las personas, se lograron clasificar los niveles de la enfermedad de Alzheimer en 7 fases según su sintomatología. Sin embargo, para fines del trabajo de grado y según las entrevistas realizadas ([Anexo Respuesta Entrevistas](#)), se tendrán en cuenta las fases 1, 2, 3, 4 y 5, las cuales se explican en la Tabla 2. Escala FAST.

3.2 Interacción humano robot

Según lo definen Goodrich y Schultz [46], la interacción humano robot se puede entender como un “campo de estudio dedicado al entendimiento, diseño y evaluación de sistemas robóticos para ser usados por o con humanos”, lo que involucra desde la disposición física del robot hasta sus habilidades sociales y emocionales. Este campo de estudio se encuentra actualmente en ardua investigación[47] y hasta el momento se han definido 4 áreas a tener en cuenta al momento de definir requisitos relacionados con la interacción. Estos son [47]:

Contacto con humanos: Depende de la proximidad física dada entre el robot y el usuario. Según Goodrich y Schultz [46] este puede darse de manera: **remota**, en la cual el humano y el robot se pueden encontrar separados espacial, e inclusive, temporalmente, o **próxima**, en la cual se pueden encontrar en el mismo espacio físico. De igual manera, bajo este criterio es importante tener en cuenta la frecuencia en la que se establece contacto físico entre el robot y el ser humano.

Funcionalidades del robot: Esta área se refiere a la flexibilidad inherente de las funciones del robot. Los rangos se definen entre: limitada y bien definida, como en el caso de un robot aspiradora; y adaptativa, como es el caso de un robot asistencial de entretenimiento, que debe aprender sobre el usuario y retroalimentarse sobre su interacción.

Rol del robot: Esta área está estrechamente relacionada con la anterior, pues sus funcionalidades dependen del rol que el sistema robótico deba cumplir bajo un escenario. En este caso, el rango está dividido entre “herramientas” y robots de acompañamiento.

Requisito de habilidades sociales: Hace referencia a la relevancia de funciones sociales en el robot con relación a su rol dado un escenario específico. Se consideran tres posibles categorías: No requeridas, deseables y esenciales.

Por otro lado, según Oh, Kim[48] y Dautenhahn[47], la concepción de la interacción humano robot (Human Robot Interaction o HRI) se puede dar en 2 distintos enfoques:

HRI usuario-céntrica: Este enfoque, como se denota en su nombre, da mayor importancia a la percepción que tiene el usuario al momento de interactuar con el robot. Por tanto, este enfoque se encarga del diseño físico-mecánico de los sistemas robóticos para fomentar una apariencia que facilite el establecimiento de vínculos emocionales y de confianza.

HRI robot-céntrica: El enfoque afirma que el robot es una “criatura”, que toma sus propias decisiones, a partir de su cognición y propio razonamiento, según sus propios motivos y emociones. Es decir, la interacción se da en términos de satisfacer las necesidades del sistema robótico [47].

En general, algunos de los ámbitos de HRI más explorados son la movilidad, la manipulación física o la interacción social, incluyendo aspectos cognitivos, sociales y emotivos tanto del usuario como del sistema[49].

3.3 Robots de asistencia social (SARs)

Los robots de asistencia social, según Feil-Seifer y Mataric[8], pueden definirse a partir de la unión de dos conceptos:

- **Robot de Asistencia:** Son aquellos sistemas robóticos que realizan procesos de soporte físico a usuarios que lo requieran [8]. Entre sus campos de acción se incluye la rehabilitación, ayudas para la movilidad, de manipulación simulando manos, y para la educación. Son utilizados en ambientes como escuelas, hospitales y hogares.
- **Robot de interacción social:** Son aquellos robots cuya tarea principal es realizar actividades que requieren de exhibir características sociales humanas. Siendo de esta manera, utilizados para la realización de múltiples terapias para la salud mental y psicológica pues se centran principalmente en la interacción amigable con los usuarios [50].

Teniendo esto en cuenta, el concepto de robot de asistencia social se define como “un sistema robótico que tiene como objetivo proveer asistencia a los usuarios, a través de la interacción social” [8]. En otras palabras, el sistema robótico busca satisfacer las necesidades sociales del usuario y para esto, implementa actividades terapéuticas, de rehabilitación o de aprendizaje.

3.4 Personalización y Perfil del Usuario

La personalización es la capacidad de un sistema u objeto para reconocer a cada persona o ente como un ser completamente independiente, junto a un conjunto de información única, que la diferencia de los demás [51]. Al conocer este conjunto de datos de usuario particular, se puede brindar un servicio individualizado que satisface de una mejor manera las necesidades del usuario.

Una de las herramientas que se utilizan para realizar la personalización de un proceso y actividad es un perfil de usuario, donde comúnmente se utiliza la siguiente información para su creación [52]:

- a) **Dato Básico:** Los aspectos del usuario que lo identifican como único.
- b) **Preferencia** [53]: Es aquella elección del usuario a partir de un conjunto de posibilidades preestablecidas.
- c) **Gusto** [54]: Afición o inclinación por algo a partir de los sentidos.
- d) **Interés:** Factor de agrado temporal de una persona hacia un ente o actividad, en la cual brinda un alto nivel de atención.
- e) **Hábito** [55]: Modo especial de proceder o conducirse adquirido por repetición de actos iguales o semejantes, u originado por tendencias instintivas.
- f) **Pasatiempo** [56]: Actividad de diversión o entretenimiento en que se ocupa un rato de ocio.

En el contexto actual, la creación de dicho perfil permite el desarrollo asertivo de las actividades a partir de las preferencias del PwA, permitiendo beneficios en cuanto a la reacción del PwA y a su atención frente a la actividad[57]. De igual manera, como mencionan Kubota y Riek [58], al personalizar las diferentes actividades a las capacidades y necesidades del usuario, se evita estrés innecesario y frustración por parte del PwA.

3.5 Entretenimiento para la salud del PwA

El entretenimiento encapsula todas y cada una de las actividades relacionadas con el ocio y la diversión de una o un grupo de personas. Estas actividades se deben realizar de manera voluntaria[59] y, además, generan un estado de bienestar y atención fija.

Como menciona Marley[60][61], el entretenimiento es vital para el bienestar de un PwA y, por tanto, las actividades deben ser ajustadas de tal forma que se aprovechen las capacidades de este. Teniendo en cuenta lo anterior, se han desarrollado múltiples terapias psicosociales que buscan mejorar la calidad de vida de los PwA a través de ejercicios de estimulación y de entretenimiento. Las terapias más reconocidas son:

- **Terapia de Reminiscencia** [62]: Actividades que involucran la estimulación del paciente a partir de la discusión y de utilería visual para fomentar el diálogo sobre actividades, eventos y experiencias pasadas del paciente. De acuerdo con múltiples

autores [63]–[66], la terapia de reminiscencia ayuda en la mejora del estado del ánimo y reduce síntomas de depresión, lo que conlleva a una mejor calidad de vida.

- **Musicoterapia** [67]: La musicoterapia es el uso profesional de la música en elementos de intervención médica en individuos o comunidades, con el fin de mejorar su calidad de vida. La terapia consiste en intervenciones musicales con el fin de “satisfacer necesidades de un individuo” [68], a través de actividades como: el canto y la danza. De acuerdo con múltiples investigaciones presentadas por Wall y Duffy [69], se ha comprobado que la musicoterapia reduce los niveles de agitación y comportamiento agresivo en PwAs y a su vez, promueve el bienestar en términos de estado de ánimo y socialización.

Teniendo en cuenta lo anterior, las actividades de entretenimiento son herramientas de rehabilitación para PwAs y además permiten mitigar la aparición de episodios de ansiedad e irritabilidad [15][16].

3.6 Soporte emocional

Según el diccionario psicológico [70], el soporte emocional se puede comprender como la comprensión, el aliento y la tranquilidad que se brinda o recibe de una persona. Así mismo, para Strine et al. [71] el soporte emocional se entiende como “recursos y ayudas que son intercambiadas durante la interacción interpersonal” e implica el compartir emociones y problemas con el fin de recibir retroalimentación. En el caso de RES-PwA, esta retroalimentación emocional entre el sistema y el usuario es de vital importancia, al facilitar procesos de personalización como la adaptación de las preferencias del usuario en cuanto a los recursos provistos por el sistema.

Como se puede evidenciar, el soporte emocional es inherentemente social e involucra la presencia de uno o más individuos, que realizan una interacción bajo un marco de tiempo predeterminado. En el caso de este trabajo de grado, la interacción entre un PwA y el robot Pepper dará lugar al intercambio de ayudas necesaria para lograr el soporte emocional. Ahora bien, Ekkekakis[72] menciona que el soporte emocional brindado por el sistema aborda los siguientes conceptos:

- **Estado de Ánimo:** es una denominación de un estado afectivo, que tiende a durar más que una emoción. Por lo general, este se asocia a una causa remota temporalmente que es difícil de definir en la mayoría de los casos.
- **Emoción:** De acuerdo con Barret et al[73], la emoción se entiende como un “conjunto complejo de eventos que se relacionan a un objeto específico”, lo que quiere decir que la emoción se asocia a una causa inmediata, la cual detona una serie de reacciones como cambio comportamental, cambio en la disposición del lenguaje corporal y cambios fisiológicos [72].

Así mismo, según con Payne y Cooper[74], los estados emocionales y las emociones se pueden categorizar en dos conjuntos: Placenteros/Positivos y Displícetes/Negativos. Dentro de estos dos conjuntos, se encuentran las emociones y de estas se desprenden los estados de ánimo[74].

El sistema de software RES-PwA fue diseñado para realizar soporte emocional teniendo en cuenta dos estrategias que utilizan actividades de entretenimiento. La primera estrategia consiste en reconocer las emociones displícetes, realizar actividades con el PwA para mitigarlas y eventualmente generar la transición del usuario a emociones placenteras con el fin de impedir que estas emociones displícetes se tornen en estados de ánimo. La segunda estrategia consiste en reconocer las emociones placenteras y trabajar en pro de convertirlas en estados de ánimo, de manera que el PwA se sienta bien a mediano plazo y mejore su bienestar.

Para el sistema se tuvieron en cuenta 2 de las 7 emociones básicas presentadas por Paul Ekman [75], las cuales son tristeza y alegría (Ver Ilustración 2. Estados placenteros y displícetes). Al momento de seleccionar las emociones a tener en cuenta, se contó con la guía de la neuropsicóloga Paola Andrea Suárez Pico³[76] y el Dr. Carlos Alberto Cano⁴[77]. Así mismo, se tendrán en cuenta factores tales como el interés y la atención del usuario.

³ Psicóloga y Especialista en psicología clínica. Docente de la Universidad Konrad Lorenz

⁴ Director del Instituto de Envejecimiento en la Pontificia Universidad Javeriana

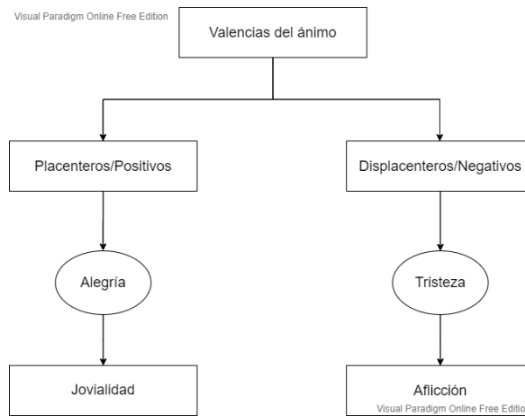


Ilustración 2. Estados placenteros y displacenteros

3.7 Agentes Racionales

En el presente trabajo de grado, se implementa un agente que toma decisiones en tiempo real, con el fin de cumplir el objetivo de proveer soporte emocional personalizado y basado en entretenimiento a PwAs. Es importante entender el concepto de agente, el cual se puede definir, según González [78], como una entidad autónoma que actúa para cumplir sus objetivos en un ambiente determinado. Así mismo, como establece Bravo [3], un agente racional es aquel que selecciona la acción más apropiada para lograr sus objetivos al buscar el mejor resultado, considerando sus recursos, conocimiento y habilidades.

En el caso de este trabajo de grado, el propósito de los agentes racionales es el de brindar soporte emocional personalizado al PwA, mediante actividades de entretenimiento. Por ejemplo, si el PwA se encuentra en un estado emocional displacentero, el robot asociado al agente debería llamar la atención del usuario y realizar una actividad con él. Se considera que, en este trabajo de grado, el agente utilizado es racional pues intenta escoger el mejor curso de acción a partir de su conocimiento, recursos y habilidades para proveer soporte emocional al PwA.

3.7.1 Agentes Belief-Desire-Intention (BDI) y la Arquitectura BDI-CHA

Se seleccionó el paradigma BDI como arquitectura para representar las capacidades de razonamiento del agente en este trabajo de grado. En el modelo BDI, propuesto por Bratman [79], el agente está compuesto por tres componentes lógicos:

- **Creencias:** representan el conocimiento que el agente tiene sobre su entorno, lo que le permite al agente tomar decisiones informadas al sopesar distintas variables. En el caso

de RES-PwA, las creencias también involucran el perfil del usuario y su estado emocional.

- **Deseos:** hacen referencia a los objetivos del agente, dado su contexto actual de operación. Para el proyecto realizado, se identifican con las metas del sistema RES-PwA.
- **Intenciones:** son la manera en la cual el agente realiza una serie de acciones para cumplir con sus metas; y en el caso del presente trabajo, se relacionan a los planes que utiliza el sistema para cumplir sus objetivos.

Estos componentes son utilizados para llevar a cabo el razonamiento práctico que inspira el modelo BDI [79], el cual se relaciona, tal como menciona Chin *et.al.*[80] con el proceso de determinar qué acción se debe seguir para lograr un objetivo específico. En el caso de este proyecto de grado y según autores como Wooldrige[81], Cao[82] y Bratman[79] este proceso se evidencia en dos etapas: la etapa deliberativa, donde el agente racional decide qué objetivo llevar a cabo durante la interacción con el PwA; y la etapa de razonamiento de medios y fines, donde el agente determina los pasos a seguir para lograr su objetivo.

Por lo general, este proceso de razonamiento práctico maneja las creencias, deseos e intenciones del agente de manera aislada y los utiliza para la toma de decisiones de manera secuencial. Lo anterior representa una limitación bajo el contexto de este trabajo de grado, pues en el BDI tradicional se realiza una evaluación constante y no concurrente de las creencias, deseos e intenciones del agente. Esto es contrario a lo que se busca con RES-PwA, el cual requiere la toma de decisiones en tiempo real según el estado emocional del PwA y su interacción verbal y física con el sistema.

Como solución a esta limitación, los grupos de investigación SIRP y SIDRe de la Pontificia Universidad Javeriana diseñaron la arquitectura BDI-CHA (Concurrent-Hybrid-Adaptive) [78]. En BDI-CHA, el modelo del agente racional consiste en 3 procesos concurrentes, presentados en la Tabla 4. Procesos BDI-CHA.

Proceso	Descripción
Gestor de Creencias	Gestor encargado de percibir el ambiente y actualizar las creencias del agente racional
Gestor de Metas	Gestor responsable de identificar oportunidades a partir del cambio en las creencias y realizar el proceso de deliberación para determinar que deseo

	se convierte en intención. En este gestor, los deseos se relacionan con metas y a partir de la deliberación se define el estado del deseo.
Gestor de Medios y Fines	Gestor encargado de seleccionar y ejecutar el plan que lleva a cabo la intención del sistema.

Tabla 4. Procesos BDI-CHA

Bajo la arquitectura BDI-CHA es posible que el agente posea varios deseos activos al mismo tiempo, por lo que González [78] plantea un mecanismo de competencia entre metas, el cual consta de dos etapas[3]:

Categorización: Se relaciona con la clasificación de las metas en una pirámide que expresa una relación jerárquica entre las metas en cuanto a su importancia y prioridad al momento de cumplir el objetivo general del sistema. El sistema dará prioridad a aquellas metas de nivel superior en la jerarquía. En el caso de este trabajo de grado, la pirámide se constituye de 5 niveles, los cuales fueron adaptados del trabajo doctoral de Bravo [3] y se presentan a continuación:

- **Survival:** hace referencia a las metas que son importantes para la protección y cuidado del agente. Un ejemplo es cuando el robot debe cargar su batería al llegar a un valor menor a 15%.
- **Obligation:** son metas que incluyen normas y valores que el agente debe seguir de acuerdo con el contexto o los cambios en su entorno. Por ejemplo, en caso de una emergencia durante la interacción con el PwA, el sistema debe reportarla al cuidador.
- **Opportunity:** corresponden a las metas que contribuyen a cumplir el objetivo principal del agente. En este contexto, el agente debe encargarse de dar soporte emocional a los PwA con el fin de mantener emociones placenteras, por lo tanto, hacen referencia a las actividades de cuentacuentos y estimulación musical.
- **Facilitating:** son las metas encargadas de alcanzar las precondiciones que deben cumplirse para lograr las metas de oportunidad. En el contexto de este proyecto, un ejemplo sería el mantener una conversación empática con el PwA, de manera que su estado emocional sea el correcto antes de ejecutar alguna actividad con él.
- **Life-like behaviours:** son ejecutadas cuando el agente no tiene otras metas activas con el fin de mostrar un comportamiento dinámico. Por ejemplo, movimientos autónomos y acciones como parpadear.

Evaluación: Si bien la categorización de las metas facilita la selección del deseo que se volverá intención, se puede dar el caso donde dos metas del mismo nivel jerárquico compiten entre sí. Cuando esto sucede, se selecciona la meta que tenga el mayor potencial de contribución respecto al objetivo general del sistema.

En este trabajo de grado, se selecciona la arquitectura BDI-CHA para el desarrollo de RES-PwA debido a la evaluación concurrente de múltiples metas y creencias del agente, que favorece tanto el manejo en tiempo real de la información resultante de la interacción con el PwA, como la toma acertada de decisiones por parte del sistema, bajo un contexto donde se pueden presentar interacciones no predecibles y situaciones de riesgo como lo es el contexto de la interacción con PwAs.

4 Análisis de Contexto

4.1 Trabajos Relacionados

En esta sección se resumen algunos trabajos relacionados con la problemática de este trabajo de grado. Los trabajos analizados son en su mayoría sistemas robóticos que brindan soporte cognitivo y/o emocional a PwAs o PwDs. Para esto se van a resumir una serie de trabajos clave, y luego serán sometidos a un análisis comparativo a partir de criterios que son relevantes para el proyecto.

Assistive Robot Enabled Service Architecture to Support Home-Based Dementia Care[83]

En este proyecto se trabaja con el robot Matilda, el cual es capaz de capturar preferencias de los PwA haciendo uso de sus sensores (cámaras para reconocimiento emocional, micrófonos para identificación auditiva, entre otros) al interactuar con el usuario. Su componente de personalización realiza una estimación de las preferencias del PwA a partir del feedback y las emociones que expresa en el desarrollo de cada actividad. La implementación presentada en este proyecto cumple con entretener, ayudar y asistir a las personas con demencia, pero no es escalable ya que no guarda más de un solo perfil de usuario. Tiene un impacto social, relacionado con la reducción del estrés al cuidar a un PwA, y mejorar su vida diaria.

Robots in Therapy for Dementia Patients [84]

En este trabajo se implementan terapias dirigidas hacia los PwD utilizando al robot NAO con el fin de estimular a los pacientes de manera cognitiva o física. En conjunto con la terapia, se crea el framework BICA, el cual permite desarrollar aplicaciones autónomas para los robots humanoides permitiéndoles tener diversas funcionalidades como: colocar música, encender sus propias luces, realizar movimientos específicos, etc. De este trabajo se resalta, que la forma humanoide de NAO genera atracción emocional necesaria para que el PwD mantenga su atención en la terapia.

Interactive Learning and Adaptation for Robot Assisted Therapy for People with Dementia [85]

Esta alternativa se centra en promover la mejora en la completitud de tareas y aumentar los niveles de atención en las personas con demencia. De esta manera, se implementó un módulo de adaptación en un robot NAO para permitirle ajustarse al comportamiento de cada usuario, fomentando una interacción eficiente y segura entre ambas partes. De este modo, presentan un juego cognitivo de música, el cual es ajustado de acuerdo con el desempeño del PwD durante la actividad. Es importante resaltar que este proyecto no realizó un caso de estudio con los participantes para evaluar el juego, solo se analizó y planteó cuales aspectos pueden ser considerados al momento de interactuar con PwD al plantear el sistema.

Programación y Evaluación de la Aceptación de un Robot Humanoide como Asistente para terapias Físicas a adultos Mayores [35]

Este proyecto realizado en Ecuador implementó un robot asistencial humanoide para terapias físicas en adultos mayores, ya que se detectó que una de las problemáticas más comunes en este grupo de personas está relacionada con la movilidad articular. Se utilizó un robot Bioloid, teniendo el rol de terapeuta físico, para realizar un experimento con tres grupos de 12 adultos mayores, los cuales debían seguir la clase de ejercicio físico realizada por el robot. Al finalizarlo, se realizó una encuesta a los participantes obteniendo una aceptación del 83%.

Activity Monitoring of People with Dementia in a Cognitive Stimulation Intervention [34]

En este proyecto realizado en México, se implementó un robot asistencial para el tratamiento de PwD llamado Eva, el cual ejercía el rol de terapeuta conversacional con el fin de mitigar las consecuencias de una interacción inapropiada con ellos. Su solución plantea un motor de procesamiento de lenguaje natural y un sistema de personalización basado en perfiles médicos

del paciente donde tienen en cuenta su etapa de demencia, tiempos de respuesta del usuario y sus actividades de preferencia. En los resultados se encontró que los PwD tenían cambios positivos considerables en su comportamiento a corto y largo plazo, además los pacientes que se encuentran en etapas moderadas aceptaban mejor el estímulo resultante de la interacción con el robot.

Subjective Evaluation of Use of Babyloid for Doll Therapy [29]

En este trabajo se utiliza un robot Babyloid, el cual presenta actuadores en su rostro permitiéndole expresar 6 estados de ánimo al momento de interactuar con el paciente. Además, su apariencia de bebe fomenta la aceptación por los PwD y les permite sentirse útiles al verse comprometidos con el cuidado del robot. Esta solución propone el empoderamiento de los usuarios asignándoles aparentes responsabilidades sin las mínimas implicaciones y facilita una aplicación de la “doll-therapy” para reducir el estrés y la ansiedad en el corto y mediano plazo.

Use of Seal-like Robot PARO in Sensory Group Therapy for Older Adults with Dementia [28]

En esta alternativa de solución se usa el robot PARO, diseñado para ser usado como terapia de mascota. Este proyecto resulta ser el más básico presentado, pues únicamente responde al usuario mediante luces que imitan emociones y no posee actuadores que le permitan movilidad. Esta solución disminuye los niveles de ansiedad y estrés de los PwD, lo que mejora su comportamiento al aumentar su capacidad física y su actividad social. Además, es altamente aceptado por los pacientes puesto que se han realizado múltiples estudios de validación desde perspectivas funcionales y médicas comprobando de esta manera que la interacción con el robot es efectiva después de tres meses de utilizarlo.

Rehabilitation care with Pepper humanoid robot: A qualitative case study of older patients with schizophrenia and/or dementia in Japan [86]

En este proyecto se trabaja con el robot humanoide Pepper para el cuidado de personas con demencia y esquizofrenia. La solución plantea sesiones de ejercicio físico-mental dirigidas por el robot, generando en el PwD momentos de remembranza y sensaciones de felicidad en el proceso debido a la estimulación de las funciones cognitivas. En los resultados, se evidenciaron dificultades en la interacción PwD-Robot ya que se trabajó con un grupo bastante diverso respecto al avance en la condición de demencia. A pesar de esto, se comprobó que las

actividades de entretenimiento realizadas por el robot facilitan la interacción y comunicación del PwD en etapas avanzadas. De igual manera, se corroboró que las capacidades del robot Pepper proporcionan valor al proveer estímulos necesarios para usuarios con una condición de demencia avanzada.

Discovering Activities to Recognize and Track in a Smart Environment [87]

Esta alternativa de solución trabaja con un ambiente inteligente (*Smart environment*), el cual percibe el estado de una persona en un entorno físico por medio de sensores. De este modo, al recibir eventos, se identificaba la actividad utilizando técnicas para detectar patrones teniendo en cuenta la regularidad, consistencia y completitud con la cual los usuarios realizan cierta tarea en sus rutinas. Este proyecto no aporta un soporte emocional al paciente, sin embargo, cumple su objetivo de reconocer y modelar las actividades diarias de las personas para disminuir la carga de trabajo al cuidador.

Introducing the Social Robot MARIO to People Living with Dementia in Long Term Residential Care: Reflections [88]

Este proyecto tiene un enfoque similar a este trabajo de grado. Se utiliza a Mario, el cual es un robot similar a una torre con una pantalla integrada. Este busca brindar apoyo social a los PwD a partir de su capacidad de recepción de comandos de voz. Su software posee el calendario predeterminado del usuario con sus actividades rutinarias, además incluye actividades de entretenimiento a realizar únicamente en la tableta, Estas actividades se soportan en un banco de recuerdos, el cual le permite recordar todas las canciones, fotos y anécdotas de su vida.

Si bien el proyecto presenta habilidades de entretenimiento, estas parecen ser insuficientes debido a que el único punto de interacción es la tableta y esta posee una baja gama de actividades a realizar. Además, el estilo tan robusto del robot no fomenta la atención del PwD, lo cual dificulta un completo desarrollo de las actividades sin perder la concentración.

A Pilot Study on Using an Intelligent Life-like robot as a Companion for Elderly Individuals with Dementia and Depression [89]

En este proyecto se trabaja con un robot de compañía llamado Ryan para mejorar la calidad de vida de adultos mayores con demencia y/o depresión. El robot en la capacidad de interpretar y responder a las emociones de los usuarios utilizando expresiones faciales y voz, participar en conversaciones y recordarles sus actividades diarias. Además, con el objetivo de enganchar o

involucrar a los pacientes se presentan juegos y actividades de reminiscencia personalizadas en una pantalla que tiene integrada en su torso.

Sin embargo, a pesar de presentar una gran similitud con este trabajo de grado, no existe una gran variedad de actividades que produzcan efectos deseables a nivel emocional. Además, al ser un robot que no tiene la capacidad de moverse no brinda una impresión de acompañamiento más natural e interacción más significativa al adulto mayor.

Speech recognition in Alzheimer’s disease with personal assistive robots [90]

Esta alternativa plantea una plataforma robótica llamada ED, la cual fue diseñada para usarse como un cuidador y de esta manera, ayudar a un PwA a realizar sus actividades diarias. En este contexto, este proyecto trabaja principalmente en mostrar la importancia del correcto entendimiento del habla de las personas con esta enfermedad, pues permite comprender mejor sus comportamiento y necesidades. Por lo tanto, el robot brinda ayuda al usuario teniendo en cuenta las respuestas que va recibiendo al ayudarlo a realizar actividades básicas como lavarse las manos y servir el té.

4.2 Tabla de Comparación de alternativas

Como se ha visto hasta el momento, la totalidad de los trabajos se relacionan con el uso de tecnología con relación al cuidado y asistencia de adultos mayores. Para fines comparativos, se tuvieron en cuenta los 4 ejes principales del proyecto presentado en este trabajo de grado, los cuales se muestran en la Tabla 5. Ejes principales del TG .

criterio	Descripción
Robot Utilizado	Se consideró si el robot era humanoide y las facilidades que presenta para estimular la interacción con el usuario, entre estas: habla, escucha y movilidad.
Soporte Emocional	Se tuvieron en cuenta las capacidades y facilidades del sistema para reconocer y expresar emociones durante la interacción del usuario
Personalización	Se tuvieron en cuenta las posibilidades de personalización durante las actividades seleccionadas, por ejemplo: si la actividad incluía contenido propio del usuario.
Entretenimiento	Se tuvo en cuenta la dimensión, según Salichs [12], en la cual se desempeñaban las actividades realizadas por el proyecto. Adicionalmente, la dimensión de entretenimiento fue dividida en dos subcriterios teniendo en cuenta si las actividades realizadas por el sistema eran enriquecidas mediante la personalización o no.

Tabla 5. Ejes principales del TG

Además, se agregaron dos criterios adicionales, uno relacionado con el manejo de múltiples metas de manera concurrente en el proyecto y otro relacionado con el proceso de verificación con el fin de evidenciar la fiabilidad de los resultados presentados en cada proyecto. En la Tabla 6. Trabajos relacionados, se usa la convención “x”, la cual muestra que el sistema en cuestión cumple con dicho criterio; por otro lado, la ausencia de la convención denota que el sistema no lo cumple.

Criterios	Subcriterios	[83]	[84]	[85]	[35]	[34]	[29]	[28]	[86]	[87]	[88]	[89]	[90]
Robot	Humanoide		x	x	x		x		x			x	
Flexibilidad de la interacción	Habla	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
	Escucha	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x
	Movilidad		x		x		x		x		x		x
Dimensión	Estimulación		x	x	x	x	x	x					
	Asistencia Personal	x			x				x		x		x
	Entretenimiento (Enriquecido)												
	Entretenimiento (No Enriquecido)	x		x			x		x			x	
	Safety									x			
Reconocimiento de emociones	Ira	x										x	
	Tristeza	x										x	
	Temor	x										x	
	Desprecio	x										x	
	Asco	x										x	
	Sorpresa	x										x	
	Felicidad	x										x	
Expresión de emociones primarias	Facial	x					x					x	
	Lenguaje corporal	x	x				x						
Manejo de Metas	Única Meta			x	x	x			x	x		x	x
	Múltiples metas no concurrentes	x	x								x		
	Múltiples metas concurrentes												
Personalización	Dificultad	x		x									

	Gusto por actividad	x		x								x	
	Perfil Médico												
	Perfil Histórico	x		x								x	
Validación	Emocional	x											
	Médica		x		x								
	Feedback	x		x		x	x	x	x		x	x	x
	Cognitiva		x			x							

Tabla 6. Trabajos relacionados

Como se evidencia en la tabla anterior, la mayoría de los sistemas presentados cubren la dimensión de estimulación, gracias a sus capacidades de escucha y habla, las cuales resultan vitales al interactuar con PwA. Por el contrario, la mayoría de los sistemas presentados carecen de las capacidades emocionales necesarias para hacer soporte emocional, lo cual es entendible según el tipo de actividades que realizan. De igual manera, solo dos de los sistemas implementan personalización y no existe ninguno que tenga en cuenta características medicas propias de la vejez al momento de adaptar las actividades.

No obstante, no hay ningún sistema de soporte emocional basado en entretenimiento que apalanquen los servicios de personalización y los integre, de manera que se puedan enriquecer y adaptar las actividades realizadas con PwAs, y expresar emociones por medio del robot con el fin de generar empatía. Así mismo, en la revisión bibliográfica no se encuentran sistemas de soporte emocional que manejen múltiples metas de manera concurrente con el objetivo de adaptarse de una manera más eficiente a la interacción emocional con el PwA al tomar decisiones en tiempo real.

Teniendo esto en cuenta, se hace relevante la existencia de RES-PwA, un sistema de entretenimiento que realiza actividades en pro de generar soporte emocional para adultos mayores que padezcan de Alzheimer. Este sistema se vale de información relevante para el paciente como lo es la información médica, histórica, familiar y de preferencias para enriquecer y personalizar las actividades provistas. De igual manera, el sistema hace uso de múltiples sensores y cámaras para detectar el estado emocional del paciente y responde de manera empática según el contexto, lo que brinda flexibilidad a la interacción y provee el espacio necesario para que el PwA pueda expresar sus sentimientos.

IV- ANÁLISIS DEL PROBLEMA

A continuación, se describen brevemente las especificaciones en las cuales se basó RES-PwA, de manera que se pudiera lograr el objetivo general. Estas especificaciones abarcan en detalle: las funcionalidades del producto final, los requisitos funcionales y no funcionales; las metas del sistema BDI y las restricciones bajo las cuales fue desarrollado.

5 Especificación Funcional

En la Ilustración 3. Diagrama de Casos de Uso, se presenta la descripción de alto nivel de las funcionalidades de RES-PwA, las cuales fueron propuestas por el equipo de trabajo, y refinados en conjunto con expertos en geriatría y psicología. La explicación detallada de los CUs se puede encontrar en el [Anexo Documentación de casos de uso](#). Cabe aclarar que la selección de las actividades de entretenimiento se hizo en compañía de expertos teniendo en cuenta ciertos criterios los cuales se explican en el [Anexo Selección de Actividades](#).

5.1 Diagrama de Casos de Uso

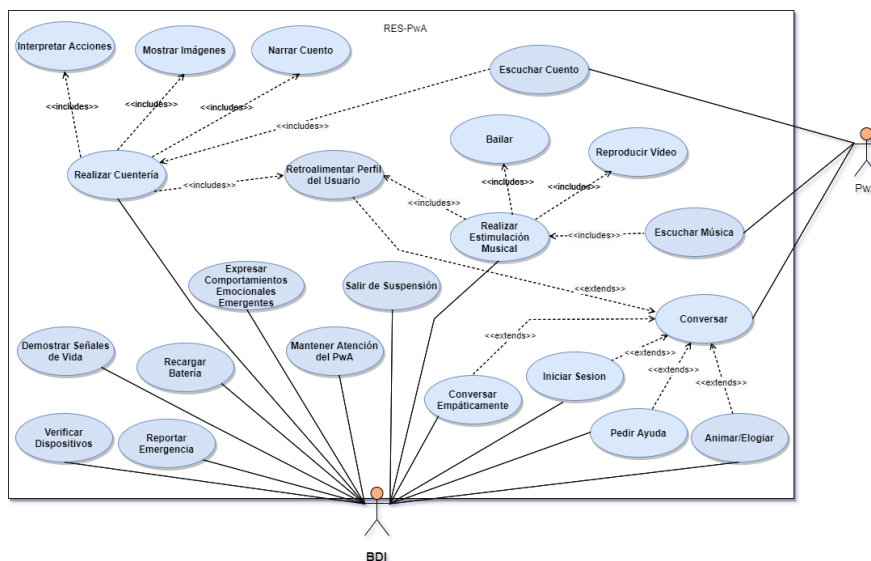


Ilustración 3. Diagrama de Casos de Uso

Con el fin de evidenciar la relevancia de los casos de uso en el sistema, se realizó una priorización de estos, lo que nos permitió identificar aquellas funcionalidades relevantes al proyecto, pues poseían mayor importancia al momento de alcanzar el objetivo general. Para

esta priorización se utilizó *Planning Poker*[91], teniendo en cuenta la forma de medición de *T-shirts*[92].

Actor	Requisito	Puntaje	Número
BDI	Realizar estimulación musical	XXL	5
PwA	Escuchar música	XXL	5
BDI	Realizar cuentería	XL	4
PwA	Escuchar cuento	XL	4
BDI	Conversar Empáticamente	L	3
PwA	Conversar	L	3
BDI	Mantener atención PwA	M	2
BDI	Animar/Elogiar	M	2

Tabla 7. Priorización de los Casos de Uso

Como se ve en la Tabla 7. Priorización de los Casos de Uso existen 4 funcionalidades prioritarias en este proyecto correspondientes a las actividades de entretenimiento. De igual manera, se tuvieron en cuenta los casos de uso que se incluyen de los prioritarios pues su precedencia era de vital importancia para alcanzar el objetivo principal. En este caso, los que más le aportan al usuario final son los relacionados con las actividades de Estimulación musical y cuentería. Teniendo esto en cuenta, se presenta el diagrama BPMN del proceso principal del sistema (Ilustración 4. Diagrama BPMN Estimulación musical).

5.2 Diagramas de procesos

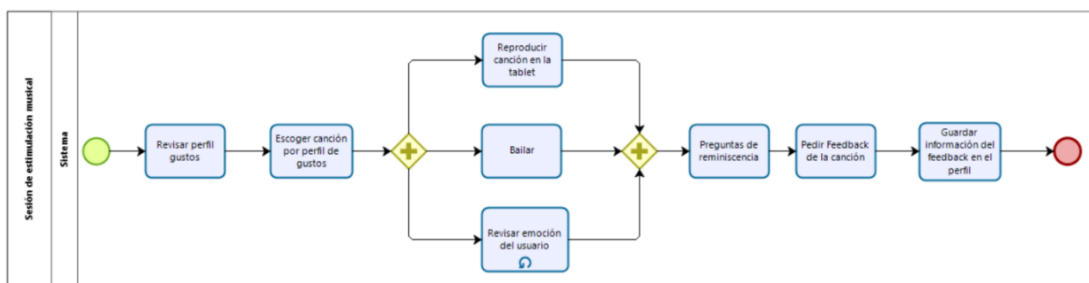


Ilustración 4. Diagrama BPMN Estimulación musical

La actividad de estimulación musical comienza desde la revisión del perfil de gustos del usuario que se encuentra en sesión. De esta información, en la cual se encuentran contenidos varios datos reminiscentes como son las melodías, historias, entre otros, se escoge una canción a reproducir. En este punto se realizan las actividades que componen la estimulación musical: el movimiento de baile, la reproducción del audio-video, y la revisión periódica del estado emocional del usuario. Finalmente, para obtener información sobre la actividad y el contenido

enseñado, se desarrollan unas preguntas sobre la actividad (preguntas de reminiscencia) y se realiza una pequeña retroalimentación, a partir de la cual se actualiza el nivel de gusto de los datos almacenados.

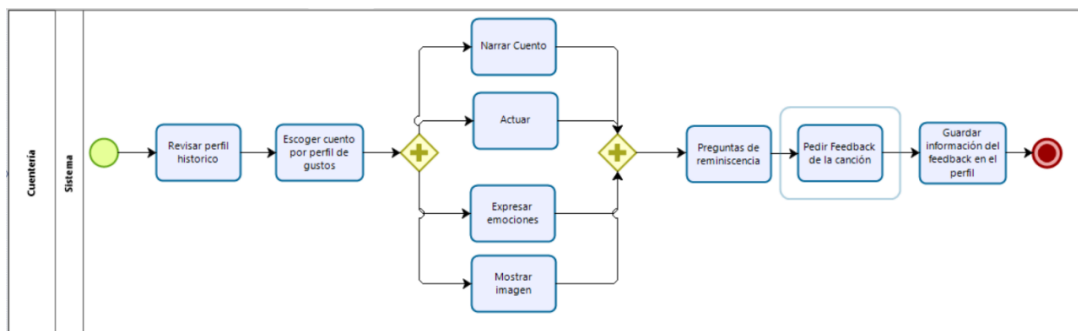


Ilustración 5. Diagrama BPMN Cuentaría

El proceso de cuentería empieza; al igual que en musicoterapia, desde la revisión del perfil de gustos del usuario y se escoge el cuento a desarrollar por perfil de gustos. Se adecua la Tablet en cuanto a volumen y brillo, de acuerdo con las características del usuario; y se procede a realizar una narración por parte del robot con el enriquecimiento propio de la cuentería: las actuaciones básicas y la expresión emocional de acuerdo con el contexto del cuento. Para terminar, se hace el mismo proceso de retroalimentación con el fin de actualizar los gustos del usuario.

6 Metas del Sistema BDI-CHA

Con el fin de especificar la funcionalidad del sistema desde una perspectiva autónoma, se presentan a continuación las metas del Sistema BDI-CHA. Para definir estas metas, se realizó una descomposición a partir de la meta general del sistema “Brindar soporte emocional, personalizado y basado en entretenimiento a PwA con el robot Pepper” y los posibles escenarios que podrían tener lugar al momento de la interacción entre el sistema y el usuario. La descomposición de estas metas se encuentra en el [Anexo Descomposición de Metas](#).

Una vez identificadas las metas, se procedió a categorizarlas según la pirámide explicada en la sección 3.7.1 *Agentes Belief-Desire-Intention (BDI) y la Arquitectura BDI-CHA* e ilustrada en la Ilustración 6. Metas del sistema. En esta imagen se evidencia que se categorizaron 3 metas en el nivel *Survival*, 3 en el nivel *Obligation*, 2 en el nivel *Oportunity*, 4 en el nivel *Facilitating* y 1 en el nivel *Life-like behaviours*.

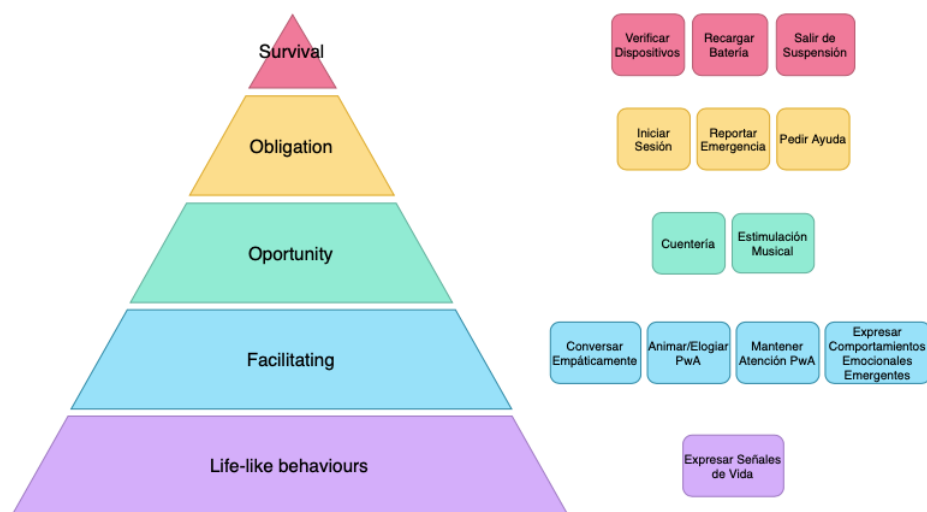


Ilustración 6. Metas del sistema

7 Requerimientos

Una vez establecidas las funcionalidades generales de RES-PwA, se procedió a abstraer requisitos funcionales y no funcionales (RNF), para brindar una solución a la problemática expuesta en la sección 1.2 Formulación del Problema y para satisfacer las características del sistema propuesto en la sección 1.3 Propuesta de Solución

Los requisitos fueron priorizados según su nivel de precedencia frente a los otros y su importancia dentro del sistema con relación a los objetivos del proyecto y su relevancia en los casos de uso priorizados anteriormente. Los requisitos más importantes del sistema se muestran en la Tabla 8. Requisitos relevantes para RES-PwA. Si desea revisar la especificación completa y la trazabilidad de los requisitos remítase al anexo [SRS](#).

ID	Especificación
INTE-003	El sistema debe evaluar el estado emocional del PwA.
INTE-010	El sistema debe estar en la capacidad expresar su estado emocional interno
PERS-003	El sistema debe poder personalizar las actividades de acuerdo con las preferencias del usuario PwA
REND-001	RNF: El sistema debe tener un tiempo de respuesta menor a cinco segundos en todas sus solicitudes.

Tabla 8. Requisitos relevantes para RES-PwA

8 Restricciones

En esta sección se presentan las restricciones bajo las cuales se desarrolló y se desplegó el sistema. Las restricciones se muestran en la Tabla 9. Restricciones.

Tipo de Restricción	Contenido
Restricciones Generales	<ol style="list-style-type: none"> 1. El idioma de las actividades será español de Colombia. 2. El idioma con el cual Pepper interactuará con el PwA será español. 3. Pepper únicamente interactuará con un PwA a la vez. 4. El sistema debe ser tolerante a fallos, ya que al interactuar con PwA es de una criticidad considerable.
Restricciones de Software	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema será desarrollado utilizando NAOqi y JAVA en la versión especificada. 2. El sistema debe ser persistente en relación con datos críticos como el perfil del usuario. 3. El sistema contará con las APIs de Pepper para su desarrollo. 4. El sistema debe contar con una base de datos para almacenar los datos del usuario.
Restricciones de Hardware	Todos los componentes de RES-PwA deben estar conectados a Internet o a una LAN, tanto computadores como el robot.
Restricciones de Seguridad	Al manejar información sensible como la información médica, el sistema deberá estar en la capacidad de transmitir e interpretar este tipo de información sin exponerla a brechas de seguridad.

Tabla 9. Restricciones

V- *DISEÑO DE LA SOLUCIÓN*

En la presente sección se especifican los modelos relacionados con el diseño del software. Primero, se encuentra el modelo entidad-relación donde se presentan las entidades y, además, los modelos arquitectónicos con los cuales se estructura el sistema RES-PwA.

9 Modelo Entidad-Relación

Para tener una caracterización completa de las entidades a utilizar en el sistema, se procedió a identificar la información relevante para el PwA. Se diseñaron una serie de entrevistas las cuales fueron aplicadas a especialistas en psicología ([Anexo entrevista psicología](#)) y geriatría ([Anexo entrevista geriatría](#)) con el fin de tener un mejor entendimiento de las necesidades y comportamientos del PwA. A partir de los resultados de las entrevistas, se consideraron los siguientes aspectos descritos a continuación:

Datos personales: es importante conocer su información personal como: edad, nivel educativo, profesión, familiares (su respectivo parentesco), fotos, canciones y eventos de momentos significativos en su vida. De esta manera, es posible delimitar cierta información de acuerdo con vivencias o temas relacionados a sus conocimientos para poder generar un escenario de interacción en el cual el PwA se desenvuelva fácilmente; además, poder utilizar las imágenes, canciones y eventos para la implementación de algunas actividades.

Datos médicos: se debe conocer si el PwA presenta limitaciones (discapacidades, evolución de la enfermedad y cuadro sintomatológico actual) que se deban tener en cuenta para que no dificulte su interacción con el sistema.

Preferencias: se compone de canciones, géneros musicales y cuentos. Estos datos permiten al sistema ajustar cada una de las actividades planteadas e ir adaptándolas en cada interacción con el usuario

Teniendo en cuenta lo recopilado, se realizó el diagrama entidad-relación que se muestra en la Ilustración 7. Modelo entidad-relación del perfil del usuario. Se observa una entidad Usuario la cual representa al PwA, contiene su información personal y se asocia con el perfil médico y el perfil de preferencias. Cabe resaltar que a pesar de que en este trabajo de grado no se utilizó la información relacionada al tipo de demencia y a la escala FAST, esta puede ser utilizada

para enriquecer los planes y las actividades que provee el sistema desde un punto de vista médico.

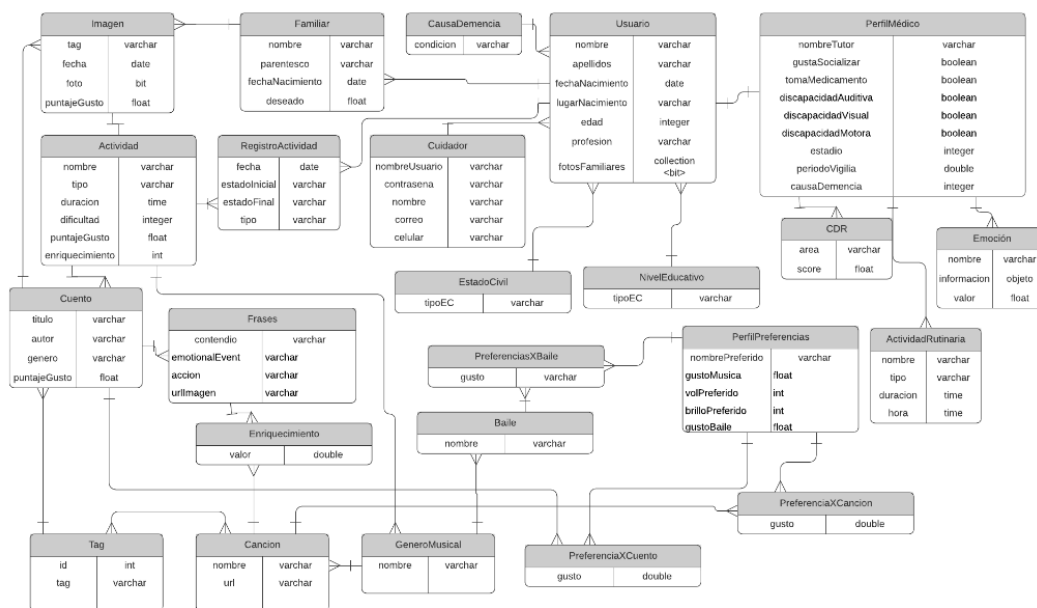


Ilustración 7. Modelo entidad-relación del perfil del usuario

10 Arquitectura

En esta sección se muestra una descripción de la arquitectura a partir de diferentes vistas, las cuales permiten una comprensión general de cada elemento desarrollado. Cabe resaltar que se les dio prioridad a 2 atributos de calidad para el sistema RES-PwA, los cuales fueron: eficiencia y extensibilidad. La eficiencia resulta de vital importancia al momento de interactuar con PwA, ya que es necesario que el sistema reaccione rápidamente a los cambios en el estado de ánimo del usuario. Por otro lado, teniendo en cuenta la constante evolución de los robots y sus framework, se hace necesaria la extensibilidad de manera que el sistema pueda añadir nuevos módulos de software e inclusive cambiar de robot sin realizar cambios significativos. En el [Anexo: SDD](#) se puede encontrar una descripción más detallada de cada uno de los diagramas.

10.1 Vista lógica

En la Ilustración 8. Diagrama de Overview Arquitectural, se muestra que el sistema se compone de dos unidades lógicas principales, el cliente y el servidor. En este caso, se evidencia que el servidor se compone de la unidad lógica Pepper Robot, y el cliente de las unidades lógicas

Python Utilities y RES-PwA Agent. A continuación, se presenta una descripción de cada unidad lógica:

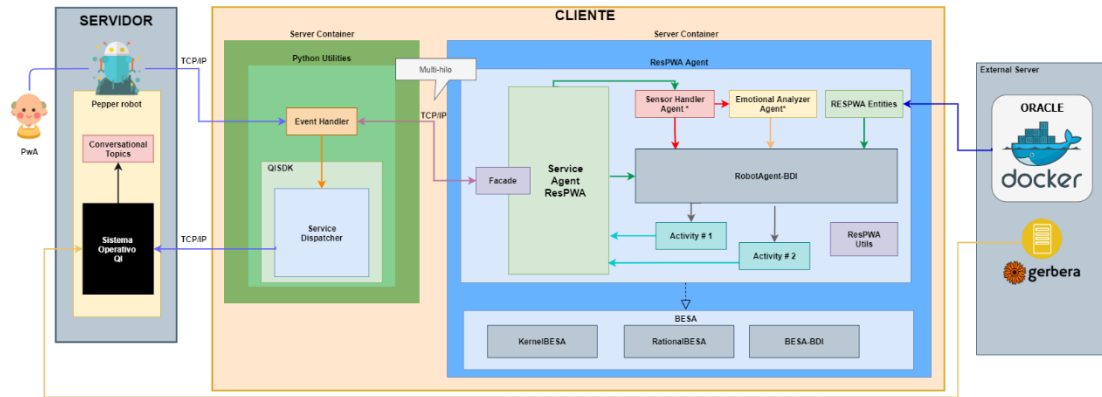


Ilustración 8. Diagrama de Overview Arquitectural

Pepper Robot: contiene el sistema operativo Qi, el cual provee y gestiona los servicios relacionados a los sensores, actuadores y otras funcionalidades que dan lugar a la interacción del robot con el PwA. Así mismo, contiene la definición e implementación de los tópicos utilizados por el servicio de dialogo, de manera que el sistema pueda sostener una interacción verbal con el usuario.

Python Utilities: se compone del manejador de eventos y del *service dispatcher*. Por un lado, el manejador de eventos se encarga de gestionar las peticiones de Agent RES-PwA hacia Pepper Robot, y de informar los eventos captados por los sensores a Agent RES-PwA. Por otro lado, el Service Dispatcher, se encarga de distribuir estas peticiones a los diferentes servicios provistos por *Pepper Robot*, de manera que se pueda manejar la concurrencia al seleccionar los sensores y/o actuadores que serán utilizados en un momento específico de la interacción con el PwA. Así mismo, el *Service Dispatcher* se encarga de suscribirse a eventos asincrónicos provistos por Pepper Robot, de manera que acciones no predecibles resultantes de las interacciones entre el robot y el usuario puedan ser manejadas.

RES-PwA Agent: Unidad lógica que agrupa los agentes BESA, cuya cooperación permite la toma de decisiones del sistema teniendo en cuenta los datos provenientes del robot Pepper, todo esto con el fin de poder seleccionar y ejecutar un plan de manera concurrente que aporte a la meta general del sistema y al manejo de acciones no predecibles.

10.1.1 Vista de Agentes

Para ahondar más en el módulo RES-PwA Agent, es menester aclarar que el diseño de este módulo está basado en una arquitectura en agentes, estructurada a partir de la metodología AOPOA[93] (Agent-Oriented Programming based on a Organizational Approach). Se selecciono el paradigma basado en agentes porque, como menciona González[25], este se basa en una arquitectura distribuida y dinámica, es escalable y flexible, está orientado a metas y posee la habilidad de aprender y adaptarse a un contexto específico.

En el diseño del módulo RES-PwA Agent, el paradigma de sistemas MultiAgentes (SMA) fue seleccionado porque promueve la eficiencia del sistema[94] al dividir una tarea compleja, como proveer soporte emocional personalizado basado en entretenimiento, en tareas más simples asignadas a agentes diferentes. Esto es acorde a la metodología AOPOA[93], donde un SMA es comprendido como una organización en la cual cada una de sus partes tiene una responsabilidad clara que aporta al objetivo global del sistema[3]. Esta asignación de agentes y roles se describe brevemente en la Tabla 10. Componentes BESA.

Agente	Funciones
Robot Agent-BDI	Tomar decisiones a partir de las necesidades PwA y las metas presentes en el sistema. Además, se encarga de generar planes para que sean ejecutados por el Robot Pepper. Esta implementado según BDI-CHA
Service Agent ResPWA	Se encarga de delegar las solicitudes hechas por el agente RobotAgent hacia el <i>Facade</i> de manera que varias acciones sean ejecutadas en la unidad lógica Pepper Robot. Facilita la extensibilidad del sistema en caso de querer agregar nuevos módulos funcionales hacia servicios externos.
Sensor Handler	Maneja la información proveniente de los sensores del Robot Pepper y las distribuye según la índole de la información. Así mismo se encarga de hacerle tratamiento a esta información en caso de ser requerido.
Emotional Analyzer	Se encarga de generar eventos emocionales a partir de las emociones del PwA y otros eventos relacionados con la interacción. El agente Emotional Analyzer recibe datos brutos de parte del SensorHandler y aplica en ellos una lógica de transformación para generar tipo de eventos emocionales.
ResPWA Entities	Tiene como función gestionar el perfil del PwA con el cual se interactúa. La gestión del perfil incluye tanto la modificación de este según la interacción del sistema con el PwA, como brindar la información necesaria para la personalización de las actividades del sistema.
Activities	Hacen relación a las actividades propuestas por el sistema a realizar con los PwA. En ellas se encuentran las clases que permiten, mediante la información obtenida por la base de datos, personalizar y modificar el enriquecimiento de las actividades de cuentería y musicoterapia.

Facade	El facade implementa la lógica de integración con el robot seleccionado por el sistema RES-PwA. De esta manera, el componente permite la extensibilidad de la arquitectura al facilitar el cambio de robot.
--------	---

Tabla 10. Componentes BESA

De igual manera, en esta vista es de vital importancia representar la comunicación entre agentes BESA, de manera que sea vean expresadas las responsabilidades de cada uno y como colaboran entre sí. Para esto, se presenta la Ilustración 9. Diagrama de Comunicación entre agentes, donde se muestra de manera general, el proceso de intercambio de información entre agentes para una correcta toma de decisiones.

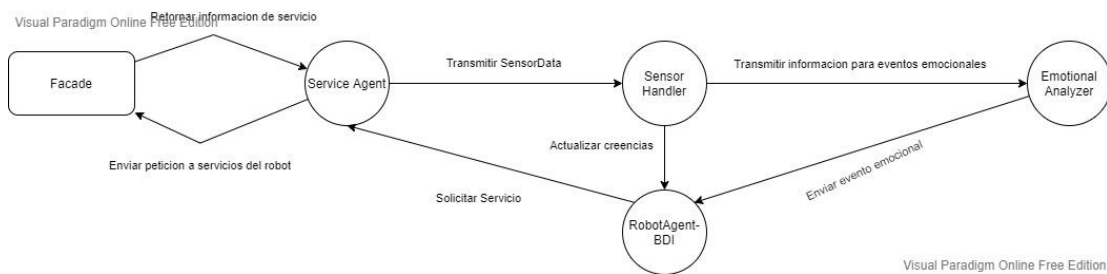


Ilustración 9. Diagrama de Comunicación entre agentes

10.2 Vista de Implementación

A continuación, en la Ilustración 10. Vista de Paquetes se presenta la distribución de los paquetes que componen el desarrollo de RES-PwA. Esta vista es situada dentro de la unidad lógica *RES-PwA Agent* y permite evidenciar como el framework BESA-DBI fue extendido para satisfacer los requisitos presentados previamente. En la parte exterior se encuentran los paquetes de los cuales se extiende la funcionalidad, en este caso se tienen en cuenta, tanto de los paquetes de utilidades como Firebase y Google, como el framework de agentes BESA.

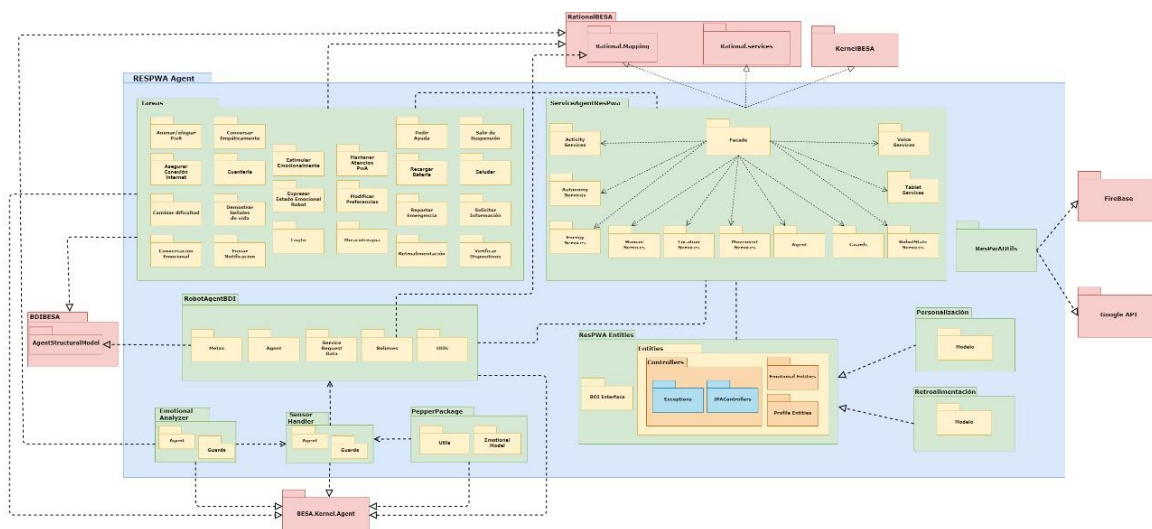


Ilustración 10. Vista de Paquetes

Al interior de la Ilustración 9. Vista de Paquete, se encuentran los paquetes distribuidos por su aporte al sistema, desde las entidades que representan el perfil del usuario PwA, hasta la implementación de agentes BESA y BDI-BESA.

Los elementos más importantes del diagrama, así como descripción de su utilidad dentro del sistema son descritos en la Tabla 11. Paquetes RES-PwA. En caso de requerir la descripción completa de todos los elementos diríjase al [Anexo: SDD](#).

Paquete	Descripción
RESPWA Agent	Es el sistema completo, hace referencia al módulo RES-PwA Agent del diagrama lógico.
BESA	Son los diferentes componentes que existen de BESA y que son extendidos por el sistema RES-PwA para proveer una funcionalidad completa al momento de proveer soporte emocional mediante entretenimiento al PwA. Entre ellos se encuentran: RationalBESA, KernelBESA, BDIBESA y LocalBESA
ResPWA Entities	Hace referencia a cada una de las entidades existentes dentro del perfil del PwA y a aquellas entidades utilizadas en RES-PwA.
Robot Agent BDI	De acuerdo con la arquitectura BDI-CHA propuesta, este paquete contiene lo relacionado con el agente racional del módulo RES-PwA Agent. En este se definen las metas utilizadas en la etapa deliberativa al igual que las creencias del agente.
Pepper Package	En este paquete se extiende el comportamiento del SMA para que pueda ser utilizado en conjunto con el robot Pepper. Incluye las restricciones máximas de configuración asociadas con el robot y la especificación del adapter utilizado.
Adapter	En el paquete adapter se especifica la lógica base para la integración de cualquier robot al sistema. Debe ser extendido para poder agregar un robot.

Tabla 11. Paquetes RES-PwA

VI- DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

En esta sección se presenta la metodología propuesta en el trabajo de grado en relación con el proceso de creación e implementación de RES-PwA. Posteriormente, se muestra evidencia del proceso mencionado anteriormente para cada uno de los módulos principales del sistema.

11 Metodología

Cada una de las fases presentadas en la Ilustración 11. Fases metodológicas RES-PwA, fue realizada teniendo en cuenta el modelo ágil SCRUM, específicamente adaptando las fases planteadas en Abrahamsson et al. [95].

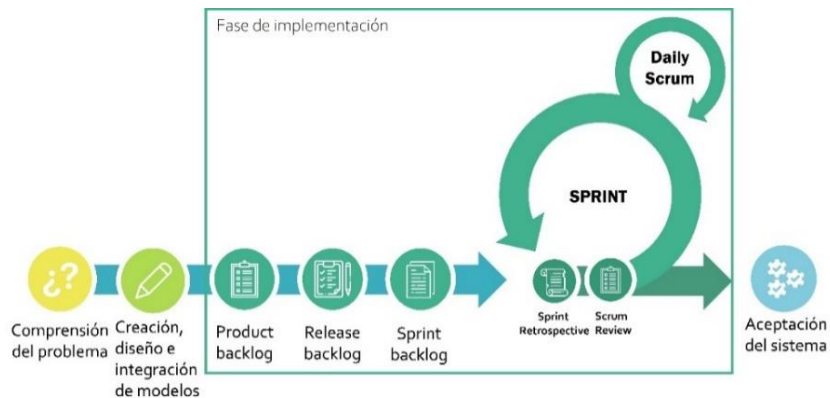


Ilustración 11. Fases metodológicas RES-PwA

11.1 Fase de comprensión del problema

Esta fase hace referencia a la sección de planeación en la fase de pre-juego especificada en Abrahamsson et al. [95], en la que se incluye la definición del sistema y la captura de requisitos inicial. Durante esta fase, se estableció comunicación con expertos en las ramas de geriatría, psicogeriatría y neuropsicología, con el fin de profundizar en la problemática, capturar requisitos y crear una versión inicial del Product Backlog. Así mismo, se realizó una investigación sobre trabajos de problemática similar, igual que de módulos que pudieran ser de utilidad para nuestro proyecto, en este caso se adato el modelo emocional de la tesis doctoral DramaBot[3].

11.2 Fase de creación, diseño e integración de módulos

Al igual que la fase de comprensión del problema, esta fase fue planteada a partir de la fase de pre-juego propuesta por Abrahamsson et al. [95] e incluye la esquematización, diseño general y de interfaces de integración de los módulos propuestos por RES-PwA. De igual manera, durante esta fase metodológica se identificaron y diseñaron los agentes de software correspondientes al módulo Agent-RESPwA. Los resultados de esta fase metodológica se evidencian en la Sección V DISEÑO DE LA SOLUCIÓN.

11.3 Fase de Implementación

La Fase de se basó en la fase de juego o desarrollo, estipulada en Abrahamsson et al. [95]. Esta fase fue netamente iterativa, según los lineamientos provistos por la metodología SCRUM y consistió en actividades de diseño y de desarrollo, para esto, se realizó un análisis más detallado de cada requisito, su implementación y su evaluación unitaria.

Cabe resaltar que se realizaron sprints de una semana, donde se evaluaba el estado de cada requisito presente en el Sprint Backlog. De igual manera se identificaba y mitigaba la presencia de riesgos en el proyecto. Estos riesgos se relacionaron, en su mayoría, con tener *acceso* al robot *Pepper* durante las etapas críticas de la pandemia; y las actualizaciones en las tecnologías brindadas por SoftBank Robotics para los desarrollos con el robot Pepper.

Además, se ajustaron los requisitos de acuerdo con la opinión de los expertos y los obstáculos presentados durante la implementación. En el Capítulo 12. Implementación se muestran los resultados producidos durante esta etapa. Finalmente, durante esta fase se diseñaron los protocolos de prueba, según el estándar IEEE 829-2008 [42].

11.4 Fase de Aceptación

La Fase de correspondió a la fase de post-juego de Abrahamsson et al. [95] en la cual se verifica la calidad del sistema y sus funcionalidades. Teniendo esto en mente, se realizaron pruebas a nivel de unidad, de integración, a nivel de sistema y a nivel de aceptación del usuario/experto. Esto se explica con mayor detalle en la Sección VII-RESULTADOS.

12 Implementación

En este capítulo se presenta el diseño a bajo nivel de cada uno de los módulos presentados en la Sección V DISEÑO DE LA SOLUCIÓN, en conjunto con su respectiva funcionalidad.

12.1 Desarrollo del módulo Agent-RESPwA.

El módulo Agent-RESPwA está compuesto por agentes y está encargado de la toma de decisiones según la interacción que se tiene con el usuario. En este módulo se implementó la lógica relacionada a las metas del sistema, así como la lógica relacionada con la personalización, la modulación emocional y la integración con la base de datos. Agent-RESPwA este compuesto de 142 clases, las cuales se explican a mayor detalle en el Anexo: Diagrama de Clases Agent-RESPwA.

Este módulo se realizó utilizando el framework BESA-BDI [25] del grupo SIRP de la Universidad Javeriana. La versión utilizada del framework permite la ejecución de un único plan, pero su posterior expropiación en caso de que otro plan aporte más al objetivo general del sistema. Así mismo, el framework brinda la posibilidad de ejecutar tareas, que forman parte de un plan, de forma concurrente.

Para este trabajo de grado se implementaron 3 agentes BESA y 1 agente BDI-CHA con 13 metas y 22 tareas, las cuales comprenden la lógica necesaria para brindar soporte emocional mediante actividades de entretenimiento al usuario. Así mismo, se implementó una fachada para la comunicación entre este módulo y el módulo Pepper Robot.

Adicional a lo mencionado anteriormente, se desarrolló: un componente de modulación emocional, para la gestión del estado emocional interno del robot; Un componente de integración para la base de datos y el perfil de usuario; Un modelo de selección para elementos del perfil del usuario; y un modelo de retroalimentación del usuario para adaptar los gustos en el perfil a partir de la interacción con el robot,

12.1.1 Agente RobotAgent- BDI

El agente RobotAgent es el encargado de realizar las etapas de deliberación y de medios fines del sistema con el fin de seleccionar la acción más apropiada para brindar soporte emocional al PwA. Para esto, el agente evalúa 5 aspectos de su entorno y de la interacción con el PwA, los cuales se encuentran especificados en la Tabla 12. Creencias del Agente RobotAgent BDI.

Creencias	Descripción
Estado Actividad	Mantiene el contexto relacionado con la actividad en curso, por ejemplo: los recursos utilizados y el estado de cada uno de ellos.
Estado Emocional PwA	Registra el estado emocional del PwA durante una actividad, en conjunto con su atención y relajación al momento de esta.

Estado de la Interacción	Representa el estado de la interacción con el PwA y el contenido de los eventos resultante de esta. Entre los eventos, están las interacciones físicas y verbales entre el PwA y el robot.
Estado del Robot	Contiene el estado interno del sistema, tanto en un nivel emocional como a nivel de hardware.
Perfil PwA	Representa el perfil del usuario, con cada gusto, preferencia o consideración médica

Tabla 12. Creencias del Agente RobotAgent BDI

Respecto a las metas del agente, cuyos planes se modelan a través de un conjunto de tareas, se puede decir que se implementaron 13 metas con un total de 22 tareas. Cabe resaltar que en planes como Animar/Elogiar, se agregó el uso del patrón de Estrategia de manera que, se puedan seleccionar distintos comportamientos en la misma tarea sin cambios en la implementación y según el estado emocional del PwA.

Esta noción de estrategia también fue incluida en el agente EmotionalAnalyzer, al cual se le debe indicar que estrategia utilizar para el procesamiento de la información relacionada con las emociones. Lo anterior resulta pertinente, pues al cambiar de robot es necesario dar un trato distinto a la información emocional sin necesidad de modificar la arquitectura del SMA.

12.1.2 Componente de modulación emocional

El componente de modulación emocional fue adaptado del modelo emocional propuesto por Bravo[3] e implementado por Páez[96], que es inspirado en el modelo de Ortony, Clore, y Collins [97] y su posterior interpretación, realizada por Steunebrink [98]. En este modelo, el robot recibe eventos emocionales, caracterizados tres aspectos: el *tipo de evento*, el *sujeto asociado* al evento y el *objeto/contexto* involucrado en el evento.

Cada aspecto de un evento emocional posee una valencia, que puede ser positiva o negativa según la naturaleza de este en el contexto del agente que recibe el evento. El producto de estas valencias determina la influencia del evento emocional sobre cada uno de los ejes que componen el estado emocional del agente, según las reglas presentadas por Bravo[3].

Para representar el estado emocional del agente, se utilizan una serie de ejes emocionales, los cuales se componen individualmente de dos emociones opuestas, una de valencia positiva [0,1] y una de valencia negativa [-1,0]. Cada eje, se compone además de un valor base que representa el estado emocional base (por defecto) del agente. Así mismo, el impacto de los eventos emocionales en el estado emocional del agente depende de su personalidad, la cual especifica

la importancia que el agente le da a al *tipo de eventos, sujetos asociados y objetos/contexto* del evento emocional recibido.

Para este trabajo de grado, se definieron dos fuentes de eventos emocionales, la primera fuente genera eventos a partir de la interacción con el usuario y la segunda a partir del contenido del cuento seleccionado en la actividad de cuentería. Frente a la interacción con el usuario se definió un actor (El PwA) y 11 eventos emocionales, donde cada evento resultaba de la empatía entre el sistema y el PwA. Algunos de los eventos más importantes se presentan en la Tabla 13. Eventos Emocionales de Origen Interactivo, los demás se pueden consultar en el [Anexo Eventos Emocionales](#).

Nombre del Evento	Descripción
SPOKE	Representa un evento positivo que ocurre cuando el PwA le responde al sistema durante una interacción.
NORESPONSE	Se refiere a un evento negativo que ocurre cuando el PwA no le responde al sistema durante una interacción.
VOICEEMOTION	Corresponde al evento generado luego del procesamiento de los datos emocionales a partir de la voz del PwA, puede tener valencia negativa o positiva según las emociones analizadas.
POSEMOSTATE/ NEGEMOSTATE	Es un evento generado por el EmotionalAnalyzerAgent al procesar la información proveniente de las expresiones faciales del usuario. Puede ser positivo o negativo según el resultado del procesamiento.

Tabla 13. Eventos Emocionales de Origen Interactivo

En el caso de eventos emocionales provenientes del contenido de un cuento, se tenían en consideración el *sujeto, el tipo de evento y el objeto* en cada frase a ser interpretada. Por ejemplo, en el caso “El lobo destruye la casa”, el lobo sería el *sujeto*, con una valencia negativa al ser villano, destruir sería un *tipo de evento* de valencia negativa, y la casa sería el *objeto* de valencia positiva, al pertenecer a los cerditos. Como resultado, se obtendría un evento de valencia negativa que haría que el robot se entristezca.

Respecto a los ejes emocionales, se definió un único eje emocional para el sistema, en este caso Alegría-Tristeza. Este eje se expresaría en 5 intensidades diferentes a partir de los parámetros presentados en la Tabla 14. Parámetros Emocionales.

Nombre	Rango del eje	Parámetros modificados
Muy Feliz	De 1 a 0.6	Color de las LEDS: Amarillo . Imagen de la Tablet y Posición: Ver Anexo: Expresión Emocional Robot - Muy Feliz

Feliz	De 0.6 a 0.2	Color de las LEDS: Amarillo . Imagen de la Tablet y Posición: Ver Anexo: Expresión Emocional Robot - Feliz
Neutro	De 0.2 a -0.2	Color de las LEDS: Blanco. Imagen de la Tablet y Posición: Ver Anexo: Expresión Emocional Robot - Neutro
Triste	De -0.2 a -0.6	Color de las LEDS: Azul . Imagen de la Tablet y Posición: Ver Anexo: Expresión Emocional Robot - Triste
Muy Triste	De -0.6 a -1	Color de las LEDS: Azul . Imagen de la Tablet y Posición: Ver Anexo: Expresión Emocional Robot - Muy Triste

Tabla 14. Parámetros Emocionales

Adicional a lo mencionado en la columna Parámetros Modificados, se realizó modulación emocional de las acciones, modificando los parámetros presentados en la Tabla 15. Atributos con modulación Emocional. Cabe resaltar que se entiende como modulación emocional, según Bravo[3], al enriquecimiento/parametrización de las acciones del agente según su estado emocional.

Atributo	Rango de modulación	Explicación
Velocidad de Movimiento	Entre 1.6 (Tristeza máxima) y 0.9 (Alegría máxima)	Estos valores fueron calculados a partir de la experimentación y normalizados a partir del valor del eje emocional [-1,1]. Para poder demostrar el estado emocional utilizando la velocidad del movimiento, fue necesaria la implementación de animaciones personalizadas.
Velocidad del Habla	Entre 50 (Tristeza máxima) y 125 (Alegría máxima)	Estos valores fueron calculados a partir de la experimentación y normalizados a partir del valor del eje emocional [-1,1], según los rangos límite del sistema operativo QI[99].
Tono de Voz	Entre 1 (Tristeza máxima) y 1.5 (Alegría máxima)	Estos valores fueron calculados a partir de la experimentación y normalizados a partir del valor del eje emocional [-1,1], según los rangos límite del sistema operativo QI[99].

Tabla 15. Atributos con modulación Emocional

Con el fin de plantear datos predeterminados para cada uno de los rangos, se decidió implementar una configuración emocional, la cual es enviada desde el módulo Agent RES-PwA al Python Utilities al momento de iniciar el sistema.

Esto con el fin de mostrar cambios en la postura e imagen mostrada en la tablet de acuerdo con el estado emocional del robot. En el [Anexo Especificación archivos JSON RES-PwA](#) se puede consultar la estructura correspondiente a esta configuración.

En el caso de que el sistema ejecutara planes que requerían del libre movimiento del cuerpo, se implementó el modo interactivo a nivel de BDI, de manera que se desactivara la modulación

emocional a nivel de postura. Para el alcance de este trabajo de grado, esto sucedió en el Plan de Cuentería y en el Plan de Estimulación Musical.

12.1.3 Módulo de integración con la Base de Datos (RESPwA Entities)

Utilizando este módulo, el sistema está en la capacidad de acceder a los recursos de las actividades, el perfil del usuario, la configuración del modelo emocional y las reglas del modelo de retroalimentación. Para la integración, se hace de uso entidades JPA y sus respectivos controladores para el acceso a la base de datos relacional Oracle. Cabe resaltar que la petición de información almacenada en la base de datos se gestionó con una fachada entre este subcomponente y el agente BDI RobotAgent.

Los anexos [Diagrama Entidad relación](#) y [Diagrama Lógico de la base de datos](#), se explican a detalle los modelos lógicos y relacionales utilizados en este trabajo de grado.

12.1.4 Modelo de Retroalimentación

El modelo de retroalimentación permite la actualización de la información del perfil del PwA, a partir de su interacción con el sistema. Inicialmente se planteó una retroalimentación pasiva que tuviera en cuenta las emociones del PwA durante la actividad en ejecución, sin embargo, con ayuda de los expertos en psicología, se llegó a la conclusión de que un modelo de retroalimentación híbrido era el más pertinente.

Teniendo esto en cuenta, el modelo recibe las siguientes entradas:

- Retroalimentación verbal: un valor numérico según los siguientes valores: 0 para una retroalimentación mala; 0.5 para una retroalimentación regular; y 1 para buena.
- Retroalimentación emocional: Es el promedio del valor de las emociones del PwA durante la actividad. Si la emoción es displacentera, este valor es negativo. Luego de esto, se hace una aproximación del valor según la Tabla 16. Escala emocional.

Emoción	Muy Placentera	Placentera	Poco Placentera	Poco Displacentera	Displacentera	Muy Displacentera
Valor	1	0,65	0,35	-0,35	-0,65	-1

Tabla 16. Escala emocional

Cabe resaltar que estos valores se seleccionaron arbitrariamente, teniendo en cuenta que el valor máximo del eje emocional del usuario es 1, pero no fue posible ajustarlos a parámetros obtenidos de usuarios reales, dadas las medidas sanitarias del año 2021.

Teniendo en cuenta estas entradas, se procedió al diseño de un sistema basado en reglas, las cuales se evidencian en la Tabla 17. Modelo basado en reglas CRISP. El modelo fue diseñado con el fin de aproximar el agrado o desagrado que generó la actividad en el usuario, por lo que el valor de la retroalimentación depende del promedio de emociones durante la actividad, y de su correspondiente retroalimentación verbal. En el futuro, este modelo podría ser implementado con lógica difusa.

		Retroalimentación Verbal		
		1	0,5	0
Promedio Emoción	MuyPlacentera	Excelente	Bueno	Regular
	Placentera	Bueno	Bueno	Regular
	PocoPlacentera	Bueno	Regular	Regular
	PocoDisplacentera	Regular	Regular	Malo
	Displacentera	Regular	Malo	Malo
	MuyDisplacentera	Regular	Malo	MuyMalo

Tabla 17. Modelo basado en reglas CRISP

Una vez ejecutado el modelo, se obtiene como salida un tag correspondiente a “Excelente”, “Bueno”, “Regular”, “Malo” y “MuyMalo”. Los valores numéricos que son asignados a los resultados del modelo basado en reglas se exponen en la **Tabla 18. Valores de retroalimentación**. Cabe mencionar que estos se asignaron arbitrariamente teniendo en cuenta que el máximo gusto equivale a un valor de 1, y el mínimo a un valor de 0.

Excelente	Bueno	Regular	Malo	MuyMalo
1	0,75	0,5	0,25	0

Tabla 18. Valores de retroalimentación

Una vez obtenido el tag correspondiente, este se usa para promediarse con las retroalimentaciones anteriores, y da el nuevo valor del gusto por el recurso

12.1.5 Modelo de Selección

Durante las actividades realizadas por el sistema, es necesario seleccionar ciertos recursos a partir del gusto o preferencia del PwA. En el caso de este trabajo de grado estos recursos corresponden a canciones, cuentos o bailes, los cuales son seleccionados al utilizar el algoritmo selección por ruleta[100]; en este modelo la probabilidad de que un recurso sea seleccionado es igual al nivel de gusto o preferencia del usuario. Se utiliza este algoritmo, debido a que

introduce aleatoriedad al impedir que se seleccione siempre el recurso de mayor nivel gusto para el usuario, lo que enriquece las actividades y aumenta la atención del PwA.

Como ya se mencionó, bajo el contexto de RES-PwA la probabilidad de selección de un recurso depende del gusto del PwA. Pero adicionalmente, la probabilidad de selección se ve afectada por condiciones asociadas a la condición del PwA.

Este es el caso de la actividad de estimulación musical, donde si el recurso a seleccionar aplica para terapia de reminiscencia, su probabilidad de selección aumenta en 40%, ya que favorece en mayor grado la transición hacia un estado emocional placentero. Cabe recordar que la terapia de reminiscencia implica la utilización de utilería audiovisual para fomentar el diálogo sobre eventos y experiencias pasadas del paciente, en este caso una canción de reminiscencia estará relacionada con la historia de vida del paciente, lo que fomenta el recordar y la transición a estados de ánimo placenteros.

12.2 Desarrollo del módulo Pepper Utilities.

Este módulo se encarga de integrar las funcionalidades del robot provistas por el sistema operativo NAOqi con el módulo Agent-RESPwA. Así mismo, se encarga de realizar y retroalimentar las interacciones del sistema con el PwA, de manera que las actividades puedan ser realizadas de una manera efectiva.

Para lograr la sincronización de recursos, se hace uso de los eventos que provee el sistema operativo NAOqi de los diferentes sensores y funciones del robot. Se realiza una suscripción a 49 eventos que informaban desde el nivel de la batería, hasta la proximidad de la persona durante la interacción. Estos eventos son enviados al módulo Agent-RESPwA, donde se cambian las creencias de RobotAgent-BDI en tiempo real, con el fin de que se activen los procesos correctos en respuesta a los eventos recibidos. La especificación de los eventos utilizados se puede ver en el Anexo [Documentación de eventos y servicios](#).

El sistema operativo QI [99] provee una serie de *Proxies* que realizan la comunicación, mediante el protocolo TCP/IP. entre el hardware del robot y el módulo Pepper-RESPwA. En el caso de este trabajo de grado, se utilizaron los *proxies* mencionados en el Anexo [Documentación de eventos y servicios](#). Algunos de estos son:

- **ALAnimationPlayerProxy:** proxy utilizado para realizar animaciones correspondientes a bailes, acciones y expresión de emociones del sistema.

- **ALAudioDeviceProxy:** contienen las utilidades necesarias para la configuración del dispositivo de salida de audio, como lo es el volumen y la selección de una fuente de audio

12.2.1 Funcionalidad de Diálogo

Para una interacción enriquecida con el PwA, el sistema debe estar en la capacidad de entender e interpretar aquello que dice el usuario, al igual que de poder mantener una simple conversación protocolaria. Teniendo esto en cuenta, se implementaron tópicos de conversación al utilizar el proxy ALDialog. Para la implementación de los tópicos era necesario establecer una serie de reglas, las cuales asocian un input humano con una respuesta del sistema [101]. La estructura básica de la regla se muestra a continuación:

U: (HumanInput)RobotOutput

Cabe resaltar que, para mayor flexibilidad, se incluyeron expresiones regulares en el *HumanInput* pues hay múltiples formas de expresar una solicitud y el sistema debe aumentar el margen de aceptación de respuestas lo que más pueda. Esto se evidencia en la Ilustración 12. Tópico Emoción Positiva, donde se muestra el tópico activado cuando el usuario desea hablar y expresar una emoción positiva como la felicidad.

```

topic: ~alegreTopic()
language: spe
concept: (bloque_uno) [feliz alegre emocionado chevere animado animada emocionada contento contenta]
concept: (bloque_dos) [alegria felicidad esperanza emociion gratitud serenidad diversion]
concept: (bloque_tres) [amor orgullo ]
u: (("Imaginese que")[Estoy "Me siento" ]){super}{mega}{re}{("re contra")} ~bloque_uno verte tan alegre te hace lucir genial, te ves muy bien hoy!
u: ([Siento Tengo] {[mucha muchisima tantisima demasiada]} ~bloque_dos) La alegria te da una sonrisa muy hermosa
u: ([Siento Tengo] {[mucho muchisimo tantisimo demasiado]} ~bloque_tres) Esos son los sentimientos mas hermosos de una persona
    
```

Ilustración 12. Tópico Emoción Positiva

Se consideraron algunos escenarios recomendados por los expertos para la interacción verbal entre el PwA y el sistema. Estos escenarios fueron agrupados y se implementaron 11 tópicos, presentados en la Tabla 19. Tópicos RES-PwA.

Tópico	Descripción
Alegre, Triste, Ira	Responde a una conversación sobre las emociones del PwA cuando este presenta la emoción de estipulada durante un período de tiempo prolongado.
Normal	Responde a una conversación sobre las emociones del PwA cuando este no presenta ninguna emoción predominante durante un período de tiempo prolongado
ConversacionMusica	Implementa un flujo de conversación estructurado sobre los gustos musicales del PwA durante la actividad de estimulación musical

Ayuda	Maneja el flujo de conversación que tiene lugar cuando el usuario solicita información sobre la actividad que está realizando.
Retroalimentación (Uno por actividad)	Contiene el protocolo de conversación al momento de finalizar una actividad cuya retroalimentación afecte el perfil del usuario.
Saludar	Representa el protocolo básico de cortesía cuando el sistema interactúa por primera vez con el PwA.
Configuración	Se encarga de interpretar los comandos del PwA relacionados con el brillo de la tablet y el volumen general del sistema
“Blank Topic”	Es responsable de captar opiniones o participaciones emocionales del PwA para dar activar el plan de conversación emocional.

Tabla 19. Tópicos RES-PwA

12.3 Integración entre el módulo Agent-RESPwA y el módulo Pepper-RESPwA.

Con el fin de que el sistema pudiera ejecutar acciones y tomar decisiones a la par con el usuario, fue necesario integrar los dos módulos presentados anteriormente. Teniendo en cuenta que es deseable que el módulo Agent-RESPwA sea independiente en su implementación a cualquier otro modulo que integre un robot, se utilizó un socket siguiendo el protocolo TCP/IP.

De igual manera, para garantizar un intercambio de información estandarizado, serializable y sencillo, se definieron dos archivos JSON, cada uno correspondiente a un mensaje de solicitud de servicio (Del Agente RES- PwA al robot) y un mensaje de respuesta del servicio (Del robot al agente RESPwA). Cabe mencionar que estos archivos son construidos e interpretados por el adaptador específico al robot implementado en el módulo Agent-RESPwA, lo que brinda la flexibilidad suficiente para agregar nuevos robots y/o modificar el estándar de comunicación al agregar un nuevo módulo.

En la Ilustración 13. JSON del Agente RES-PwA al Robot, se muestra la estructura del JSON de solicitud y en la Ilustración 14. JSON del Robot al Agente RES-PwA se evidencia la estructura del JSON de respuesta. Las especificaciones de estos archivos JSON se encuentran en el anexo [Especificación archivos JSON RES-PwA](#).

```
{
  "id": 0,
  "proxyName": "proxyName",
  "methodName": "nombredelmetodo que tiene que llamar",
  "params": {
    "parametro1": "param1",
    "lista de parametros": [
      "URL",
      "URL2",
      "imagen"
    ]
  }
}
```

Ilustración 13. JSON del Agente RES-PwA al Robot

```
{
  "id": 0, //:-1 si es un callback
  "respType": "act",
  "hasEmo": "true",
  "params": {
    "subEstructura": {
      "param1": "valor1"
    },
    "param2": "valor2"
  }
}
```

Ilustración 14. JSON del Robot al Agente RES-PwA

VII- RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de las pruebas realizadas en el sistema para que cumplieran las condiciones del proceso de control de calidad. Para esto, se realizaron 4 tipos de pruebas para verificar la correctitud del sistema RES-PwA en cuanto a funcionalidad y sincronización, según los objetivos del proyecto. Estas pruebas se definen a continuación:

- **Pruebas unitarias:** Se realizaron este tipo de pruebas a nivel de guarda, tarea y meta para el módulo RES-PwA Agent. En cuanto al módulo Python utilities, se realizaron pruebas a nivel de llamado a servicios de Pepper Robot.
- **Pruebas de integración:** Se realizaron pruebas de integración a nivel de funcionalidades que requerían la sincronización de múltiples llamados a servicios de Pepper Robot desde el módulo RES-PwA Agent.
- **Pruebas de sistema:** Las pruebas de sistema se realizaron por caso de uso y según el requisito no funcional de tiempo de respuesta del sistema.
- **Pruebas de validación con expertos:** La prueba final consistió en la grabación de la interacción entre un usuario y el sistema al realizar las actividades propuestas (Estimulación musical y cuentería), en conjunto con un formulario donde se recogía la evaluación de múltiples expertos en cuanto a la interacción PwA-Robot y su potencial en cuanto al soporte emocional.

Para las pruebas unitarias, de integración y de sistema se registró la información consignada en la Tabla 20. Especificación de las pruebas, la cual fue adaptada del estándar IEEE 829-2008[42]. Para más información, por favor remitirse al [Anexo: Documentación Pruebas RES-PwA](#).

Campo	Descripción
ID	Identificador de la prueba
Nombre	Nombre de la prueba que será evaluada
Componentes involucrados	Componentes que se requieren para realizar la prueba.
Métricas y criterios de aceptación	Indicadores que señalan en qué condiciones se puede aceptar la prueba.
Responsable	Persona encargada de ejecutar la prueba y de igual manera, de documentarla.
Pasó QA	Resultado satisfactorio o insatisfactorio de la prueba realizada.

Técnica	Procedimiento utilizado para realizar la prueba.
Descripción de escenarios	Descripción de los pasos a seguir para llegar al resultado esperado.
Entradas/Salidas	Descripción de la entrada conocida y salida esperada.

Tabla 20. Especificación de las pruebas

13 Pruebas Unitarias

Para las pruebas unitarias se tuvo en cuenta la validación de 4 unidades específicas: callbacks, tópicos, Servicios Python Utilities y RES-PwA Agent. Cabe resaltar que estas pruebas se realizaron para verificar la granularidad de las tareas, su correcto funcionamiento, la validez de las funciones de contribución y activación de las metas, al igual que para asegurar una invocación correcta de los servicios provistos por Pepper Robot. En la Tabla 21. Pruebas Unitarias se puede observar el número de pruebas realizadas y el resultado de su ejecución, el cual corresponde al 100% de éxito para todos los casos.

Componente Relacionado	# de Pruebas	Pruebas Exitosas
Callbacks	49	49
Tópicos	7	7
Servicios Python Utilities	65	65
RES-PwA Agent (Metas y Tareas)	41	41
Total	162	162 (100%)

Tabla 21. Pruebas Unitarias

14 Pruebas de Integración

En las pruebas de integración, se validó la comunicación entre los componentes para cada uno de los módulos. Se revisó la correcta ejecución de las tareas, el envío correcto de eventos asincrónicos (callbacks) y el flujo correcto de la información dentro y fuera del SMA. En la Tabla 22. Pruebas de Integración se muestra el número de pruebas realizadas en cada caso y el resultado de éxito correspondiente al 100%.

Componente Relacionado	# de Pruebas	Pruebas Exitosas
Integración Entre Agentes	7	7
Integración entre componentes lógicos	6	6
Total	15	15 (100%)

Tabla 22. Pruebas de Integración

15 Pruebas de Sistema

Para el caso de las pruebas del sistema, se tuvieron en cuenta los requisitos funcionales y no funcionales. Respecto al primero, se plantearon pruebas de acuerdo con los casos de uso, permitiendo la deliberación entre múltiples planes en el agente BDI, de manera que se pudieran evaluar procesos tales como la expropiación y cancelación de tareas, y la correctitud del sistema frente al conocimiento adquirido durante el trabajo de grado. Frente a la expropiación, se presentaron problemas debido a la no continuación de la meta recién expropiada al finalizar la meta de mayor importancia.

Por otro lado, se verificó la operación del sistema a través de los requisitos no funcionales, a través de una prueba de tiempo de respuesta para asegurar el envío de datos en tiempo real. En la Tabla 23. Pruebas de sistema se puede observar el número de pruebas realizadas y el resultado de su ejecución.

Prueba de Sistema		# de Pruebas	Pruebas Exitosas
Funcionales	Expropiación entre metas	10	0
	Casos de Uso	14	14
No funcionales		4	4
Total		28	18 (65%)

Tabla 23. Pruebas de sistema

16 Pruebas de Validación con Expertos

La prueba de validación del sistema fue realizada con 11 personas expertas en las áreas de conocimiento correspondientes a geriatría, psicología, interacción hombre-máquina y cuidado de adultos mayores distribuidas como se ve en la Tabla 24. Distribución de los expertos.

Experto en	Cuidado de adultos mayores	Geriatría	Interacción Humano Robot	Psicología
Cantidad	1	4	2	4

Tabla 24. Distribución de los expertos

Se planteó un formulario siguiendo las recomendaciones del libro *“Human-robot interaction evaluation methods and their standardization”* [102], con preguntas específicas de cada una de las áreas, teniendo en cuenta los aspectos más relevantes para ser evaluados como: expresión de emociones, actividades de entretenimiento, correcto uso de recursos, usabilidad y bienestar del PwA. Además, se incluyó una explicación detallada del sistema y algunos videos para tener

una visión completa en cuanto aspectos relevantes que permiten validar la solución y funcionamiento del sistema.

Cabe resaltar que lo ideal era realizar una prueba en vivo con algunos PwA en presencia de expertos, con el fin de poder evaluar el sistema en un ambiente acorde a la realidad, pero debido a la actual situación sanitaria esto no fue posible. Por lo tanto, se optó por grabar videos del sistema ejecutando los casos de estudio especificados en la Tabla 25. Casos de Estudio, los cuales se incluyeron en la encuesta para su evaluación.

Caso de Estudio	Descripción
Inicio de Sesión	El PwA se acerca al robot por primera vez, este lo saluda y le pregunta por su nombre
Estimulación Musical y Cuentaría	Se muestra el espectro de funcionalidad completo en ambas actividades, haciendo muestra de la sincronización de recursos y la expresión emocional. Incluye la retroalimentación del PwA.
Expresión Emocional	Se da evidencia de la modulación emocional de la velocidad, postura, velocidad del habla, tono de voz y manejo de la tablet; según el estado emocional del sistema.
Conversación Emocional	El sistema se encuentra ejecutando una actividad y el PwA le expresa que se siente mal. El sistema interrumpe la actividad y habla con el PwA sobre su estado emocional.

Tabla 25. Casos de Estudio

Para cada pregunta, se implementó una escala de 0 a 5, la cual se adaptó del cuestionario GODSPEED[103], según el enfoque de la pregunta. A partir de esto, se decidió realizar cinco preguntas en común para las cuatro áreas con el fin de conocer su opinión acerca de las actividades de entretenimiento, los movimientos del robot y la interacción verbal. En la Tabla 26. Resultados Preguntas en Común se recopilan los resultados a estas preguntas. Como se puede observar, se obtuvo una calificación promedio superior a 3 en todas las preguntas, lo que indica que a pesar de que el sistema cumpliera con los objetivos establecidos, aún hay oportunidades de mejora. En este caso, se podrían mejorar los movimientos del robot de manera que sean más fluidos y naturales, al igual el enriquecimiento de las actividades con el fin de que sean más entretenidas para el PwA.

Pregunta	Promedio
Evalúe la interacción verbal con el robot. Con 0 siendo plana y 5 interactiva	3,55
Evalúe la actividad de estimulación musical en términos de entretenimiento. Con 0 siendo aburrida y 5 siendo entretenida	3,18

Evalúe la actividad de cuentería en términos de entretenimiento. Con 0 siendo aburrida y 5 siendo entretenida.	3,09
Evalúe los bailes que realiza el robot en la actividad de estimulación musical. Con 0 siendo aburridos y 5 siendo entretenidos	3,36
Evalúe los movimientos del robot Pepper. Entiéndase como los movimientos que el robot realiza al hablar y aquellos que hace durante la actividad de cuentería. Con 0 siendo Falsos y 5 Naturales	3,27

Tabla 26. Resultados Preguntas en Común

De igual manera, para el área de geriatría se plantearon las preguntas enfocadas a la usabilidad del sistema y las actividades implementadas para mitigar el impacto de estados emocionales indeseados. Estas se encuentran en la Tabla 27. Resultados Preguntas Geriatría. Se pueden observar resultados superiores a 3,25 respecto a las actividades propuestas, lo que implica una oportunidad de mejora respecto al procedimiento general de los planes asociados a estas. Por otro lado, se obtuvieron calificaciones de 4 respecto a la facilidad de uso y comprensión verbal del sistema evidenciando una correcta implementación de estos recursos. Además, respecto a la pregunta abierta los expertos consideran que el sistema favorece el bienestar del paciente y no proponen ninguna mejora.

Pregunta	Promedio
Evalúe la actividad de cuentería en relación con el estado emocional del adulto mayor con Alzheimer. Siendo 0 Desfavorable y 5 Favorable.	3,25
Evalúe la actividad de estimulación musical en relación con el estado emocional del adulto mayor con Alzheimer. Siendo 0 Desfavorable y 5 Favorable.	3,25
En qué grado considera que las actividades presentadas (estimulación musical y cuentería) logran mantener la atención del paciente. Siendo 0 Bajo y 5 Alto.	3,5
Evalúe la conversación emocional del robot. Siendo 0 Apática y 5 Sensible.	3,75
Evalúe la simplicidad de las oraciones de la expresión verbal del robot. Siendo 0 Difícil de entender y 5 Fácil de entender.	4
Evalúe la facilidad de uso del sistema. Siendo 0 Complejo y 5 Sencillo.	4
Evalúe la vocalización de la expresión verbal del robot. Siendo 0 Incomprensible y 5 Comprensible.	3,5
A partir de su experiencia, ¿Considera que el robot favorecería el bienestar del paciente? ¿Por qué?	Abierta

Tabla 27. Resultados Preguntas Geriatría

Respecto al área de psicología, las preguntas se enfocaron en la correcta expresión de emociones en el robot e igualmente, en la evaluación de las actividades utilizadas para mitigar el impacto de estados emocionales negativos. En la Tabla 28. Resultados Preguntas Psicología se evidencian puntuaciones mayores a 3, las cuales indican posibles aspectos a mejorar especialmente en la ejecución de las actividades de entretenimiento y en el manejo de tópicos de discusión entre el PwA y el sistema.

Además, en la pregunta abierta, se concluyó que los expertos consideran al robot beneficioso para el PwA. De igual manera, se hicieron sugerencias respecto al tipo de robot señalando que podría utilizarse un robot más “humano”, que tenga mayor fluidez al momento de expresarse, utilizando su voz y su cuerpo. También se señaló la importancia de reducir los estímulos externos a la interacción con el PwA, los cuales pueden afectar el desarrollo de las actividades al distraer y estresar al usuario.

Pregunta	Promedio
Evalúe la conversación emocional del robot. Siendo 0 Apática y 5 Sensible.	3,25
En qué grado considera que las actividades presentadas (estimulación musical y cuentería) logran mantener la atención del paciente. Siendo 0 Bajo y 5 Alto.	3,0
Evalúe la actividad de estimulación musical en relación con el estado emocional del adulto mayor con Alzheimer. Siendo 0 Desfavorable y 5 Favorable.	3,25
Evalúe la actividad de cuentería en relación con el estado emocional del adulto mayor con Alzheimer. Siendo 0 Desfavorable y 5 Favorable.	3,0
Evalúe la expresión emocional del robot. Siendo 0 Apática y 5 Emocional.	3,5
A partir de su experiencia, ¿Considera que el robot favorecería el bienestar del paciente? ¿Por qué?	Abierta

Tabla 28. Resultados Preguntas Psicología

Por parte del cuidador que diligenció la encuesta y como se evidencia en la Tabla 29. Resultados Preguntas Cuidador se obtuvieron resultados positivos mayores a 4. Esto indica aprobación en cuanto a los protocolos de la interacción y desarrollo de las actividades, teniendo en cuenta su experiencia práctica con los pacientes. Para este caso, es importante comparar estos resultados con los contenidos de los expertos en geriatría y psicología debido a su diferencia en la calificación. Esta podría deberse a que el conocimiento de estos últimos esta soportado en investigaciones y conocimientos teórico mientras que la de los cuidadores está basado en la experiencia práctica de las actividades que realiza continuamente con sus

pacientes, por lo tanto, conoce qué actividades pueden ser exitosas y beneficiosas para el tratamiento de estos. Por último, como sugerencia se planteó la implementación de una voz más amigable y cálida.

Además, la respuesta a la pregunta abierta señala intranquilidad si se piensa en dejar al robot solo con el paciente. En general, el experto en cuidado de adultos mayores manifestó que siente inseguridad debido a la falta de conocimiento que posee sobre el funcionamiento de un robot en este entorno.

Pregunta	Promedio
Evalúe la facilidad de uso del sistema. Siendo 0 Complejo y 5 Sencillo.	4
Evalúe la simplicidad de las oraciones de la expresión verbal del robot. Siendo 0 Difícil de entender y 5 Fácil de entender.	4
Evalúe la vocalización de la expresión verbal del robot. Siendo 0 Incomprensible y 5 Comprensible.	2
En qué grado considera que las actividades presentadas (estimulación musical y cuentería) logran mantener la atención del paciente. Siendo 0 Bajo y 5 Alto.	4
Evalúe la actividad de estimulación musical con relación al estado emocional del adulto mayor con Alzheimer. Siendo 0 Desfavorable y 5 favorable.	5
Evalúe la actividad de cuentería con relación al estado emocional del adulto mayor con Alzheimer. Siendo 0 Desfavorable y 5 Favorable.	4
¿Se sentiría tranquilo dejando a su paciente con el robot? ¿Por qué?	Abierta

Tabla 29. Resultados Preguntas Cuidador

Por último, en el área de interacción hombre-máquina se mantuvo el enfoque en evaluar la usabilidad y el buen uso de los recursos que tiene el robot Pepper respecto a expresión emocional y verbal. En los resultados mostrados en la Tabla 30. Resultados Preguntas Interacción Hombre-Máquina se evidencian puntajes mayores a 4 lo que implica que la mayoría estuvo de acuerdo con la expresión de voz y la expresión emocional del robot.

En el caso de la pregunta abierta, se confirmó la buena utilización de los recursos. Sin embargo, se sugirió la utilización del desplazamiento del robot en las actividades, pues podría beneficiar la experiencia interactiva del PwA. De igual manera, se recomendó el uso de información del perfil de usuario en la retroalimentación con el fin de hacerla más fluida y personal.

Pregunta	Promedio
Evalúe la facilidad de uso del sistema. Siendo 0 Complejo y 5 Sencillo.	3
Evalúe la simplicidad de las oraciones de la expresión verbal del robot. Siendo 0 Difícil de entender y 5 Fácil de entender.	5
Evalúe la vocalización de la expresión verbal del robot.	4,5
Evalúe la expresión emocional del robot. Siendo 0 Incomprensible y 5 Comprensible.	4
¿Cree que se hizo un uso correcto de los recursos del robot para enriquecer la experiencia del usuario? ¿Por qué?	Abierta

Tabla 30. Resultados Preguntas Interacción Hombre-Máquina

En los anexos [Anexo: Recopilación de resultados Pruebas de Aceptación](#), y [Anexo: Documentación de Pruebas de Aceptación](#) se presenta un mayor detalle de las respuestas para cada una de las áreas.

VIII- CONCLUSIONES

En esta sección se presentan las conclusiones resultantes del diseño e implementación de RES-PwA, teniendo en cuenta que se cumplieron los objetivos propuestos en los capítulos 2.1 Objetivo General y 2.2 Objetivos Específicos, además aplicando los estándares propuestos en el proyecto y el conocimiento adquirido durante la carrera.

17 Análisis de impacto del proyecto

A corto plazo, este trabajo servirá de antecedente y guía para la creación de trabajos de investigación relacionados con la robótica asistencial para PwA dentro de la Pontificia Universidad Javeriana. Este trabajo podría ser el inicio de una línea de trabajo en el grupo SIRP sobre el desarrollo de robótica asistencial, donde se podrán expandir las funcionalidades del sistema a más ámbitos del entretenimiento y del cuidado de adultos mayores. Así mismo, el trabajo servirá de referente en la comunidad académica a nivel nacional e internacional, promoviendo el trabajo interdisciplinario y colaborativo con diferentes universidades y grupos de investigación.

A mediano plazo, el trabajo de grado contribuirá en la adopción e integración de tecnologías para la salud basadas en robótica que vendrán de la mano con el aumento en investigaciones sobre la implementación de la robótica en otros ámbitos sociales relacionados con la salud. Por ejemplo, luego de algunos estudios de aceptación y validación de la tecnología, la solución podría ser utilizada en el Hospital Universitario San Ignacio para los pacientes que presenten la condición de demencia. Así mismo, el sistema podría escalar para el manejo múltiples pacientes o para el manejo integral de las dimensiones de interacción entre SARs y PwA propuestas por Salichs[12].

Finalmente, a largo plazo, se espera que RES-PwA tenga gran impacto sobre la inclusión de la robótica en la cotidianidad, permitiendo nuevos enfoques de estudio basados en sistemas MultiAgentes y robótica asistencial para nuevas necesidades médicas, tales como el tratamiento de la depresión y la ansiedad en la juventud. El sistema puede convertirse en un servicio integral para el usuario, y puede servir de enfoque para futuros usos de la robótica. De igual manera, luego de ser refinado y complementado podría ser comercializado y ser la base para la creación

de una empresa enfocada hacia la salud y cuidado de PwA, apoyado en herramientas basadas en robótica emocional.

18 Conclusiones

A partir de la experiencia del diseño y desarrollo de RES-PwA, un sistema de soporte emocional personalizado para personas con Alzheimer y basado en actividades de entretenimiento, se puede concluir que el análisis de proyectos en este campo de estudio, en conjunto con una revisión profunda del estado del arte en cuanto a SARs y cuidado de PwA permite establecer criterios diferenciadores de este trabajo en cuanto a la implementación de las actividades de entretenimiento.

Los criterios diferenciadores más relevantes son los siguientes: i) La personalización de las actividades basada en un perfil del usuario robusto, que fomente la atención del PwA y reduzca el estrés innecesario de realizar actividades que no son de su interés. ii) La expresión emocional del sistema, apoyada de los actuadores del robot. Este aspecto fomenta la empatía y la estimulación socioemocional del PwA durante la interacción. iii) La evaluación concurrente del estado emocional del PwA para la toma de decisiones del sistema, que permite una mayor adaptabilidad de las actividades al contexto de la interacción y facilita proveer soporte emocional de una manera eficiente según las necesidades inmediatas del usuario.

Así mismo, el desarrollo del prototipo que involucra el modelo de personalización, la detección y expresión de emociones, y la ejecución de actividades de entretenimiento, permiten al sistema ser flexible y reactivo ante los estímulos recibidos por el PwA. Esto en conjunto con las pruebas de verificación del funcionamiento del sistema y la retroalimentación de los expertos al evaluar el sistema, permite comprobar que la arquitectura BDI-CHA es útil y deseable en el manejo de problemas asociados con la salud, que impliquen el procesamiento de datos y la toma de decisiones en tiempo real; en paralelo con la adaptación del sistema al contexto dinámico de la interacción con el PwA.

Por último, a partir de los resultados de las pruebas realizadas a expertos con el fin de evaluar la expresión de emociones, la ejecución de las actividades de entretenimiento, el correcto uso de recursos, la usabilidad y el bienestar del PwA, se puede concluir que las metas planteadas en el sistema resultan ser beneficiosas con relación al bienestar emocional del PwA. Esto quiere decir que, a pesar de haber recibido una calificación regular, se comprobó que los expertos

perciben el proyecto de manera positiva al confirmar su efectividad en la mitigación de emociones que resulten en estados de ánimo no placenteros y afecten el bienestar del paciente.

19 Trabajo Futuro

Siendo RES-PwA un trabajo semilla frente a la robótica asistencial enfocada en salud en la Universidad Javeriana, se hacen relevantes las siguientes oportunidades como trabajo futuro:

Actualización del módulo Pepper Robot: como se mencionó debido a problemas con el software de SoftBank Robotics, no fue posible implementar el módulo Pepper Robot con la versión QISDK basada en Android. Si se actualiza el módulo Pepper Robot a esta SDK, se tendrá acceso a todos los servicios disponibles que ofrece el sistema operativo en conjunto con el potencial de trabajar en sincronía con la tablet. Esto enriquecería las actividades que ya están presentes en RES-PwA y abriría la posibilidad de agregar nuevas actividades basadas en un uso más intensivo de este recurso, como por ejemplo la actividad de memorama. Es importante mencionar que fueron implementadas interfaces de comunicación para los servicios de YouTube [89] y Firebase [90], de manera que se puedan ofrecer funcionalidades soportadas por éstos en futuros trabajos.

Modelo de emociones especializado para PwA: si bien RES-PwA puede reconocer las emociones del usuario a partir de las librerías de reconocimiento facial y de emocionalidad verbal del robot, estas no son suficientes para el correcto reconocimiento de emociones el PwA. En el caso de este tipo de pacientes se requiere un modelo de detección especializado y preferiblemente multimodal como el propuesto por Nazareth[104]. De esta manera, el sistema podría reaccionar de una manera más precisa y correcta frente a los estímulos emocionales del usuario.

Soporte integral para el PwD: Aunque RES-PwA cubre las necesidades de entretenimiento de un PwA, no se debe olvidar que este posee otro tipo de necesidades, como las asociadas a asistencia personal, *Safety* y estimulación [12]. Así mismo, es importante recordar que RES-PwA solo cubre las necesidades específicas de las personas con Alzheimer, y que existen otros tipos de demencia asociados al deterioro cognitivo por la edad. La adición de metas relacionada con las necesidades específicas de cada enfermedad causal de la demencia y relacionadas con otros aspectos del cuidado de adultos mayores, en conjunto con una arquitectura BDI-CHA

multi intención permitiría suplir diferentes necesidades de los pacientes con los mismos recursos.

Refinamiento de los modelos de personalización: La implementación de modelos de personalización más complejos y especializados que los propuestos en RES-PwA, permitirían el enriquecimiento de la selección de recursos y la retroalimentación de estos, en conjunto con las tareas desarrolladas por el sistema. Al mejorar la captura del gusto y de la reacción emocional del PwA durante las actividades, estas se podrían adaptar de mejor manera a sus necesidades brindándole mayor bienestar.

Mayor fluidez y realismo en la expresión emocional: De acuerdo con los comentarios realizados por los expertos, se hace relevante la implementación de movimientos más realistas y fluidos en cuanto a la expresión emocional del robot. Para esto, sería útil agregar más ejes emocionales en el modelo emocional interno del sistema con el fin de aumentar la gama de expresividad emocional provista por RES-PwA. Adicionalmente, sería útil agregar modulación emocional en cuanto al rango de los movimientos, de manera que la movilidad del robot se pueda asemejar a la de un humano.

La facilidad de uso: En cuanto a la facilidad de uso del sistema, se pueden rescatar dos aspectos importantes: la vocalización de la expresión verbal del robot y la implementación de conversaciones empáticas. Si bien, RES-PwA implementa una primera aproximación del diálogo como medio interacción entre el PwA y el sistema, se hace relevante la integración de un submódulo de conversación dentro del módulo Agent RES-PwA, el cual se conecte con motores de conversación como el provisto por Watson en IBM[105]. El entrenamiento de este tipo de motores con información relevante al usuario y sus gustos permitiría mayor flexibilidad al momento de mantener conversaciones espontáneas con el usuario y además independizaría las funcionalidades de diálogo del robot utilizado.

IX- REFERENCIAS

- [1] MINSALUD, «Boletín de Salud Mental- Demencia». Accedido: mar. 05, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ENT/Boletin-demencia-salud-mental.pdf>
- [2] ONU, «World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100», *UN DESA | United Nations Department of Economic and Social Affairs*, jun. 21, 2017. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2017.html> (accedido mar. 12, 2020).
- [3] F. Bravo, «DRAMABOT, A COGNITIVE MULTIAGENT ARCHITECTURE FOR IMPLEMENTING EDUCATIONAL DRAMA TECHNIQUES USING ROBOT ACTORS», Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá DC, 2019.
- [4] K. Wada, T. Shibata, T. Musha, y S. Kimura, «Robot therapy for elders affected by dementia», *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.*, vol. 27, n.º 4, pp. 53-60, jul. 2008, doi: 10.1109/MEMB.2008.919496.
- [5] Alzheimer's Disease International, Ed., *Dementia: a public health priority*. Geneva, 2012.
- [6] World Health Organization, «Dementia», *Dementia*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dementia> (accedido mar. 06, 2020).
- [7] OECD, «Free Movement of Workers and Labour Market Adjustment Recent Experiences». <https://books.google.com.co/books?id=IR82f8O3BBsC> (accedido mar. 06, 2020).
- [8] D. Feil-Seifer y M. J. Mataric, «Socially Assistive Robotics», en *9th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005. ICORR 2005.*, Chicago, IL, USA, 2005, pp. 465-468. doi: 10.1109/ICORR.2005.1501143.
- [9] C. D. Kidd, W. Taggart, y S. Turkle, «A sociable robot to encourage social interaction among the elderly», en *Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006.*, Orlando, FL, USA, 2006, pp. 3972-3976. doi: 10.1109/ROBOT.2006.1642311.

- [10]H. Robinson, B. MacDonald, N. Kerse, y E. Broadbent, «The Psychosocial Effects of a Companion Robot: A Randomized Controlled Trial», *J. Am. Med. Dir. Assoc.*, vol. 14, n.º 9, pp. 661-667, sep. 2013, doi: 10.1016/j.jamda.2013.02.007.
- [11]W. Moyle, C. Jones, M. Cooke, S. O'Dwyer, B. Sung, y S. Drummond, «Connecting the person with dementia and family: a feasibility study of a telepresence robot», *BMC Geriatr.*, vol. 14, n.º 1, p. 7, dic. 2014, doi: 10.1186/1471-2318-14-7.
- [12]M. A. Salichs, I. P. Encinar, E. Salichs, Á. Castro-González, y M. Malfaz, «Study of Scenarios and Technical Requirements of a Social Assistive Robot for Alzheimer's Disease Patients and Their Caregivers», *Int. J. Soc. Robot.*, vol. 8, n.º 1, pp. 85-102, ene. 2016, doi: 10.1007/s12369-015-0319-6.
- [13]S. L. Gatto y S. H. Tak, «Computer, Internet, and E-mail Use Among Older Adults: Benefits and Barriers», *Educ. Gerontol.*, vol. 34, n.º 9, pp. 800-811, ago. 2008, doi: 10.1080/03601270802243697.
- [14]Fawcett, «Time-related predictors of suicide in major affective disorder», *Am. J. Psychiatry*, vol. 147, n.º 9, pp. 1189-1194, sep. 1990, doi: 10.1176/ajp.147.9.1189.
- [15]T. Tamura *et al.*, «Is an Entertainment Robot Useful in the Care of Elderly People With Severe Dementia?», *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.*, vol. 59, n.º 1, pp. M83-M85, ene. 2004, doi: 10.1093/gerona/59.1.M83.
- [16]P. Marti, M. Bacigalupo, L. Giusti, C. Menecozzi, y T. Shibata, «Socially Assistive Robotics in the Treatment of Behavioural and Psychological Symptoms of Dementia», en *The First IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics, 2006. BioRob 2006.*, feb. 2006, pp. 483-488. doi: 10.1109/BIOROB.2006.1639135.
- [17]N. G. Regier, N. A. Hodgson, y L. N. Gitlin, «Characteristics of Activities for Persons With Dementia at the Mild, Moderate, and Severe Stages», *The Gerontologist*, p. gnw133, dic. 2016, doi: 10.1093/geront/gnw133.
- [18]M. Salichs *et al.*, «Interacción humano robot en el proyecto ROBSEN», jun. 2017.
- [19]J. Cohen-Mansfield, K. Thein, M. Dakheel-Ali, N. G. Regier, y M. S. Marx, «The Value of Social Attributes of Stimuli for Promoting Engagement in Persons With Dementia»: *J.*

- Nerv. Ment. Dis.*, vol. 198, n.º 8, pp. 586-592, ago. 2010, doi: 10.1097/NMD.0b013e3181e9dc76.
- [20]L. A. Gerdner, «Effects of Individualized Versus Classical “Relaxation” Music on the Frequency of Agitation in Elderly Persons With Alzheimer’s Disease and Related Disorders», *Int. Psychogeriatr.*, vol. 12, n.º 1, pp. 49-65, mar. 2000, doi: 10.1017/S1041610200006190.
- [21]J. C. Castillo *et al.*, «Software Architecture for Smart Emotion Recognition and Regulation of the Ageing Adult», *Cogn. Comput.*, vol. 8, n.º 2, pp. 357-367, abr. 2016, doi: 10.1007/s12559-016-9383-y.
- [22]L. Teri *et al.*, «Anxiety in Alzheimer’s Disease: Prevalence and Comorbidity», *J. Gerontol. Ser. A*, vol. 54, n.º 7, pp. M348-M352, jul. 1999, doi: 10.1093/gerona/54.7.M348.
- [23]A. Tapus, M. Mataric, y B. Scassellati, «Socially assistive robotics [Grand Challenges of Robotics]», *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 14, n.º 1, pp. 35-42, mar. 2007, doi: 10.1109/MRA.2007.339605.
- [24]Sanitas, «Las fases de la demencia: escala FAST», *Las fases de la demencia*. [//www.sanitas.es/sanitas/seguros/es/particulares/biblioteca-de-salud/tercera-edad/demencias/escala-fast.html](http://www.sanitas.es/sanitas/seguros/es/particulares/biblioteca-de-salud/tercera-edad/demencias/escala-fast.html) (accedido mar. 25, 2020).
- [25]A. Gonzalez, R. Angel, y E. Gonzalez, «BDI concurrent architecture oriented to goal management», en *2013 8th Computing Colombian Conference (8CCC)*, Armenia, Colombia, ago. 2013, pp. 1-6. doi: 10.1109/ColombianCC.2013.6637540.
- [26]Aliverobots, «Robot Pepper», *Aliverobots*. <https://aliverobots.com/robot-pepper/> (accedido mar. 06, 2020).
- [27]M. J. Mataric, «The Role of Embodiment in Assistive Interactive Robotics for the Elderly», p. 3.
- [28]W.-L. Chang, S. Šabanovic, y L. Huber, «Use of seal-like robot PARO in sensory group therapy for older adults with dementia», en *Proceedings of the 8th ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction*, Tokyo, Japan, mar. 2013, pp. 101-102.

- [29]Y. Furuta, M. Kanoh, T. Shimizu, M. Shimizu, y T. Nakamura, «Subjective evaluation of use of Babyloid for doll therapy», en *2012 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, jun. 2012, pp. 1-4. doi: 10.1109/FUZZ-IEEE.2012.6251247.
- [30]J. Broekens, M. Heerink, y H. Rosendal, «Assistive social robots in elderly care: a review», *Gerontechnology*, vol. 8, n.º 2, pp. 94-103, abr. 2009, doi: 10.4017/gt.2009.08.02.002.00.
- [31]K. Inoue, N. Sakuma, M. Okada, C. Sasaki, M. Nakamura, y K. Wada, «Effective Application of PALRO: A Humanoid Type Robot for People with Dementia», en *Computers Helping People with Special Needs*, vol. 8547, K. Miesenberger, D. Fels, D. Archambault, P. Peñáz, y W. Zagler, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2014, pp. 451-454. doi: 10.1007/978-3-319-08596-8_70.
- [32]R. Khosla, M.-T. Chu, R. Kachouie, K. Yamada, F. Yoshihiro, y T. Yamaguchi, «Interactive multimodal social robot for improving quality of care of elderly in Australian nursing homes», en *Proceedings of the 20th ACM international conference on Multimedia*, Nara, Japan, oct. 2012, pp. 1173-1176. doi: 10.1145/2393347.2396411.
- [33]D. Cruz-Sandoval, A. Morales-Tellez, E. B. Sandoval, y J. Favela, «A Social Robot as Therapy Facilitator in Interventions to Deal with Dementia-related Behavioral Symptoms», en *Proceedings of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, Cambridge United Kingdom, mar. 2020, pp. 161-169. doi: 10.1145/3319502.3374840.
- [34]A. Morales, D. Cruz-Sandoval, y J. Favela, «Activity Monitoring of People with Dementia in a Cognitive Stimulation Intervention», *Proceedings*, vol. 31, n.º 1, p. 64, nov. 2019, doi: 10.3390/proceedings2019031064.
- [35]P. A. S. Cedillo, «Programacion y Evaluacion de la Aceptacion de un Robot Humanoide como Asistente para terapias Fisicas a adultos Mayores», Universidad del Azuay, 2018.
- [36]IEEE, «IEEE 16326-2009 - ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and Software Engineering--Life Cycle Processes--Project Management». <https://standards.ieee.org/standard/16326-2009.html> (accedido ago. 19, 2019).

- [37]IEEE, «12207-2017 - ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and software engineering -- Software life cycle processes». <https://standards.ieee.org/standard/12207-2017.html> (accedido abr. 23, 2020).
- [38]IEEE, «15288-2015 - ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and software engineering -- System life cycle processes». <https://standards.ieee.org/standard/15288-2015.html> (accedido abr. 23, 2020).
- [39]IEEE, «IEEE 830-1998 - IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications». <https://standards.ieee.org/standard/830-1998.html> (accedido ago. 28, 2019).
- [40]IEEE, «29148-2018 - ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and software engineering -- Life cycle processes -- Requirements engineering». <https://standards.ieee.org/standard/29148-2018.html> (accedido abr. 23, 2020).
- [41]IEEE, «IEEE Std 1016™-2009 - IEEE Standard for Information Technology—Systems Design— Software Design Descriptions».
- [42]IEEE, «IEEE Std 829-2008, IEEE Standard for Software and System Test Documentation», p. 132.
- [43]Invima, «LOGROS INTIC – NUEVAS GUÍAS INVIMA: ASS-RSA-GU030». <https://aciccolombia.org/logros-intic-nuevas-guias-invima/>
- [44]Alzheimer’s Association, «¿Qué es la demencia?» <https://www.alz.org/alzheimer-demencia/que-es-la-demencia> (accedido abr. 24, 2020).
- [45]Alzheimer’s Disease International, «¿Qué es el Alzheimer?», *Alzheimer’s Disease and Dementia*. <https://alz.org/alzheimer-demencia/que-es-la-enfermedad-de-alzheimer> (accedido ago. 26, 2020).
- [46]M. A. Goodrich y A. C. Schultz, «Human-Robot Interaction: A Survey», *Found. Trends® Hum.-Comput. Interact.*, vol. 1, n.º 3, pp. 203-275, 2007, doi: 10.1561/11000000005.
- [47]K. Dautenhahn, «Socially intelligent robots: dimensions of human–robot interaction», *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 362, n.º 1480, pp. 679-704, abr. 2007, doi: 10.1098/rstb.2006.2004.

- [48]K. Oh y M. Kim, «Social Attributes of Robotic Products: Observations of Child-Robot Interactions in a School Environment», p. 11, 2010.
- [49]C. Bartneck, T. Belpaeme, F. Eyssel, T. Kanda, M. Keijsers, y S. Šabanović, *Human-Robot Interaction: An Introduction*, 1.^a ed. Cambridge University Press, 2020. doi: 10.1017/9781108676649.
- [50]T. Fong, I. Nourbakhsh, y K. Dautenhahn, «A survey of socially interactive robots», *Robot. Auton. Syst.*, vol. 42, n.º 3, pp. 143-166, mar. 2003, doi: 10.1016/S0921-8890(02)00372-X.
- [51]A. Reyes Gamboa, J. Jiménez Builes, y D. Soto Durán, «Personalización de contenidos en t-learning a través de Universal Design for Learning (UDL)», presentado en The Fourteen LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Engineering Innovations for Global Sustainability”, 2016. doi: 10.18687/LACCEI2016.1.1.298.
- [52]A. C. Ramos, J. Gensel, M. Villanova-Oliver, H. Martin, y L.-I. Laboratory, «PUMAS: Un Framework que Adapta la Información en Ambientes Ubicuos», p. 20, doi: 10.29375/25392115.1061.
- [53]R.- ASALE y RAE, «preferencia | Diccionario de la lengua española», «*Diccionario de la lengua española*» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/preferencia> (accedido ago. 26, 2020).
- [54]R.- ASALE y RAE, «gusto | Diccionario de la lengua española», «*Diccionario de la lengua española*» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/gusto> (accedido ago. 26, 2020).
- [55]R.- ASALE y RAE, «hábito | Diccionario de la lengua española», «*Diccionario de la lengua española*» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/hábito> (accedido ago. 26, 2020).
- [56]R.- ASALE y RAE, «pasatiempo | Diccionario de la lengua española», «*Diccionario de la lengua española*» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/pasatiempo> (accedido ago. 26, 2020).
- [57]S. Alves, F. Brito, A. Cordeiro, L. Carriço, y T. Guerreiro, «Designing Personalized Therapy Tools for People with Dementia», en *Proceedings of the 16th International Web*

- for All Conference*, New York, NY, USA, may 2019, pp. 1-10. doi: 10.1145/3315002.3317571.
- [58]A. Kubota y L. D. Riek, «Methods for Robot Behavior Adaptation for Cognitive Neurorehabilitation», p. 27.
- [59]R.- ASALE y RAE, «entretenimiento | Diccionario de la lengua española», «*Diccionario de la lengua española*» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/entretenimiento> (accedido abr. 24, 2020).
- [60]Alz Live, «Alz Live - For Those Who Care - Alzheimer's and Dementia Caregivers Tips and Support», *Alzheimer's and Dementia Caregivers Tips and Support*. <https://alzlive.com/contributor/marie-marley/> (accedido ago. 26, 2020).
- [61]M. Marley, «Creative Entertainment for People With Early- and Mid-Stage Alzheimer's», *Creative Entertainment for People With Early- and Mid-Stage Alzheimer's*, feb. 09, 2012. https://www.huffpost.com/entry/alzheimers-caregiver_b_1263838 (accedido ago. 26, 2020).
- [62]J. Gonzalez, T. Mayordomo, M. Torres, A. Sales, y J. C. Meléndez, «Reminiscence and dementia: a therapeutic intervention», *Int. Psychogeriatr.*, vol. 27, n.º 10, pp. 1731-1737, oct. 2015, doi: 10.1017/S1041610215000344.
- [63]C. K. Y. Lai, I. Chi, y J. Kayser-Jones, «A randomized controlled trial of a specific reminiscence approach to promote the well-being of nursing home residents with dementia», *Int. Psychogeriatr.*, vol. 16, n.º 1, pp. 33-49, mar. 2004, doi: 10.1017/S1041610204000055.
- [64]E. Tadaka y K. Kanagawa, «Effects of reminiscence group in elderly people with Alzheimer disease and vascular dementia in a community setting», *Geriatr. Gerontol. Int.*, vol. 7, n.º 2, pp. 167-173, jun. 2007, doi: 10.1111/j.1447-0594.2007.00381.x.
- [65]J.-J. Wang, «Group reminiscence therapy for cognitive and affective function of demented elderly in Taiwan», *Int. J. Geriatr. Psychiatry*, vol. 22, n.º 12, pp. 1235-1240, dic. 2007, doi: 10.1002/gps.1821.
- [66]D. J. L. S. Azcurra, «A Reminiscence Program Intervention to Improve the Quality of Life of Long-term Care Residents with Alzheimer's Disease. A Randomized Controlled Trial»,

- Rev. Bras. Psiquiatr.*, vol. 34, n.º 4, pp. 422-433, dic. 2012, doi: 10.1016/j.rbp.2012.05.008.
- [67] World Federation of Music Therapy, «About WFMT», *World Federation of Music Therapy*. <https://www.wfmt.info/wfmt-new-home/about-wfmt/> (accedido ago. 26, 2020).
- [68] J. T. van der Steen, H. J. Smaling, J. C. van der Wouden, M. S. Bruinsma, R. J. Scholten, y A. C. Vink, «Music-based therapeutic interventions for people with dementia», *Cochrane Database Syst. Rev.*, n.º 7, 2018, doi: 10.1002/14651858.CD003477.pub4.
- [69] M. Wall y A. Duffy, «The effects of music therapy for older people with dementia», *Br. J. Nurs.*, vol. 19, n.º 2, pp. 108-113, ene. 2010, doi: 10.12968/bjon.2010.19.2.46295.
- [70] N. M.S Pam, «What is EMOTIONAL SUPPORT? definition of EMOTIONAL SUPPORT (Psychology Dictionary)», *Psychology Dictionary*, abr. 07, 2013. <https://psychologydictionary.org/emotional-support/> (accedido abr. 24, 2020).
- [71] T. W. Strine, D. P. Chapman, L. Balluz, y A. H. Mokdad, «Health-related quality of life and health behaviors by social and emotional support: Their relevance to psychiatry and medicine», *Soc. Psychiatry Psychiatr. Epidemiol.*, vol. 43, n.º 2, pp. 151-159, feb. 2008, doi: 10.1007/s00127-007-0277-x.
- [72] P. Ekkekakis, «Affect, Mood, and Emotion», p. 17, doi: 10.5040/9781492596332.ch-028.
- [73] J. A. Russell y L. F. Barrett, «Core affect, prototypical emotional episodes, and other things called emotion: Dissecting the elephant.», *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 76, n.º 5, pp. 805-819, 1999, doi: 10.1037/0022-3514.76.5.805.
- [74] R. Payne, R. L. Payne, C. L. Cooper, y P. of O. P. and P.-V. C. C. L. Cooper, *Emotions at Work: Theory, Research and Applications for Management*. 2003. Accedido: ago. 27, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=141602>
- [75] P. Ekman y D. Cordaro, «What is Meant by Calling Emotions Basic», *Emot. Rev.*, vol. 3, n.º 4, pp. 364-370, oct. 2011, doi: 10.1177/1754073911410740.
- [76] Universidad Konrad Lorenz, «Paola Andrea Suarez Pico», *Docentes Konrad Lorenz*. <https://docentes.konradlorenz.edu.co/2019/09/paola-andrea-suarez-pico.html> (accedido may 30, 2021).

- [77]C. A. Cano Gutiérrez, «Carlos Alberto Cano», p. 16.
- [78]A. G. Correal, «Diseño de Sistemas Embebidos Complejos a Partir de Agentes BDI Híbridos con Migración de Dominio», p. 170.
- [79]J. Velleman y M. E. Bratman, «Intention, Plans, and Practical Reason», *undefined*, 1987, Accedido: may 31, 2021. [En línea]. Disponible en: /paper/Intention%2C-Plans%2C-and-Practical-Reason-Velleman-Bratman/db097eac96dd0ce5b7874f9ae74306fac5b0b2df
- [80]K. O. Chin, K. S. Gan, R. Alfred, y D. Lukose, «Agent Architecture: An Overview», . *Vol.*, vol. 1, n.º 1, p. 18.
- [81]M. Wooldridge, *Reasoning about Rational Agents*. MIT Press, 2003.
- [82]L. Cao, *Metasynthetic Computing and Engineering of Complex Systems*. Springer, 2015.
- [83]R. Khosla, K. Nguyen, y M.-T. Chu, «Assistive Robot Enabled Service Architecture to Support Home-Based Dementia Care», en *2014 IEEE 7th International Conference on Service-Oriented Computing and Applications*, nov. 2014, pp. 73-80. doi: 10.1109/SOCA.2014.53.
- [84]F. Martín *et al.*, «Robots in Therapy for Dementia Patients», vol. 7, n.º 1, p. 8, 2013.
- [85]K. Tsiakas, C. Abellanoza, y F. Makedon, «Interactive Learning and Adaptation for Robot Assisted Therapy for People with Dementia», en *Proceedings of the 9th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, Corfu, Island, Greece, jun. 2016, pp. 1-4. doi: 10.1145/2910674.2935849.
- [86]M. Sato *et al.*, «Rehabilitation care with Pepper humanoid robot: A qualitative case study of older patients with schizophrenia and/or dementia in Japan», *Enferm. Clínica*, vol. 30, pp. 32-36, feb. 2020, doi: 10.1016/j.enfcli.2019.09.021.
- [87]P. Rashidi, D. J. Cook, L. B. Holder, y M. Schmitter-Edgecombe, «Discovering Activities to Recognize and Track in a Smart Environment», *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, vol. 23, n.º 4, pp. 527-539, abr. 2011, doi: 10.1109/TKDE.2010.148.
- [88]A. Mannion *et al.*, «Introducing the Social Robot MARIO to People Living with Dementia in Long Term Residential Care: Reflections», *Int. J. Soc. Robot.*, vol. 12, n.º 2, pp. 535-547, may 2020, doi: 10.1007/s12369-019-00568-1.

- [89]H. Abdollahi, A. Mollahosseini, J. T. Lane, y M. H. Mahoor, «A pilot study on using an intelligent life-like robot as a companion for elderly individuals with dementia and depression», en *2017 IEEE-RAS 17th International Conference on Humanoid Robotics (Humanoids)*, nov. 2017, pp. 541-546. doi: 10.1109/HUMANOIDS.2017.8246925.
- [90]F. Rudzicz, R. Wang, M. Begum, y A. Mihailidis, «Speech recognition in Alzheimer’s disease with personal assistive robots», en *Proceedings of the 5th Workshop on Speech and Language Processing for Assistive Technologies*, Baltimore, Maryland, USA, 2014, pp. 20-28. doi: 10.3115/v1/W14-1904.
- [91]V. Mahnič y T. Hovelja, «On using planning poker for estimating user stories», *J. Syst. Softw.*, vol. 85, n.º 9, pp. 2086-2095, sep. 2012, doi: 10.1016/j.jss.2012.04.005.
- [92]EasyAgile, «Agile Estimation Techniques: A Deep Dive Into T-Shirt Sizing», *Agile Estimation Techniques: A Deep Dive Into T-Shirt Sizing*. easyagile.com (accedido jun. 06, 2021).
- [93]E. González y C. Bustacara, *Desarrollo de aplicaciones basadas en sistemas multiagentes*. 2007.
- [94]A. Dorri, S. S. Kanhere, y R. Jurdak, «Multi-Agent Systems: A Survey», *IEEE Access*, vol. 6, pp. 28573-28593, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2831228.
- [95]P. Abrahamsson, O. Salo, y J. Ronkainen, «Agile Software Development Methods: Review and Analysis», p. 112, 2002.
- [96]J. D. Paez Rivera, «RoboAct: Plataforma para teatro robótico», p. 15.
- [97]A. Ortony, G. Clore, y A. Collins, «The Cognitive Structure of Emotion», *The Cognitive Structure of Emotion*. https://www.researchgate.net/publication/202304316_The_Cognitive_Structure_of_Emotion (accedido abr. 18, 2021).
- [98]B. Steunebrink, M. Dastani, J.-J. Ch, y J. Meyer, «The OCC model revisited», ene. 2009.
- [99]SoftBank Robotics, «NAOqi APIs — Aldebaran 2.5.11.14a documentation», *NAOqi APIs*. <http://doc.aldebaran.com/2-5/naoqi/index.html> (accedido abr. 18, 2021).

- [100] A. Lipowski y D. Lipowska, «Roulette-wheel selection via stochastic acceptance», *Phys. Stat. Mech. Its Appl.*, vol. 391, n.º 6, pp. 2193-2196, mar. 2012, doi: 10.1016/j.physa.2011.12.004.
- [101] SoftBank Robotics, «QiChat - Introduction — Aldebaran 2.5.11.14a documentation», *QiChat*. <http://doc.aldebaran.com/2-5/naoqi/interaction/dialog/dialog.html> (accedido abr. 18, 2021).
- [102] C. Jost *et al.*, *Human-robot interaction evaluation methods and their standardization*. Cham: Springer, 2020. Accedido: jun. 07, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://public.eblib.com/choice/PublicFullRecord.aspx?p=6198540>
- [103] A. C. Bartneck, «The Godspeed Questionnaire Series», *Christoph Bartneck, Ph.D.*, mar. 11, 2008. <https://www.bartneck.de/2008/03/11/the-godspeed-questionnaire-series/> (accedido jun. 07, 2021).
- [104] D. S. Nazareth, «Emotion Recognition in Dementia: Advancing technology for multimodal analysis of emotion expression in everyday life», en *2019 8th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction Workshops and Demos (ACIIW)*, Cambridge, United Kingdom, sep. 2019, pp. 45-49. doi: 10.1109/ACIIW.2019.8925059.
- [105] IBM, «Introducing Watson Assistant - Watson Blog». <https://www.ibm.com/blogs/watson/2018/03/the-future-of-watson-conversation-watson-assistant/> (accedido jun. 09, 2021).

X- APÉNDICES

[Anexo: Expresión Emocional Robot - Muy Feliz](#)

[Anexo: Expresión Emocional Robot - Feliz](#)

[Anexo: Expresión Emocional Robot - Neutro](#)

[Anexo: Expresión Emocional Robot - Triste](#)

[Anexo: Expresión Emocional Robot - Muy Triste](#)

[Anexo: Documentación Casos de Uso](#)

[Anexo: Documentación de Pruebas](#)

[Anexo: PMP - Project Management Plan](#)

[Anexo: SRS - Software Requirements Specification](#)

[Anexo: SDD - Software Design Description](#)

[Anexo: Datasheet Robot Pepper](#)

[Anexo: Trazabilidad Artículos](#)

[Anexo: Respuestas Entrevistas](#)

[Anexo: Descomposición de Metas](#)

[Anexo: Diagrama de Clases Agent-RESPwA](#)

[Anexo: Diagrama Relacional de la Base de Datos](#)

[Anexo: Diagrama Lógico de la Base de Datos](#)

[Anexo: Documentación Requisitos](#)

[Anexo: Documentación Servicios](#)

[Anexo: Selección de Actividades](#)

[Anexo: Formato de Consentimiento Informado](#)