

Control inteligente para robots de asistencia social autónomos y adaptativos en ambientes de interacción humano-robot.

Juan Sebastian León Suárez

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
BOGOTÁ, D.C.
2023

Control inteligente para robots de asistencia social autónomos y adaptativos en ambientes de interacción humano-robot.

Autor:

Juan Sebastian León Suárez

MEMORIA DEL TRABAJO DE GRADO REALIZADO PARA CUMPLIR UNO DE
LOS REQUISITOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
MAGÍSTER EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Director

Ing. Enrique González Guerrero PhD

Comité de Evaluación del Trabajo de Grado

Ing. Eduardo Gerlein PhD

Ing. Álvaro Castro PhD

Página web del Trabajo de Grado

[Control inteligente para robots de asistencia social autónomos y adaptativos en ambientes de HRI.](#)

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRÍA EN INGENIERIA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
BOGOTÁ, D.C.
Noviembre, 2023
PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

Rector Magnífico

Luis Fernando Múnera Congote, S.J

Decano Facultad de Ingeniería

Ingeniero Lope Hugo Barrero Solano PhD

Director Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación

Ingeniera Angela Carrillo Ramos PhD

Director Departamento de Ingeniería de Sistemas

Ingeniero Cesar Julio Bustacara PhD

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

A Ti, mi gloria y quien levanta mi cabeza. A mis padres, mi hermana y mis abuelitos Mario y Paulina, quienes creyeron en mi aun cuando yo no podía más. A Mafe, que aun desde la distancia me dio fuerzas para ser constante. A Oscar Aux y su familia, quienes depositaron su confianza en mi capacidad de finalizar esta maestría. A David y Apa, quienes estuvieron ahí en medio de mi ausencia. A Nelson y Hams, quienes sostuvieron mis brazos cuando no tenía fuerzas. Al profesor Enrique, quien me acogió bajo su ala y me transmitió su sabiduría, no solo en la investigación sino para la vida. A la profesora Angela, quien con cariño y paciencia me llevo hasta el final del camino. A Cinú, Fernando y el FM Team, cuyo apoyo fue fundamental para poder finalizar este logro. A todos ustedes, gracias. Este logro también es de ustedes.

Contenido

INTRODUCCIÓN	14
1. DESCRIPCIÓN GENERAL	15
1.1. PROBLEMÁTICA	15
1.2. OPORTUNIDAD.....	16
1.3. OBJETIVO GENERAL	17
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.5. FASES DE DESARROLLO	17
1.5.1. <i>Análisis de la Problemática</i>	18
1.5.2. <i>Diseño de la Arquitectura</i>	19
1.5.3. <i>Validación de la Arquitectura</i>	19
2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	21
2.1. MARCO TEÓRICO.....	21
2.1.1. <i>Robótica de Asistencia Social</i>	21
2.1.2. <i>Interacción Humano Robot</i>	22
2.2. ESTADO DEL ARTE	23
2.2.1. <i>Adaptabilidad</i>	24
2.2.2. <i>Autonomía</i>	26
2.2.3. <i>Ética</i>	27
2.2.4. <i>Cooperación</i>	29
2.2.5. <i>Empatía e Interactividad</i>	30
2.2.6. <i>Arquitecturas de Control para SARs</i>	32
2.2.7. <i>Comparación de Trabajos</i>	33
3. ARQUITECTURA SOCIALROBOTBESA.....	36
3.1. REQUERIMIENTOS.....	36
3.1.1. <i>Requerimientos No Funcionales</i>	37
3.1.2. <i>Requerimientos Funcionales</i>	37
3.2. ARQUITECTURA DE AGENTES	40
3.2.1. <i>Interacciones</i>	42
3.2.2. <i>Módulo de Integración</i>	43
3.2.3. <i>Módulo de Soporte</i>	44
3.2.4. <i>Módulo de Decisión</i>	45
4. PROTOTIPO	51
4.1. PRIORIZACIÓN DE COMPONENTES.....	51
4.2. TECNOLOGÍAS UTILIZADAS	52
4.3. INTEGRACIÓN AL ROBOT PEPPER.....	53
4.3.1. <i>Agentes Proveedores de Servicio</i>	54

4.4.	APLICACIÓN DE SOCIALROBOTBESA AL CUIDADO DEL ADULTO MAYOR	54
4.4.1.	<i>Agente Interprete Emocional del Usuario</i>	55
4.4.2.	<i>Agente de Creencias</i>	55
4.4.3.	<i>Agente de Motivación</i>	56
4.4.4.	<i>Agente de Acción</i>	62
4.4.5.	<i>Agentes de Decisión Secundarios</i>	63
4.5.	ESTADO ACTUAL DE SOCIAL ROBOT BESA	63
5.	VALIDACION DEL PROTOTIPO	66
5.1.	DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA	66
5.1.1.	<i>Especificación de los Escenarios</i>	66
5.1.2.	<i>Construcción del Instrumento</i>	67
5.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	68
5.2.1.	<i>Expertos</i>	68
5.2.2.	<i>Cuidadores</i>	69
5.2.3.	<i>Adultos Mayores – Pruebas en Vivo</i>	70
6.	CONCLUSIONES.....	72
6.1.	TRABAJO FUTURO	73
	REFERENCIAS	75
	ANEXOS	87

Lista de Tablas

Tabla 1. Tipificación de Usuarios por Escenario. Adaptado de [52]	30
Tabla 2. Trabajos Relacionados	34
Tabla 3. Requerimientos No Funcionales	37
Tabla 4. Requerimientos de Adaptabilidad	37
Tabla 5. Requerimientos de Empatía	38
Tabla 6. Requerimientos de Cooperación entre agentes	38
Tabla 7. Requerimientos de Mediación Social.....	38
Tabla 8. Requerimientos de Seguridad	39
Tabla 9. Requerimientos de Autonomía.....	39
Tabla 10. Requerimientos de Toma de Decisiones	39
Tabla 11. Requerimientos de Manejo de Recursos	40
Tabla 12. Agentes y Metas AOPOA	41
Tabla 13. Interacciones entre agentes SocialRobotBesa	43
Tabla 14. Agentes de Soporte	45
Tabla 15. Descripción de las creencias del agente BDI	46
Tabla 16. Componentes Relevantes Agente de Motivación.....	48
Tabla 17. Criterios de priorización.....	51
Tabla 18. Evaluación de Componentes	52
Tabla 19. Agentes Proveedores de Servicio Caso Adultos Mayores	54
Tabla 20. Eventos Emocionales en el cuidado de adultos mayores	56
Tabla 21. Funciones de Activación y Contribución Caso Adultos Mayores	59
Tabla 22. Reglas para el Gestor de Autonomía.....	61
Tabla 23. Reglas para la Retroalimentación.....	62
Tabla 24. Acciones del sistema	62
Tabla 25. Primitivas del sistema	63
Tabla 26. Ejemplo Parámetros de Enriquecimiento Primitiva Say	63
Tabla 27. Agentes Parcialmente Implementados	64
Tabla 28. Agentes por Implementar	65
Tabla 29. Escala Likert para validación	67
Tabla 30. Cantidad de Evaluadores.....	68
Tabla 31. Promedio por Evaluación Expertos Médicos	69
Tabla 32. Promedio por Categorías Cuidadores.....	70

Tabla 33. Promedio por Categorías Adultos Mayores 71

Lista de Figuras

Ilustración 1. Proceso Metodológico.....	18
Ilustración 2. Overview SocialRobotBesa	41
Ilustración 3. Estructura del Agente de Motivación.....	47
Ilustración 4. Diagrama de interacción para el enriquecimiento de acciones	49
Ilustración 5. Diagrama de Despliegue	53
Ilustración 6. Aplicación SocialRobotBesa acaso Adultos Mayores	55
Ilustración 7. Creencias Caso Adultos Mayores	56
Ilustración 8. Metas Implementadas en el contexto de cuidado de Adultos Mayores.....	58
Ilustración 9. Metas Latentes	59
Ilustración 10. Funciones de Membresía Autonomía.....	61
Ilustración 11. Funciones de Membresía Desempeño Servicio	61

ABSTRACT

Currently, robots have emerged from the factory with the intention of becoming an essential part of human daily life. This transition opens the door to new challenges and opportunities in human-robot interaction. One of them is managing the uncertainty arising from a complex environment and an unpredictable user. This becomes even more evident when the robot is required to assist vulnerable populations such as children or the elderly. In this thesis, a control architecture is presented to manage uncertainty in human-robot interaction. It aims to generate well-being for the user and improve their quality of life through features like adaptability, autonomy, empathy, explainability, cooperation, and ethics.

RESUMEN

En la actualidad, los robots han salido de la fábrica con la intención de ser parte esencial de la cotidianidad del ser humano. Esta transición abre la puerta a nuevos retos y oportunidades en la interacción humano robot. Una de ella es la gestión de la imprevisibilidad proveniente de un ambiente complejo y un usuario impredecible. Esto es aún más notorio cuando el robot debe apoyar a poblaciones vulnerables como niños o adultos mayores. En este trabajo de grado, se presenta una arquitectura de control para la gestión de la imprevisibilidad en la interacción humano robot. La arquitectura busca generar bienestar al usuario y mejorar su calidad de vida, a partir de características como la adaptabilidad, la autonomía, la empatía, la explicabilidad, la cooperación y la ética.

RESUMEN EJECUTIVO

La tendencia del uso de robots ha experimentado cambios significativos en la última década. La proyección de una disminución significativa de la mano de obra para el 2050 y el crecimiento de poblaciones vulnerables, como los adultos mayores y los niños, ha impulsado el desarrollo de la robótica, especialmente en el ámbito de la asistencia social.

Por esta razón, la investigación en robótica ha evolucionado de entornos controlados con interacciones estructuradas, como la industria manufacturera, a entornos no controlados como geriátricos, colegios y hogares. En este proceso de transición, se requiere que los robots tengan características relacionadas con la gestión de la imprevisibilidad para poder brindar bienestar a las poblaciones vulnerables desde una perspectiva centrada en el usuario. La gestión de la imprevisibilidad, como característica de los robots, adquiere aún más importancia considerando que estos deben ser utilizados en intervenciones diseñadas a largo plazo.

A partir de una revisión del estado del arte, se encontró que la imprevisibilidad en la interacción humano-robot proviene de dos fuentes: el ser humano y el ambiente. Sobre el ser humano, investigaciones relacionadas con el campo neurológico han sugerido que los seres humanos son impredecibles. Esta imprevisibilidad se evidencia aún más en poblaciones vulnerables con deficiencias cognitivas. Sobre la imprevisibilidad en el ambiente, cambios súbitos, obstáculos o mediciones poco confiables de sensores podrían afectar la interpretación del estado mental del usuario ocasionando que el robot tome decisiones con información incorrecta.

Para gestionar la imprevisibilidad, la literatura sugiere que los sistemas de control inteligente para robots de asistencia social deben tener ciertas características fundamentales. Estas incluyen: adaptabilidad, autonomía, colaboración con otros agentes y seres humanos, nociones éticas embebidas, habilidades de empatía y expresión emocional, todo ello cumpliendo con el requisito de operar en tiempo real.

Como solución a esta problemática, en este trabajo de grado se propone la arquitectura de control inteligente SocialRobotBesa, la cual pretende generar bienestar al usuario en ambientes de imprevisibilidad. Considerando trabajos anteriores realizados en robótica de asistencia social en la Universidad Javeriana, se optó por desarrollar un sistema multiagentes. Los requerimientos incluyen la interacción en tiempo real para responder oportunamente a los imprevistos, la capacidad de extensibilidad del sistema para integrarse a diversos entornos tecnológicos de los usuarios y la interoperabilidad para evitar generar tecnología excluyente para un único robot. Asimismo, debido a sus capacidades de explicabilidad, deliberación y reacción concurrente, se adoptó la arquitectura de agentes BDI-CHA.

Siguiendo la metodología AOPOA, se concluyó que la arquitectura de control inteligente SocialRobotBesa debía implementar 13 tipos de agentes. Se debe recalcar que SocialRobotBesa incorpora agentes provenientes de trabajos doctorales centrados en la toma de decisiones en tiempo real, como el agente de creencias, el agente de motivación y el agente de acción de la tesis de Angela Bravo [1]. Para mejorar la eficiencia en la transmisión de la información, se modificó el diseño de estos agentes para que la comunicación fuera proactiva, al utilizar patrones como el patrón proveedor de servicio del framework BESA. Además, para reducir el tiempo de deliberación se diseñó la integración del algoritmo RETE para evaluar únicamente las metas relacionadas a las creencias que han cambiado.

Adicionalmente, la arquitectura incorpora en su diseño mecanismos de lectura multimodal para interpretar las emociones del usuario de manera confiable a partir de su voz y su rostro, siguiendo el paradigma propuesto por Alcalá [2]. Así mismo, la arquitectura considera procesos de cooperación

con otros agentes y la integración de nuevas fuentes de información como: wearables, cámaras y otros robots. Para la empatía interactiva, se utilizó el modelo emocional OCC [3] del grupo SIRP, junto con estrategias de enriquecimiento emocional basadas en el trabajo de De la Peña [4]. Además, la arquitectura incluye en su diseño un agente interactivo para la gestión de la imprevisibilidad durante el intercambio verbal a través del uso de modelos de lenguaje natural como Chat-GPT. De igual forma, la arquitectura incluye capacidades de cooperación humano-robot para aprovechar la experiencia de expertos en la toma de decisiones. Asimismo, se propone la detección de riesgos éticos y de la interacción, junto con planes de mitigación, para brindar una respuesta oportuna a eventos imprevistos. Adicionalmente, se plantea el diseño de un agente de aprendizaje que promueva la personalización y adaptación del perfil del usuario a lo largo del tiempo. De igual manera, se introduce el concepto de metas latentes, heredado de los roles de la arquitectura MRCC[5]. Lo anterior se complementa con una gestión adaptable de la autonomía, lo que facilita la personalización y la influencia de los actores relacionados con el cuidado del usuario en las decisiones del robot. Todo esto tiene como meta principal la reducción de la imprevisibilidad en el proceso de toma de decisiones.

La arquitectura fue validada mediante la implementación de un prototipo parcial para el escenario de cuidado de adultos mayores. El prototipo incluyó capacidades de empatía, personalización, colaboración básica con humanos, autonomía adaptable y explicabilidad. Además, se establecieron metas vinculadas a servicios validados previamente como lo son la *Cuentería* y la *Musicoterapia*. De igual manera, se implementaron otros escenarios abstraídos de la literatura y de las visitas a los geriátricos como: el *Recordar Medicamentos* y el *Momento Espiritual*. Se grabaron cinco escenarios diseñados con el apoyo de la Dra. Claudia Giraldo y se realizó un formulario adaptado de la metodología Almere [6] para medir el desempeño de la arquitectura durante la interacción. De igual manera, se contó con 7 evaluadores incluyendo a expertos médicos, cuidadores y adultos mayores.

En general, la arquitectura SocialRobotBesa fue apreciada como positiva por parte de los evaluadores. Los cuidadores consideran que podría aligerar sus cargas y enriquecer su trabajo. De igual manera, los adultos mayores creen que podría ayudarlos a mitigar la soledad y a estar entretenidos en su día a día. En cuanto a los expertos médicos, estos mencionaron que la interacción con el robot puede ser beneficiosa para sus pacientes y que tienen confianza en el robot. Ninguna población evaluadora resaltó problemas relacionados al manejo de la imprevisibilidad durante la evaluación.

Por último, se realizaron las primeras pruebas en vivo con adultos mayores en el ámbito de la robótica de asistencia social en la Pontificia Universidad Javeriana. Las pruebas permitieron confirmar la retroalimentación dada por las evaluaciones de expertos médicos y los cuidadores. Ellos señalaron problemas como la falta de emocionalidad de la voz del robot, la falta de interactividad en el diálogo y la necesidad de lograr interacciones menos estructuradas al interactuar con el paciente. Por otro lado, se pudo ver como la interacción con el robot mejoraba el estado de ánimo de los adultos mayores al permitirles entretenerse de una manera distinta.

Como trabajo futuro, se sugiere realizar investigaciones exhaustivas en cada uno de los aspectos relacionados a la gestión de la imprevisibilidad en la interacción humano robot. Este enfoque va a permitir enriquecer componentes de la arquitectura, como los agentes detectores de riesgos y los agentes de aprendizaje. Así mismo, se propone estudiar a mayor profundidad escenarios de colaboración con usuarios involucrados en el cuidado de poblaciones vulnerables, con el objetivo de que la arquitectura pueda proveer un cuidado holístico centrado en el bienestar social del usuario.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los robots están trascendiendo las limitaciones de los ambientes controlados y requieren de la habilidad de trabajar lado a lado con el humano en ambientes dinámicos [7]. Como consecuencia de esta transición de la industria a campos más centrados en el ser humano, surge el campo de investigación de los Robots de Asistencia Social (SARs, por sus siglas en inglés). Este tipo de tecnología se define como: “un sistema robótico que tiene como objetivo proveer asistencia a los usuarios, a través de la interacción social” [8]. Sin embargo, para brindar esta asistencia de manera efectiva, los SARs deben actuar bajo alta imprevisibilidad, causada por situaciones inesperadas resultantes de la iniciativa humana [9], [10] y de cambios en el ambiente.

Esta imprevisibilidad es aún más pronunciada, cuando el SAR debe encargarse del cuidado y apoyo de poblaciones vulnerables[11], como es el caso de la atención a adultos mayores y la educación en niños. Estas poblaciones se caracterizan por ser heterogéneas y diversas cognitivamente [12]–[15], lo que presenta un reto enorme para el área de robótica de asistencia social. Si bien hoy en día existen múltiples aplicaciones de los SARs [16], estas áreas de aplicación destacan por tener un impacto social significativo y contribuir al bienestar del usuario.

Para mitigar la imprevisibilidad de la interacción humano robot y generar bienestar en el usuario de una manera más eficiente, se ha propuesto la arquitectura SocialRobotBesa, que aprovecha las ventajas de los sistemas multiagentes para brindar una interacción usuario-céntrica, fluida y lista para reaccionar oportunamente ante eventos imprevistos durante la interacción humano-robot. Así mismo, la arquitectura fue diseñada con la idea de incluir eventualmente los intereses de usuarios primarios, secundarios o terciarios según el contexto de aplicación. Esto para fomentar la seguridad y el soporte de aquellos vulnerables.

La arquitectura busca integrar e implementar 13 agentes especializados que facilitan las características de autonomía, adaptabilidad, aprendizaje, explicabilidad y empatía. El diseño de SocialRobotBesa fue enmarcado bajo los objetivos de ser: completa, supliendo los requerimientos de la interacción humano robot en poblaciones vulnerables; coherente, respetando los principios propuestos por la arquitectura BDI y su implementación en BDI-BESA; e híbrida, con la capacidad de planear como generar bienestar al usuario y a su vez de reaccionar a eventos imprevisibles del ambiente.

Este documento consta de seis capítulos. En el capítulo 1, se presentan la problemática, los objetivos, y la metodología de investigación. El capítulo 2 ofrece un marco teórico, revisa el estado del arte y relaciona los trabajos previos de la Universidad Javeriana. El capítulo 3 detalla el sistema de control inteligente basado en la arquitectura SocialRobotBesa para gestionar la imprevisibilidad. En el capítulo 4, se describe la implementación de un prototipo de la arquitectura en el contexto del cuidado de adultos mayores. El capítulo 5, incluye el proceso de validación del prototipo través de la retroalimentación de expertos, cuidadores y adultos mayores. Por último, en el capítulo 6 se realizan las conclusiones y se señala el trabajo futuro.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL

En este capítulo, se aborda la problemática general del proyecto y se define el contexto en el cual surge SocialRobotBesa. Así mismo, se establecen los objetivos generales y específicos del proyecto, junto con la metodología de investigación que se empleó para abordarlos.

1.1. Problemática

En las últimas décadas, se ha observado una evolución en la tendencia de utilización de robots [17]. Inicialmente, los robots se utilizaban únicamente en el contexto industrial. En este entorno, los operadores humanos coexistían con la máquina realizando tareas no relacionadas[18] y los ambientes eran estáticos y predecibles [19]. Sin embargo, en la última década, se ha visto un aumento en la investigación y aplicación de robots de uso personal. Davenport [19] sugiere, que el motivo por cual los robots personales no han ganado mayor popularidad en el mercado radica en la alta complejidad que deben manejar al interactuar con el ser humano.

La interacción entre humanos y robots es propensa a tener imprevisibilidad. Como menciona Mataric [20], los robots deben entender e interactuar con su entorno y generar bienestar de manera interactiva y ética para el usuario. La capacidad del robot para comprender y ejecutar las acciones deseadas puede ser una fuente de imprevisibilidad. Esto se debe principalmente a que la información que se puede obtener del ambiente es imprecisa e incompleta, al depender de la actividad restringida de los sensores [21]–[23]. Los problemas de percepción pueden afectar la toma de decisiones por parte del robot al desconocer el estado mental del usuario y los cambios en el ambiente.

Similarmente, los robots pueden estar sujetos a interactuar en entornos que cambian constantemente, como lo son los colegios, las clínicas o los geriátricos. Por ejemplo, la aparición súbita de obstáculos o la probabilidad de colisión con adultos mayores, niños o pacientes introduce variables difíciles de controlar para el robot [24]. Así mismo, como mencionan Jain et.al [24], los cambios súbitos de iluminación o ruido pueden afectar la capacidad de percepción y aprendizaje del robot.

En cuanto a la interacción directa con el humano, la dificultad de entender las intenciones del usuario durante la interacción introduce imprevisibilidad al proceso de toma de decisiones del robot. Tal como mencionan Bland y Schaefer[25], hay evidencia teórica y práctica de la impredecibilidad en la toma de decisiones de los seres humanos, quienes son propensos a cometer errores, tomar decisiones impredecibles o cambiar de decisión abruptamente.

De manera similar, la comunicación entre humanos y SARs suele ser verbal. Como sostienen Leusmann et.al [26] la comunicación verbal genera imprevisibilidad en la interacción debido a las diferencias en la comprensión del lenguaje natural, la interpretación de gestos, y la capacidad del robot para expresarse socialmente de manera efectiva.

De esta misma manera, como sugieren Castellano et.al [27], cada ser humano es diferente tanto a nivel cognitivo como psicológico. Estas diferencias requieren que la interacción sea adaptada para diversas necesidades y personalidades. La capacidad del robot para expresar una personalidad similar a la del usuario o para asumir un rol diferente según la actividad a realizar tiene un impacto considerable en el bienestar que el robot puede generar, al influir en la aceptación del robot por parte del usuario [28].

Con el surgimiento de tecnologías basadas en inteligencia artificial, Leusmann et.al [26] sostienen que los robots de uso personal han adquirido la capacidad de realizar tareas aún más complejas y se han vuelto ubicuos en algunas sociedades. Un ejemplo de esto, es el rápido desarrollo de la robótica

de asistencia social para el apoyo de múltiples actividades, como el cuidado de adultos mayores [29], [30], e inclusive el servicio al cliente [31], [32].

Los robots de asistencia social (SAR, por sus siglas en inglés), como los define Mataric [20] son: “un sistema que utiliza estrategias de interacción [...] para proveer atención en un contexto de asistencia determinado”. La importancia de la asistencia provista por los SAR cobra relevancia al tener en cuenta problemáticas como la disminución de la mano de obra para el año 2050 [33]–[35] y el crecimiento de poblaciones vulnerables que necesitan atención [36]. Sin duda, el apoyo a poblaciones vulnerables, como los adultos mayores o los niños, implica que aspectos como la seguridad y la gestión de la imprevisibilidad sean prioritarios en la interacción humano-robot.

En el caso de los adultos mayores, situaciones como las emergencias médicas y los cambios progresivos en el usuario a medida que avanzan las enfermedades sugieren que el robot debe ser capaz de manejar la imprevisibilidad de una manera efectiva [37]. Si el SAR no responde de manera oportuna a ese tipo de eventos, la confianza de los usuarios primarios, secundarios y terciarios se podría ver reducida, lo que a su vez implicará una menor adopción de la tecnología.

En el ámbito de la educación, se hace relevante la necesidad de identificar las intenciones del ser humano [38] y la selección autónoma de acciones [39]. Lo anterior es crucial, ya que afecta tanto el estado cognitivo del estudiante como el flujo de la interacción. Además, según Papadopoulos [40], es necesario mantener el efecto novedoso de las actividades para el estudiante utilizando la personalización autónoma según las necesidades de cada estudiante.

1.2. Oportunidad

En general, para gestionar la imprevisibilidad de la interacción, el SAR debe ser inteligente. Es decir, debe estar “la capacidad de determinar el comportamiento que maximizará la probabilidad de satisfacción de la meta en condiciones dinámicas e inciertas, vinculadas al entorno y la interacción con otros agentes (posiblemente humanos)” [41].

Además, la imprevisibilidad de la interacción humano-robot reduce la efectividad de las tareas de asistencia debido a la incapacidad de los SARs de percibir, interpretar y responder a las necesidades de los usuarios autónomamente [24]. En otras palabras, para brindar un soporte óptimo, el SAR debe ser autónomo, al operar oportunamente en las tareas para las que fue diseñado (o que crea para sí mismo) sin intervención externa [42]. Para Baraka, la autonomía también debe incluir la capacidad de aprendizaje según el contexto de la interacción con el usuario [16]. Así mismo, el autor afirma que una instancia de la autonomía de los SARs, se relaciona con poder planear sus interacciones teniendo en cuenta el estado del ambiente y el humano [16]. Cabe resaltar que esta habilidad de planeación es relevante, pues, según Úmbrico, trae consigo el comportamiento proactivo necesario para responder a situaciones críticas [43].

Parte de la autonomía de los SARs, según Mataric [8], se relaciona con la adaptación a las rutinas y necesidades cambiantes de los usuarios, sin una configuración adicional por parte de un operador experto. Scassellati et.al[20] resaltan que la adaptabilidad en SARs debe ocurrir tanto a corto plazo en cuanto a la personalización, como a largo plazo; con el fin de permitir que la experiencia se mantenga innovadora y atractiva. Sin duda, la adaptabilidad del SAR es vital para la interacción con seres humanos. De hecho, algunos trabajos mencionan que sería ideal que el robot pudiese cambiar su repertorio de actividades con el tiempo teniendo en cuenta las preferencias y necesidades de cada usuario [44], [45], [46]. De igual manera, Úmbrico comenta que la personalización y la adaptación son requeridas para satisfacer las necesidades de los adultos mayores y mejorar los niveles de aceptación del SAR [43].

Por otro lado, para soportar los procesos de adaptación, autonomía y aprendizaje, Salichs[47] propone la introducción de emociones al sistema como mecanismos de toma de decisiones. Así mismo propone las emociones como refuerzo del aprendizaje del SAR, al argumentar que las emociones sirven para identificar situaciones inesperadas. Desde otra perspectiva, la empatía en los SARs es importante para fomentar el comportamiento social en los usuarios durante la interacción [48]. De hecho, Tapus propone que cuando el robot reacciona emocionalmente, de manera adecuada, a diferentes situaciones sociales puede mejorar el rendimiento de las tareas interactivas entre SARs y humanos. Así mismo, la autora menciona, que la comprensión y el intercambio de expresiones emocionales refuerza la formación de vínculos de asistencia deseados en la interacción entre SARs y humanos [11]. Cabe denotar que el intercambio de expresiones emocionales requiere que el SAR pueda expresar su propio estado emocional y a su vez, este en la capacidad de interpretar las emociones del usuario.

En resumen, un robot de asistencia social se sitúa en un ambiente incierto, como consecuencia de su interacción con el ser humano. Para manejar esta imprevisibilidad, el SAR debe ser autónomo, adaptable, y personalizable, con la capacidad de planeación y aprendizaje en tiempo real. Además, el SAR debe buscar enriquecer el intercambio emocional durante la interacción con el usuario. Teniendo en cuenta la problemática anterior y considerando que el objetivo de los SAR es generar bienestar al usuario, se hace relevante un sistema de control inteligente que pueda gestionar la imprevisibilidad propia de la interacción humano-robot desde una perspectiva centrada en el usuario y que siga el lineamiento principal de los SARs “potenciar, en lugar de reemplazar, la atención humana para los usuarios” [20].

1.3. Objetivo General

Diseñar una arquitectura híbrida de control inteligente para la toma de decisiones en robots de asistencia social autónomos y adaptables, en ambientes no controlados, centrada hacia gestión de la imprevisibilidad en la interacción con usuarios humanos.

1.4. Objetivos Específicos

- Caracterizar los requerimientos de autonomía y adaptabilidad en robots de asistencia social, que cuenten con la capacidad de toma de decisiones bajo la imprevisibilidad resultante de los contextos de interacción con humanos.
- Diseñar una arquitectura de control inteligente, extendiendo la arquitectura BDI-CHA, a partir de los requerimientos identificados y su aplicación en dos casos de aplicación de referencia: el cuidado de adultos mayores con Alzheimer y el soporte cognitivo y emocional en el proceso de aprendizaje de niños.
- Evaluar la efectividad de la arquitectura diseñada a partir del desarrollo de un prototipo parcial, utilizando el robot Pepper, mediante la implementación de dos actividades relacionadas con el cuidado de adultos mayores.

1.5. Fases de Desarrollo

La metodología empleada en este trabajo de grado se basa en las etapas del ciclo básico de diseño en ingeniería, compuesto por análisis, diseño y validación. El ciclo básico se divide en tres etapas con la posibilidad de realizar múltiples iteraciones durante el proceso de diseño, las cuales se retroalimentaron mediante la evaluación de las soluciones obtenidas al final de cada ciclo. Cada fase se relaciona directamente, uno a uno, con los objetivos específicos planteados.

La primera fase, llamada análisis de las problemáticas, comprendió una revisión del estado del arte con el fin de caracterizar los requerimientos de la arquitectura. Estos requerimientos fueron el insumo de la segunda fase, diseño de la arquitectura, al servir de guía para generar la arquitectura incrementalmente. Por último, se tiene la fase de validación de la arquitectura, donde se tomará la arquitectura diseñada y se generará un prototipo. Este prototipo será evaluado por usuarios y expertos en los campos de conocimiento abordados en este trabajo de grado. Además, se proponen dos casos de aplicación transversales a todas las fases: el cuidado de adultos mayores y la robótica educativa. La relación entre las fases y los casos se puede evidenciar en la Ilustración 1. Proceso Metodológico

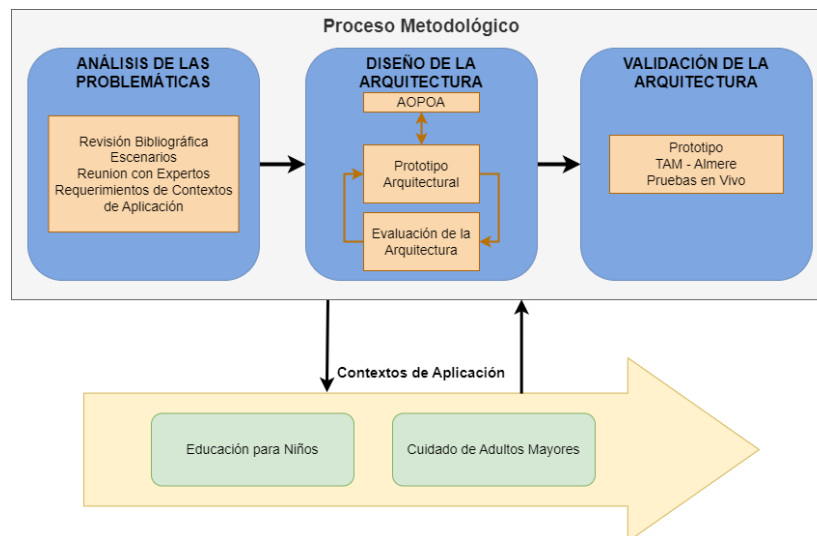


Ilustración 1. Proceso Metodológico

1.5.1. Análisis de la Problemática

En la primera fase, se llevó a cabo una revisión del estado del arte asociado al proyecto, siguiendo la metodología de investigación exploratoria. Esta revisión abordó temas clave como: arquitecturas de agentes, agentes autónomos, robótica de asistencia social, interacción humano-robot, cuidado de adultos mayores y robótica educativa.

Respecto a los contextos de aplicación transversales, se consultaron expertos en el campo del cuidado de adultos mayores como el Dr. Carlos Cano, la Dra. Claudia Giraldo, Juan Rojas (Gerente de Calucé Senior Living) y Eyder Reyes (Dueño del Hogar Gerontológico Cedros y Sauces). En lo que respecta al soporte cognitivo y emocional en la educación, se tuvo en cuenta la experiencia adquirida en los proyectos de investigación de SIRP, en específico las tesis doctorales de John Páez [38] y Angela Bravo[1].

En primera instancia, se profundizó la búsqueda de artículos iniciada en la materia Inducción a la Investigación, con el fin de mejorar la comprensión de lo que requiere un SAR para la gestión de la imprevisibilidad. La investigación estuvo centrada en implementaciones anteriores de estos requerimientos, problemas encontrados durante su desarrollo y mejoras propuestas por múltiples autores. Se tuvo en cuenta como los elementos que ya existen en trabajos previos, como la interacción en tiempo real y el soporte emocional, deben ser modificados para funcionar bajo el marco de la adaptabilidad y la autonomía. Así mismo, se hizo énfasis en el conocimiento teórico sobre los casos de aplicación transversales, con el fin de delimitar posibles actividades de interacción relevantes.

A partir de esta revisión bibliográfica y las visitas realizadas a geriátricos, se caracterizaron los requerimientos que debe tener un SAR autónomo, adaptativo y orientado hacia la gestión de la

imprevisibilidad durante la interacción con humanos, a partir de puntos de vista multidisciplinarios. Finalmente, el proceso de revisión del estado del arte fue redactado en un artículo de síntesis bibliográfica.

Actividades:

- A. Identificación y análisis de la problemática.
- B. Análisis detallado de los dos casos de aplicación transversales.
- C. Caracterización de los requerimientos para el diseño de la arquitectura.
- D. Visitas a geriátricos y al HUSI.
- E. Elaboración de un artículo de síntesis bibliográfica del estado del arte.

1.5.2. Diseño de la Arquitectura

En la segunda fase, se generó el diseño de la arquitectura para agentes inteligentes, autónomos y adaptativos incrementalmente utilizando todos los requerimientos de la fase anterior. Para diseñar la arquitectura, se siguió la metodología AOPOA[49], teniendo en cuenta también arquitecturas de agentes ya existentes con el fin de utilizar módulos relevantes en la arquitectura propuesta. Además, se definieron nuevas metas del sistema que satisfagan los requerimientos faltantes. Estas metas fueron utilizadas para definir los módulos de la arquitectura de control inteligente y para diseñar las posibles interacciones entre los agentes involucrados en la arquitectura.

Finalmente, se verificó la arquitectura al comparar el diseño generado con los requerimientos funcionales y no funcionales caracterizados en la fase anterior. De esta manera se pudo medir la completitud de la arquitectura y su cobertura de los requerimientos identificados. Se buscó que la arquitectura sea completa, coherente y enfocada hacia el requisito no funcional de tiempo real.

Actividades:

- A. Identificación de módulos relevantes y reutilizables de otras arquitecturas.
- B. Construcción incremental del modelo de control inteligente.
- C. Diseño de las interacciones entre los agentes.
- D. Verificación de la arquitectura.

1.5.3. Validación de la Arquitectura

En la tercera fase, se validó la arquitectura diseñada a partir del desarrollo de un prototipo. El prototipo fue desplegado en el robot Pepper y se enfocó únicamente en el caso de aplicación de cuidado de adultos mayores. La validación consta de dos componentes, uno enfocado a la evaluación de potenciales usuarios y otro orientado a evaluar el criterio de expertos.

La implementación del prototipo de la arquitectura se basó en los módulos definidos en la segunda fase. Con estos insumos, se priorizaron los componentes del modelo a desarrollar, teniendo en cuenta que se implementó como mínimo lo que se requiere para que las actividades seleccionadas funcionen. El prototipo fue implementado siguiendo la metodología SCRUM.

Para la validación, se tuvieron en cuenta 5 escenarios donde se evaluó el cumplimiento de la arquitectura con los requerimientos definidos y su utilidad potencial para el caso de aplicación. Estos escenarios fueron verificados con la ayuda de la Dra. Claudia Giraldo, quien dio su retroalimentación sobre el protocolo experimental. Posteriormente, se grabó un video demostrativo con un actor por cada escenario de manera que pudiese ser evaluado por cada grupo de interés.

Se midió, en el caso de los expertos médicos, la capacidad potencial de la arquitectura para generar bienestar y para manejar la imprevisibilidad correctamente. Por otro lado, en el caso de los usuarios, se tuvo en cuenta la utilidad percibida de la arquitectura. Para realizar la evaluación, se tuvo en cuenta el modelo Almere. El modelo Almere [6] es una variación del TAM, adaptada y validada para medir

la utilidad percibida en trabajos de robótica asistencial para el cuidado de adultos mayores. Este modelo ha sido utilizado para validar la aceptabilidad de robots en múltiples artículos, entre 43 trabajos del 2010 al 2020 fue el más utilizado, según David et.al [50].

Además, se realizó un consentimiento informado y se aplicó al comité de ética de la Facultad de Ingeniería. Al momento de escribir este documento, las pruebas en vivo han sido autorizadas por el comité de ética y están pendientes de realizarse.

Por último, se redactó un artículo que comprende la etapa de diseño de la arquitectura.

Actividades:

- A. Desarrollo del prototipo de la arquitectura de agentes propuesta.
- B. Aplicación del protocolo de prueba.
- C. Evaluación de la utilidad potencial de la arquitectura propuesta.
- D. Análisis de los resultados del prototipo.
- E. Elaboración de un artículo que comprenda el proceso de diseño y validación de la arquitectura propuesta en el trabajo de grado.

2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Este capítulo se basa en la primera fase de desarrollo propuesta en Análisis de la Problemática. En esta fase, se lleva a cabo una metodología exploratoria para desarrollar el marco teórico y la revisión del estado del arte. Se considera información científica todo lo obtenido de bases de datos bibliográficas, así como información institucional, casos de aplicación, modelos, sistemas y metodologías existentes.

Se realizó una revisión del estado del arte exploratoria, bajo el marco de una revisión sistemática de la literatura. Se inició utilizando ecuaciones generales incluyendo términos como *Social Assistive Robot* y *uncertainty*. Posteriormente, se encontraron conceptos comunes a lo largo de los artículos. De esta manera, cada concepto fue añadido a la ecuación y fue profundizado. El proceso completo se presenta en el anexo A en la sección de Anexos.

2.1. Marco Teórico

A continuación, se presentan brevemente los conceptos necesarios para entender el manejo de la imprevisibilidad en la interacción humano robot, para robots de asistencia social y la solución planteada: SocialRobotBesa.

2.1.1. Robótica de Asistencia Social

Para Mataric [20], un robot de asistencia social es aquel sistema robótico que utiliza estrategias de interacción social sin intervención física para proveer asistencia al ser humano. De acuerdo con Feil-Seifer [8], este campo de investigación es el resultado de la intersección de los campos de robótica asistencial y los robots de interacción social.

La robótica asistencial, busca apoyar procesos de soporte físico a usuarios que lo requieran y son utilizados en campos como la rehabilitación física. En contraste, la robótica de interacción social, de acuerdo con Fong et.al [51], busca apoyar actividades que requieren de características sociales humanas para facilitar una interacción amigable. De esta manera, un robot de asistencia social busca soportar procesos de asistencia al usuario desde una perspectiva social y no física [20].

A nivel metodológico, Mataric [20] sugiere tener en cuenta que el objetivo de los SAR es suplir y aumentar las capacidades de los actores relacionados al cuidado del usuario. El enfoque debe ser aquel de mejorar la calidad de vida y la atención que recibe el usuario, mas no se debe reemplazar por completo la atención humana. Así mismo, se considera importante mencionar que el enfoque actual de la rama de investigación es el de las intervenciones a largo plazo como se menciona en varios trabajos [13], [24], [52].

Desde el 2005, la robótica de asistencia social ha experimentado un notable crecimiento, abarcando múltiples campos de aplicación entre los cuales se incluyen [16]: la salud, la rehabilitación, la educación, el entretenimiento, las artes, el servicio público, la industria, búsqueda y rescate e incluso las ciencias sociales. En este trabajo de grado, se tendrán presentes los contextos de aplicación del cuidado de adultos mayores y la educación de niños, ya que el trabajo se enfoca en el manejo de la imprevisibilidad durante la interacción humano robot con poblaciones vulnerables.

Profundizando en el dominio de cuidado de adultos mayores, la aplicación de SARs ha presentado beneficios considerables en el cuidado de ancianos tales como: reducir depresión y efectos de soledad [53], aumentar la interacción social [54] y facilitar los estados de ánimo positivos [55]. De igual manera, durante las investigaciones en este campo de aplicación, se han identificado una serie de dimensiones en la interacción entre adultos mayores y SARs, entre las cuales se destacan: la asistencia personal, el entretenimiento, la estimulación y la seguridad (Safety) [56]. A partir de la visita al

geriátrico Cedros y Sauces, se propuso agregar una dimensión adicional relacionada a la espiritualidad del adulto mayor. Esto fue validado con la Dra. Claudia Villegas y respaldado por una breve búsqueda bibliográfica que resaltó la importancia de la espiritualidad en el cuidado del adulto mayor [57]–[60].

Otro aspecto relevante en el cuidado de adultos mayores es la soledad. Se ha comprobado que la soledad es un sentimiento prevalente en adultos mayores, al estar asociado a riesgos como el estrés, la depresión, las enfermedades cardíacas y la demencia [61]. Gasteiger et.al [62] menciona que el robot la presencia del robot disminuye la soledad. Además, los autores afirman que el robot puede intervenir modificando la cognición social, mejorando el apoyo social, aumentando las oportunidades de interacción social y ayudando al adulto mayor a mejorar sus habilidades sociales. Lo anterior implica que como herramienta de integración social, el SAR debe poder identificar oportunidades de interacción social para el usuario y soportar múltiples usuarios. Esto fue confirmado durante la visita al Hogar Cedros y Sauces, donde los cuidadores mencionaron que las actividades grupales podrían generar bienestar entre los adultos mayores y a su vez, aligerarían la carga de los cuidadores.

En el ámbito educativo, Belpaeme et.al [39] menciona que los SARs han demostrado impactos positivos en términos afectivos y de aprendizaje cuando presentan soporte personalizado al estudiante. Además, el autor [39] menciona que la selección de contenido personalizado al usuario aumenta considerablemente la ganancia cognitiva de este. De esta misma forma, se hace relevante que robot este en la capacidad de limitar su tiempo de interacción con el alumno, de manera que este pueda concentrarse en la tarea. Así mismo, el autor menciona que se ha comprobado en múltiples trabajos que los SARs tienen un impacto positivo en el compromiso, la conformidad y la obediencia del estudiante [39]. En este dominio de aplicación, el rol que ejercen los robots ante el estudiante influye en las estrategias educativas a aplicar. Teniendo esto en cuenta, el SAR puede asumir el rol de educador, de par o de estudiante como menciona Páez [38].

Sin embargo, también existen una gran cantidad de retos relacionados a los SARs en educación. En primer lugar, Belpaeme et.al [39] concluyen que la toma de decisiones es vital para lograr la creación de SARs autónomos en ambientes educativos.

2.1.2. Interacción Humano Robot

Para Goodrich y Schultz [63], la interacción humano-robot (HRI, por sus siglas en inglés) se entiende como “el campo de estudio dedicado al entendimiento, diseño y evaluación de sistemas robóticos para ser usados por o con humanos”. Esto implica que la interacción humano robot permea todo aquello que afecta la comunicación y la mediación entre robot y humano. Según el contexto de aplicación, la HRI puede alterar desde la disposición física del robot hasta sus habilidades sociales. Siguiendo los lineamientos propuestos por estos mismos autores, la interacción de los robots de asistencia social cae bajo la definición de una HRI basada en interacción próxima. Esto quiere decir los robots y los seres humanos están ubicados en un mismo espacio físico.

Como se mencionó en la sección anterior, los robots de asistencia social requieren de habilidades sociales robustas, lo que contrasta con la interacción humano robot clásica donde esto es algo opcional [64]. De acuerdo con esto, Dautenhahn [64] sugiere que para definir los requerimientos sociales de un SAR se deben tener en cuenta: la frecuencia de contacto con el ser humano, la funcionalidad del robot, el rol del robot en la interacción y el contexto de aplicación como criterios.

Por otro lado, según Kim [65] y Dautenhahn [64], la concepción de la interacción humano-robot se puede dar en 3 enfoques distintos:

HRI centrada en el robot: De acuerdo con este enfoque, las necesidades del robot son el motor de su toma de decisiones. El robot se considera una entidad autónoma, con deseos propios y los seres humanos deben identificar y responder a sus necesidades durante la interacción [64].

HRI centrada en el usuario: Siguiendo a Dautenhahn [64], el enfoque centrado en el usuario busca resolver la problemática de la aceptabilidad y comodidad del usuario durante la interacción con el robot. Este enfoque, busca facilitar una apariencia que facilite el establecimiento de vínculos emocionales con el usuario y manejar las expectativas del usuario durante la interacción.

HRI centrada en la cognición del robot: Este enfoque sugiere que el robot es un sistema inteligente y busca abordar la problemática de aumentar las habilidades cognitivas del robot. Al mejorar la capacidad cognitiva, el robot podrá hacer frente a las tareas que debe realizar bajo un marco de aplicación.

En este trabajo se tendrán en cuenta los 3 enfoques, según el lineamiento de Dautenhahn [64].

Imprevisibilidad en la Interacción Humano Robot

A partir de los trabajos encontrados y siguiendo a López et.al [66], se tipifican dos tipos de imprevisibilidad. En primer lugar, está la imprevisibilidad resultante de un ambiente no controlado, como lo son los geriátricos o los colegios. En segundo lugar, se tiene la imprevisibilidad resultante de interactuar con el ser humano, dado que es un ser imprevisible y espontáneo.

La imprevisibilidad resultante del ambiente ha sido el enfoque principal de la interacción humano-robot durante muchos años, en específico en escenarios relacionados a la manipulación de objetos y la navegación [67]–[70]. En general, este tipo de imprevisibilidad afecta la percepción del robot y sesga su capacidad de tomar decisiones a partir de datos fiables. Algunos ejemplos de este tipo de imprevisibilidad se relacionan con problemas de percepción del robot, que surgen de cambios en variables como la iluminación o la obtención de información poco fiable por parte de los sensores [21]–[24].

Por otro lado, la imprevisibilidad resultante de la interacción es consecuencia de la incapacidad de modelar y entender las intenciones, metas y creencias del ser humano. Como mencionan López et.al [66], “los seres humanos pueden realizar diferentes tareas y acciones sin garantía de hacer lo que el robot espera”. Esto, en conjunto con procesos de comunicación implícita, como los gestos corporales, representa desafíos en este campo [26].

En general, para poder generar bienestar al usuario, será necesario que el controlador inteligente este en la capacidad de mitigar la imprevisibilidad proveniente de ambas fuentes. Como posibles soluciones a la imprevisibilidad resultante del ambiente, se han presentado soluciones como la utilización de sistemas multimodales y modelos de inteligencia artificial basados en el aprendizaje. Ahora bien, bajo este trabajo de grado se tendrán en consideración las soluciones relacionadas al manejo de la imprevisibilidad durante la interacción con el humano, bajo el marco de la robótica de asistencia social orientada a intervenciones de largo plazo.

2.2. Estado Del Arte

Habiendo analizado el contexto de la robótica de asistencia social y considerando la imprevisibilidad resultante de un ambiente dinámico y un ser humano imprevisible, se presentan aspectos esenciales para el manejo de la imprevisibilidad en la interacción humano robot.

2.2.1. Adaptabilidad

La investigación reciente en HRI para robots de asistencia social ha demostrado que la interacción a largo plazo mejora la participación de los usuarios y facilita la obtención de resultados satisfactorios de las intervenciones [71]. Ahora bien, el mayor reto para las interacciones a largo plazo es poder gestionar la imprevisibilidad resultante del cambio de los usuarios, a medida que pasa el tiempo. Cabe destacar que la adaptación debe realizarse a corto y a largo plazo. El SAR debe poder ajustarse rápidamente a cambios en el entorno y, al mismo tiempo, asegurar una interacción pertinente e interesante a lo largo del tiempo [48].

Como mencionan Yuan et.al [72], el robot debe poder adaptarse individualmente a características que cambian con el tiempo, como lo son el déficit cognitivo, la atención en las actividades y las personalidades. En el caso de los adultos mayores, el envejecimiento es una experiencia heterogénea y la incapacidad de tener un modelo universal de la vejez, exige que el robot pueda evolucionar a la par con el paciente [73]. 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 [74] del usuario y a sus preferencias [75].

En el caso de la robótica educativa, Papadopoulos et.al [40] sugieren que la personalización según los estilos de aprendizaje o de acuerdo con el perfil psicológico del niño es importante para mantener su atención. Así mismo, los autores mencionan que la personalización a largo plazo puede ayudar a mitigar el desinterés en los niños causado por la disminución del efecto de novedad.

A partir del análisis de la literatura, se identificaron 4 grupos de requisitos relevantes para la adaptación, bajo el marco de manejo de la imprevisibilidad: la conciencia del contexto, la adaptación centrada en el usuario, el aprendizaje autónomo y la personalización.

En primer lugar, se tiene la conciencia del contexto, la cual hace referencia a la necesidad de identificar comportamientos extraños en el usuario y a evolucionar sus hábitos a medida que pasa el tiempo. En el trabajo realizado por Bedaf et.al [76], se reportó que los adultos mayores esperaban que el robot fuera capaz de reconocer sus hábitos diarios y realizar recordatorios pertinentes a estos. En cuanto a la detección de riesgos, Zuschnegg et.al [77] afirman que varios adultos mayores y enfermeras han expresado que el robot debe ser capaz de identificar el peligro y notificar a los responsables.

Como trabajo práctico, se encontró el trabajo de Rivoire et.al [78], quienes implementaron un arquitectura en torno a la detección de hábitos basada en los servicios que utilizaba el usuario. El sistema tenía como objetivo aprender los hábitos del usuario para interactuar de manera más efectiva y proactiva. Para esto se registró la duración de las actividades y la hora correspondiente. De igual manera, está el trabajo de Katsanis et.al [79] donde se implementa un protocolo de identificación de riesgos durante la deliberación del robot.

En segundo lugar, se tiene la adaptación centrada en el usuario, la cual resuelve las necesidades relacionadas con la adaptación de interfaces de interacción y servicios. Esto se debe que las características de las interfaces dependen de las características de cada individuo. En el caso de los adultos mayores, a medida que la edad y las enfermedades progresan, cambian los patrones de conversación, así como las capacidades visuales, auditivas y cognitivas [27], [80]–[82]. Estos cambios requieren que el SAR adapte sus interfaces de interacción para reducir la imprevisibilidad en la interacción. Es necesario adaptar las interfaces de entrada, como los modelos de reconocimiento de emociones y de voz. De igual manera, deben adaptarse las interfaces de salida, como: botones, tamaño de la letra y volumen de la voz [83]. Así mismo, dada la progresión aleatoria del deterioro cognitivo, es necesario que el sistema de control pueda proveer los servicios de manera adaptada a las características del usuario.

En trabajos como el de Úmbrico et.al [84], se modulan y se modifican las interfaces de acuerdo con el perfil médico del usuario, teniendo en cuenta la adaptación a largo plazo a partir de cambios en la información médica. Por otro lado, en varios trabajos se adapta el servicio provisto y su dificultad según el desempeño del usuario en la tarea [38], [85]. Además, en el trabajo de Tsiakas et.al [85], se adaptan los roles del agente para mejorar el desempeño en la interacción, según el estado de flujo del usuario.

En general, la perspectiva basada en roles parece cobrar importancia al tener en cuenta que la relación entre robot y humano puede evolucionar a través del tiempo. Algunas causas de esta evolución pueden ser: el progreso el deterioro cognitivo [86], el cambio en el estado de flujo del aprendizaje [38], o el cambio en las preferencias personales de cada usuario [87].

Personalización y Aprendizaje

Clabaugh [88] define la personalización como “el proceso en el que un agente inteligente se adapta a las necesidades y preferencias de un usuario a través de la captura directa de la información”. Este proceso de personalización permite reducir la imprevisibilidad que surge de las diferencias intrínsecas entre cada usuario durante la interacción. Para llevar a cabo este proceso, se requiere representar al usuario mediante perfiles o modelos de teoría de la mente. De acuerdo con Ramos et.al [89], un perfil del usuario puede contener los datos básicos, las preferencias, los gustos, los interés, los hábitos e incluso los pasatiempos de un usuario.

En cuanto a la representación del usuario durante la interacción, se evidencia una tendencia hacia el uso de modelos basados en la teoría la mente [9] o perfiles del usuario. El enfoque de teoría de la mente es utilizado en aplicaciones orientadas hacia la colaboración, como indican algunos trabajos [9], [31]. En estos artículos, se usa un modelo del usuario con el fin de predecir sus intenciones, metas y creencias a partir de inferencias. De esta manera, se reduce la imprevisibilidad en la interacción al mitigar los efectos de imprevisibilidad del ser humano. Un enfoque similar es el de Andriella et.al [29], el cual representa al usuario con un modelo bayesiano generativo para modelar sus capacidades cognitivas y sus posibles comportamientos.

Por otro lado, también se evidencia el uso de ontologías para representar al usuario. Este es el caso de cuatro trabajos donde se integran elementos sociales, psicológicos, físicos y ambientales en el perfil [84], [90], [91], [92]. Úmbrico et.al [43] afirman que el enfoque ontológico es más flexible que enfoques clásicos, al permitir que los robots interactúen naturalmente con los seres humanos al representar capacidades cognitivas fácilmente.

Ahora bien, para realizar la personalización, el robot requiere de mecanismos de aprendizaje. En el caso de la gestión de la imprevisibilidad, los procesos de aprendizaje por parte de los SARs pueden utilizarse para adaptarse a los comportamientos inesperados del usuario y evolucionar estrategias para proveer un mejor servicio. Cabe destacar la importancia de buscar adaptarse al usuario con la menor cantidad de información explícita. Esto se debe a que las poblaciones con las que se interactúa, como niños o adultos mayores, tienen bajo nivel de literacidad tecnológica [86].

En el contexto actual de SAR, el uso de perfil o modelos del usuario permite el desarrollo asertivo de las actividades a partir de las preferencias del usuario. En el caso del cuidado de adultos mayores, Kubota et.al [86] menciona que al personalizar las diferentes actividades según las capacidades y necesidades del usuario, se evita estrés innecesario y frustración por parte del adulto mayor.

El aprendizaje puede ser utilizado para generar oportunidades de adaptación de manera implícita, como es el caso de Ficocelli [93], quien lo utiliza para aprender políticas online para generar obediencia en el usuario bajo el marco de una actividad de asistencia. Este también es el caso Tsiakas et.al [85], donde se emplean cadenas de Márkov en un módulo de aprendizaje interactivo para modificar

los servicios proporcionados al usuario, según la dificultad y desempeño en la tarea. Algo similar ocurre en Moro et.al [94], donde robot usa Q-learning para aprender la mejor manera de realizar una actividad parametrizando expresiones como el habla y los gestos.

Por otro lado, se tiene el enfoque de aprendizaje para personalización cultural. En este Krishnamoorthy adapta las normas sociales y culturales en la interacción humano-robot [95]. Para esto, el autor hizo uso de cadenas de Markov modulares, que permitían una toma de decisiones optima al reducir las violaciones de las normas sociales durante la deliberación. Un trabajo similar fue llevado a cabo por Tuyen, quien utilizó técnicas de *clustering* para clasificar expresiones emocionales del usuario y facilitar su aprendizaje por parte del SAR [96]. Posteriormente, el SAR adopto las expresiones emocionales del usuario con el objetivo de tener habilidades sociales pertinentes al contexto cultural y social del usuario.

El aprendizaje también puede utilizado para adaptar servicios a partir de características implícitas de la tarea, como lo es el desempeño o la retroalimentación emocional. En este caso, Khosla et.al [97] utiliza respuestas emocionales para modificar el perfil del usuario y aprender mejor sus preferencias. De igual manera, dos investigaciones implementan mecanismos de retroalimentación para la adaptación de servicios a partir de su desempeño en la actividad [38], [90].

Otro enfoque encontrado en la literatura está relacionado con el aprendizaje por demostración. En Andriella et.al [29], los autores entrenan un modelo bayesiano utilizando ejemplos de la interacción entre terapeuta y adulto mayor, reforzado mediante la simulación episódica. Existen otros trabajos similares, donde el robot aprende políticas de personalización mediante la teleoperación por un experto. Posteriormente, el robot pone en práctica lo aprendido y lo mejora mediante la interacción online [94] [98]. Utilizar este tipo de enfoques podría mitigar la imprevisibilidad en la toma de decisiones, al facilitar la transferencia de conocimiento entre un experto y el robot.

Por último, el aprendizaje puede ser utilizado para predecir los gustos del usuario durante la interacción y de esta manera reducir la imprevisibilidad en cuanto al conocimiento del usuario. Por ejemplo, Maroto et.al [91] utilizan un algoritmo de comparación binaria para predecir las preferencias del usuario bajo un marco de interacción específico. Además, en León et.al [92] implementan retroalimentación explícita e implícita durante la realización de servicios para aprender sobre los gustos del usuario a partir de un sistema basado en reglas.

En conclusión, el uso de representaciones del usuario que permitan predecir sus intenciones y creencias, junto con algoritmos de aprendizaje que capturan información confiable sobre el comportamiento del usuario, facilita la mitigación de la imprevisibilidad durante la interacción. Así mismo, la adaptabilidad basada en roles parece cobrar importancia en los casos de aplicación propuestos. De igual manera, el considerar mecanismos de aprendizaje para mejorar la comprensión del estado cognitivo del usuario y sus preferencias, resulta ser útil para mejorar la toma de decisiones del robot.

2.2.2. Autonomía

La autonomía es una característica esencial de los robots de asistencia social. En la interacción humano-robot, la adecuada gestión de la autonomía permite reducir la imprevisibilidad derivada de la toma de decisiones. Esto se logra al integrar nuevas fuentes de información o delegar la toma de decisiones a un agente más capaz.

Para este trabajo de grado, la autonomía se define como: “El grado en el que un robot puede percibir su entorno, planificar en función de ese entorno, y actuar en ese entorno con la intención de alcanzar un objetivo específico de la tarea (ya sea proporcionado o creado por el robot) sin control externo.” [42]. Cabe aclarar que para Beer et.al [42] la autonomía se da en un espectro entre lo manual/teleoperado y lo completamente autónomo. A partir de la definición, el autor considera esencial tener en

cuenta las capacidades de percepción, planificación y actuación del robot para definir su nivel de autonomía. Para Beer et.al [42] estos criterios se denotan en la criticidad de la tarea, la responsabilidad de la tarea y la complejidad del ambiente respectivamente.

Durante la revisión, se encontraron 3 enfoques principales en cuanto al nivel de autonomía en SARs. En primer lugar, se tiene el enfoque de la autonomía total. La mayoría de trabajos revisados ([84], [85], [92], [93]), se basaban en este enfoque, lo que es acorde con lo mencionado por Elbeleidy et.al [99]. El enfoque de autonomía total es relevante en cuanto a la reducción de cargas para usuarios como el cuidador o el educador. Mataric et.al [8] mencionan que idealmente, un SAR debería poder ser utilizado y configurado por usuarios no expertos sin generar una carga adicional. Así mismo, los cuidadores han expresado que los SARs deberían reducir sus cargas y estrés en vez de aumentarlos [100]. De hecho, Bedaf et al. [87] encontraron que la falta de experiencia en tecnología era una barrera amplia en la adopción de los SARs, por lo tanto un robot autónomo podría reducir la carga de los cuidadores.

En segundo lugar, está la perspectiva de teleoperación donde el robot es utilizado únicamente como extensión de un usuario interesado para generar bienestar al usuario primario. Según el trabajo de Bedaf et al. [87], los cuidadores también han expresado que ellos esperarían que los SAR actuaran como sus asistentes y no por su cuenta, dadas sus limitaciones técnicas. De hecho, considerando el framework propuesto por Beer et.al [87], Elbeleidy [99] concluye que el nivel de autonomía sugerido en el cuidado de adultos mayores debería ser bajo. Esto se debe a que la criticidad de la tarea aumenta con la vulnerabilidad de la población y la rendición de cuentas en la tarea es más crítica. Bajo este enfoque están los trabajos de Bocanfuso et.al [101] y Maheux et.al [102].

En tercer lugar, se encuentran los sistemas de control con autonomía adaptable. Este enfoque resulta ser mucho más flexible según las situaciones presentadas durante la interacción. En este enfoque están trabajos como el de Rodríguez et.al [103], donde se utilizan roles para variar la autonomía entre la teleoperación, la semi autonomía y la autonomía completa según las necesidades del contexto. Similarmente, en otros dos trabajos, el robot decide su nivel de autonomía a partir del contexto de la actividad o de características del usuario, tales como la proactividad [31], [91]. Bajo este enfoque, está la posibilidad de limitar la toma de decisiones del sistema, como se presenta en Kaptein et.al [90], donde los médicos pueden modificar algunos parámetros de configuración del robot para restringir su autonomía.

Teniendo lo anterior en cuenta, este trabajo de grado optará por implementar mecanismos de autonomía adaptable. Dado que el cuidador ha sido entrenado para manejar situaciones de alto riesgo, se le debe incluir en la toma de decisiones del robot. Esto contribuiría a reducir la imprevisibilidad en situaciones en las cuales el robot carezca de las capacidades necesarias para responder ante un imprevisto.

2.2.3. Ética

El razonamiento ético es un aspecto vital en el proceso de toma de decisiones del SAR. Como proponen Nestorov et.al [104], la integración de principios éticos en el diseño de SARs podría ser una ventaja considerable para lograr un diseño exitoso en robots aplicados al cuidado de adultos mayores con demencia. Esto podría deberse a que los contextos de aplicación de los SARs involucran una gran cantidad de problemáticas éticas que generan imprevisibilidad, tanto en el diseño como en la ejecución de mecanismos de toma de decisiones del robot.

En este caso específico, los adultos mayores han expresado que la introducción de SARs a su cuidado podría deshumanizar a la sociedad [105]. Así mismo, conceptos como la libertad negativa, donde el SAR restringe de cierta manera la libertad del individuo con el fin de generarle bienestar, deben ser

abordados con cuidado durante la toma de decisiones [106]. Cabe resaltar que el no tener en cuenta estos aspectos éticos podría generar resentimiento en el usuario [76] al vulnerar la confianza.

Como mencionan Boada et.al [106], los SAR presentan una gran cantidad de desafíos éticos, dado su potencial de ser una tecnología disruptiva para la concepción de la vida en sociedad. Estos autores, consideran que los aspectos éticos relacionados a los SARs pueden ser divididos en tres categorías, Bienestar, cuidado y Justicia[106]. Los problemas éticos de bienestar se relacionan con la interacción humano robot subjetiva e involucran conceptos como privacidad, engaño, autonomía, apego emocional, cosificación, dignidad seguridad y pérdida del contacto físico. Por otro lado, los problemas éticos relacionados al cuidado hacen referencia la práctica de cuidado en un contexto de aplicación específico. A esta área se relacionan problemas como: legitimidad, calidad de la práctica y cambio en el concepto de cuidado. Por último, el área de justicia involucra la existencia de un trasfondo sociopolítico de la interacción humano robot. De esta manera, el campo considera problemas como la justicia distributiva, la equidad y la toma de decisiones del robot.

Si bien algunos de los aspectos éticos mencionados deben ser cubiertos metodológicamente, implementando *frameworks* como el propuesto por Huber et.al [107], la capacidad de razonar éticamente e incluir aspectos de esta índole en la toma de decisiones puede ser abordado desde la disciplina técnica. En la revisión de la literatura se encontraron dos enfoques. Por un lado, está el enfoque verificativo, que busca que el robot pueda tener cognición de sí mismo. Esto implica agregar una capa adicional a la toma de decisiones para seleccionar acciones éticas. Por otro lado, está el enfoque explicativo, que parte de la premisa de que no siempre es posible tomar una decisión éticamente correcta, pero si es posible explicar por qué se tomó la decisión.

En lo que concierne al enfoque verificativo, se tiene el trabajo de Shengkang et.al [108]. En este se agrega una capa ética a la arquitectura, la cual evalúa una situación a partir de múltiples estrategias éticas para determinar si una acción debe ser realizada o no. En el caso de Bremne et.al [109], se propone una capa ética que verifica que las tareas a realizar sean éticas. Si las tareas no lo son, se propone una versión de la tarea que si lo sea. Por otro lado, el trabajo de Lewis et.al [110], propone una arquitectura para agentes críticos donde se incluyen elementos de aprendizaje, experimentación y auto representación para aprender mediante la reflexión. Ahora bien, dado que este trabajo fue realizado para arquitectura de agentes en general, sería necesario evaluar si este tipo de aprendizaje es pertinente para el manejo de la imprevisibilidad con poblaciones vulnerables.

Respecto al enfoque explicativo, se menciona que la transparencia es un requerimiento importante para la responsabilidad en el sistema. El sistema debe estar en la capacidad de dar explicaciones sobre las decisiones que toma a partir de sus recursos y habilidades. El trabajo de Harbers et.al [111] propone un módulo de explicabilidad para agentes BDI en conjunto con 4 algoritmos de explicabilidad. En este trabajo, se encontró que para tareas puntuales, se prefiere el algoritmo de explicabilidad que relacione las acciones que realiza el agente con sus creencias. En contraste, para tareas bajo el contexto de una meta, se prefiere explicar la tarea a partir de la explicación de la meta misma o su meta padre.

Por otro lado, Luckcuck et.al [112] proponen un módulo de explicabilidad que recibe toda la información resultante de sensores, actuadores y planes utilizando un agente BDI. Este módulo tiene la función de recopilar toda la información y explicarla según demanden los usuarios. En Kaptein et.al [90], se utiliza un modelo similar basado en agentes BDI para generar explicabilidad al relacionar la deliberación detrás de la intención con la meta.

Así mismo, Morveli et.al [113] utilizan un enfoque argumentativo para explicar las decisiones del agente. Si bien no es evidente la arquitectura que utilizan, los autores emplean una máquina de estados para representar la toma de decisiones del agente. Así mismo, los autores aportan una serie de

esquemas para la explicación. Algunos de estos esquemas son: la detección de conflictos entre metas por recursos y la justificación de persecución de metas por utilidad bajo la jerarquía de metas.

Por último, sobre la interacción con robots de asistencia social, Robinnete et.al [114] mencionan que la ocurrencia de errores durante la interacción con robots genera grandes pérdidas de confianza en el usuario. Para manejar la imprevisibilidad generada en la interacción cuando se producen errores en el robot, Robinnete et.al [114] y Yuan et.al [72] mencionan que elegir el momento adecuado para reconocer un error es clave para restaurar la confianza del usuario. Estos autores proponen que el robot debe ofrecer explicaciones al reconocer el error. Asimismo, los autores sugieren que, para recuperar la confianza a niveles anteriores, el robot no debería reconocer su error inmediatamente después del evento. En cambio, se propone que el reconocimiento del error se realice la próxima vez que el robot deba tomar una decisión crítica.

En general, los enfoques encontrados en la literatura permiten mitigar aspectos éticos como la toma de decisiones del robot y la transparencia en el cuidado. Ahora bien, agregar un módulo ético a la arquitectura representa un avance considerable en la reducción de la imprevisibilidad ética en la interacción humano robot. De igual manera, el considerar requisitos no funcionales como la interoperabilidad y la extensibilidad podrían ser maneras de mitigar riesgos éticos como la equidad y la accesibilidad a la tecnología desde una perspectiva técnica. Respecto a riesgos como la privacidad, sería pertinente considerar requerimientos no funcionales como la autenticación y la autorización a recursos sensibles, que además deben estar cifrados. Por último, Papadopoulos et.al [40] mencionan que modular la emocionalidad del robot podría mitigar el apego en el escenario educativo.

2.2.4. Cooperación

Dado el crecimiento de sistemas Smart Home y la ubicuidad del uso de sensores en wearables y celulares, se hace pertinente fácil integración de nuevas fuentes de información a la arquitectura de control. Por ejemplo, en Lee et.al [73] varios adultos mayores mencionaron que querían que el robot se conectara a otro tipo de sensores. Los cuidadores mencionaron en Zuschnegg et.al [77] que sería útil que el SAR pudiera saber la temperatura de los electrodomésticos para apagarlos en caso de que el adulto mayor lo olvide. Así mismo, en algunos trabajos la inclusión de wearables para determinar el estado emocional del usuario parece prometedora [2], [38]. En otros trabajos, los robots de asistencia social se apoyan en otro tipo de tecnologías para enriquecer la interacción con el usuario o para facilitar procesos de configuración [91], [90].

Por otro lado, la literatura sugiere una tendencia hacia la conciliación de los intereses de múltiples usuarios involucrados en el diseño de los SARs. Por ejemplo, Elbeleidy et.al [99] señalan que, dependiendo del nivel de autonomía del SAR, es fundamental incorporar a partes interesadas en el proceso de diseño. Del mismo modo, Boada et.al [106] indican que para abordar cuestiones éticas, como la calidad del servicio, es esencial considerar las necesidades de otras partes involucradas. Por otro lado, Úmbrico et.al [43] comparten una perspectiva similar, al destacar la necesidad de que el SAR armonice las necesidades de diversas partes interesadas.

Teniendo esto en cuenta, es necesario incluir las necesidades de los usuarios primarios, secundarios y terciarios que van a utilizar el SAR durante el diseño. Siguiendo la necesidad expuesta, Iglesias et.al [52] caracterizan la aplicación de SARs en el cuidado del adulto mayor en geriátricos a partir de los usuarios relacionados y sus intereses. La tipificación del cuidado de adultos mayores, presentada por Iglesias et.al [52] y la tipificación sugerida para el caso de educación se muestran en Tabla 1. Tipificación de Usuarios por Escenario.

Usuario/ Escenario	Cuidado de Adultos Mayores	Educación en niños
--------------------	----------------------------	--------------------

Primario	Adulto mayor, cuidadores y profesionales que trabajan o viven en el geriátrico.	Estudiante, profesores y padres que conviven con el niño a diario.
Secundario	Familiares, Visitantes. Cuidadores y profesionales que no trabajan en el geriátrico.	Compañeros, profesores esporádicos o temporales.
Terciario	Otros trabajadores no relacionados directamente con el cuidado del adulto mayor	Otros trabajadores no relacionados directamente con la educación del estudiante.

Tabla 1. Tipificación de Usuarios por Escenario. Adaptado de [52]

Como se mencionó en la sección de Autonomía, se sugiere una autonomía adaptable que permita aprovechar el conocimiento de los cuidadores/profesores para reducir la imprevisibilidad en la toma de decisiones. De acuerdo con esto, Yuan et.al [72] plantean que se requiere más investigación en cuanto al problema de control compartido entre múltiples usuarios. En relación con trabajos que demuestran la necesidad de cooperación humano robot, se tiene la investigación de SARs como moderadores de Short et.al [115], donde se implementa un algoritmo de moderación en el contexto de educación. Según los autores, este algoritmo es generalizable para fomentar interacciones entre humanos, como se requiere en el escenario de adultos mayores.

Referente a trabajos que presenten elementos de colaboración humano robot, se tiene lo presentado en Kaptein et.al [90]. En este artículo se involucran a padres y expertos de la salud para facilitar procesos educativos sobre la diabetes en niños. El sistema fomenta que el niño recurra a sus padres cuando el robot detecta riesgos durante la interacción. Además, el sistema les da la oportunidad a los médicos de modificar parámetros para restringir su autonomía. Así mismo, en Cantucci et.al [31], un proyecto enmarcado bajo el contexto de autonomía colaborativa, el sistema de control selecciona al mejor usuario para una tarea específica, dado su modelo mental sobre los usuarios. Los mismos autores mencionan como trabajo futuro la importancia de la explicabilidad para el manejo de la imprevisibilidad que se da durante la colaboración. Esta imprevisibilidad se expresa a través de conflictos entre partes colaboradoras.

Cabe resaltar que durante la búsqueda, la mayor cantidad de trabajos de investigación relacionados al área de cooperación humano-robot hacían referencia al contexto industrial [7], [116], [117]. Teniendo esto en cuenta, se requiere más investigación en la cooperación humano robot para la disciplina de los robots de asistencia social.

En conclusión, colaborar con otros agentes digitales o humanos parece prometedor para manejar la imprevisibilidad. En el caso de la cooperación con agentes digitales, las nuevas entradas de información podrían robustecer el proceso de toma de decisiones al tener información fiable. Respecto a la cooperación con agentes humanos, la inclusión de actores relacionados al cuidado del usuario podría facilitar procesos de autonomía adaptable e incluso se podría transferir la experiencia de los expertos al robot mediante el aprendizaje por demostración.

2.2.5. Empatía e Interactividad

En materia de la empatía, se ha comprobado que la empatía en los SARs es importante para fomentar el comportamiento social en los usuarios durante la interacción [48]. De hecho, Tapus [11] propone que cuando el robot reacciona emocionalmente a diferentes situaciones sociales puede mejorar el rendimiento de las tareas interactivas entre SARs y humanos. Así mismo, la autora menciona que la comprensión y el intercambio de expresiones emocionales refuerza la formación de vínculos de asistencia deseados en la interacción entre SARs y humanos. Cabe resaltar que los SARs deben estar en

la capacidad de interpretar las emociones del usuario; y en la mayoría de los casos, es deseable que el robot pueda expresar un estado emocional interno.

En cuanto a la interpretación de emociones del usuario, se presentan múltiples trabajos donde se utiliza la fusión de sensores desde la perspectiva multimodal para reducir la imprevisibilidad en la lectura del estado emocional del usuario. Este es el caso de varios trabajos [2], [84], [90], [91], [97]. Es importante denotar que poder interpretar correctamente las emociones del usuario puede reducir la imprevisibilidad. Esto se debe a que las emociones pueden ser utilizadas para determinar el estado mental del usuario, así como determinar si el flujo de la interacción es el adecuado [28].

Respecto a las emociones del usuario como mecanismo de toma de decisiones, en Ficocelli et.al [93] se adapta la expresión emocional del robot mediante políticas aprendidas con cadenas de Márkov para lograr obediencia del usuario dado su estado emocional. Así mismo, en otro trabajo [90] se adapta el estilo emocional de la interacción según el modelo de personalización del usuario y la tarea a realizar. Adicionalmente, dos trabajos utilizan el estado emocional del usuario para modificar su perfil y aprender mejor sus preferencias [92], [97].

Por otro lado, se evidencia un enfoque donde la personalidad del robot, mediado con la expresión emocional, resulta ser un factor importante para reducir la imprevisibilidad. En primer lugar, Tapus [118] menciona que las personas prefieren interactuar con robots cuya personalidad sea similar en niveles de extroversión. Así mismo, algunos trabajos sugieren que la personalidad adoptada por el robot en una actividad influye en la conformidad de los usuarios [119] y [120]. Adicionalmente, Tapus [48] utiliza un modelo emocional basado en la personalidad que parametriza la distancia, el contenido verbal y el tono verbal del robot. Durante su análisis, la autora concluye que cuando los SARs expresan una personalidad similar a la del usuario, las intervenciones son más efectivas y tienden a durar más tiempo. De igual manera Rossi et.al [28] y la Dra. Claudia Giraldo mencionan que factores como el género del robot pueden influir en la aceptabilidad del robot.

Acerca de la expresión de emociones, Travers et.al [121] mencionan que “las interacciones fluidas son tan importantes que removerlas reduce dramáticamente la calidad de vida de una persona”. En primer lugar, se evidencia un enfoque multimodal donde se busca utilizar la mayor cantidad de recursos del robot para demostrar emociones. En el caso de León et.al [92], el SAR implementa un modelo basado en OCC para representar el estado emocional del robot y expresa emociones teniendo en cuenta los actuadores del agente y su estado emocional. Por otro lado, en Kaptein et.al [90] se propone un módulo multimodal para enriquecer los movimientos del robot, generándolos dinámicamente a partir sus emociones uso de piernas y brazos. Esta perspectiva de módulos multimodales de expresión también se evidencia en otros dos trabajos [91], [97].

Otro requerimiento importante en la interacción humano robot es la capacidad de soportar conversaciones creíbles. En este caso, se observa una clara tendencia hacia la implementación de módulos que manejen la interacción verbal en una capa reactiva. Esto con el objetivo de reducir la imprevisibilidad bajo factores como “las imperfecciones en las tecnologías de procesamiento de voz y la imprevisibilidad en el comportamiento del usuario” [84]. En Kaptein et.al [90] se utiliza una capa para la interacción enriquecida llamada manager de diálogo. Este componente busca generar conversaciones creíbles con niños. Así mismo, en Maroto et.al [91] se tiene un módulo de interacción humano-robot que funciona como capa interactiva y reactiva ante los actos comunicativos. Este módulo genera diálogos basados en reglas para escenarios comunes de la interacción y también gestiona peticiones en la conversación. Por último, en Úmbrico et.al [84] se utiliza una capa interactiva para generar conversaciones naturales con el usuario. Esta capa intermedia puede generar políticas para responder a eventos interactivos imprevistos.

A manera de conclusión, es pertinente integrar capacidades multimodales a la detección de emociones del usuario. La entrada de datos desde diferentes fuentes permite generar información confiable sobre el estado cognitivo del usuario, con el fin de reducir la imprevisibilidad en la interacción. Asimismo, la incorporación de un módulo reactivo para gestionar la interacción verbal parece ser prometedora. Este módulo permitiría conseguir una interacción más fluida y robusta que maneje la imprevisibilidad inherente a la comunicación [26]. Por último, es necesario considerar la adaptabilidad en la expresión emocional del robot, teniendo en cuenta que la personalidad del robot puede ser dinámica según la tarea y la personalidad del usuario.

2.2.6. Arquitecturas de Control para SARs

En el presente trabajo de grado, se quiere implementar una arquitectura de control para un agente que toma decisiones en tiempo real, con el fin de manejar la imprevisibilidad del ambiente y de la interacción con el usuario. Como menciona Kortenkamp [122], una arquitectura de control para robots se distingue de una arquitectura de software tradicional. La arquitectura de control requiere capacidades como la reacción en tiempo real, el control de actuadores y sensores, el manejo efectivo de la imprevisibilidad y la habilidad de reaccionar apropiadamente ante situaciones excepcionales.

De acuerdo con Hopgood [123], existen dos enfoques principales de las arquitecturas de agentes: las arquitecturas deliberativas y las arquitecturas reactivas. Por un lado, las arquitecturas deliberativas toman decisiones mediante el uso de razonamiento lógico a partir del modelo que el agente tiene sobre el mundo y sobre sí mismo. Ahora bien, según Ferrein et.al [124], este enfoque sacrifica la capacidad de respuesta en tiempo real al requerir alta capacidad de procesamiento. Por otro lado, las arquitecturas reactivas responden a cambios en el ambiente sin ningún tipo de razonamiento lógico. Si bien esto facilita la interacción en tiempo real, este enfoque le resta al agente la capacidad de generalizar sus capacidades. Para mitigar las debilidades de ambas arquitecturas, se presenta un enfoque híbrido.

En términos generales, la mayoría de los trabajos identificados emplean arquitecturas de control híbridas que integran componentes deliberativos y reactivos para gestionar la imprevisibilidad. Este es el caso de varios trabajos [31], [84], [90], [93], [103], [109]. Entre las arquitecturas híbridas se puede evidenciar a su vez la prevalencia de la arquitectura de control BDI, lo que es atribuible a sus características de explicabilidad [111] [112], su capacidad de representar explícitamente el estado mental del robot [31] y su flexibilidad al momento de balancear el aspecto deliberativo con el reactivo [123].

Por otro lado, frente a arquitecturas reactivas, se presenta el trabajo de Maheux et.al [102], el cual utiliza una arquitectura reactiva con múltiples módulos de aprendizaje profundo, para lograr capacidades de teleoperación en tiempo real.

En conclusión, la utilización de una arquitectura híbrida parece suplir las necesidades de la gestión de la imprevisibilidad en la interacción humano robot. Este tipo de arquitecturas provee mecanismos para respuestas a imprevistos en tiempo real y a su vez facilitan la representación lógica del mundo para dar lugar a procesos como la personalización y la adaptación. Además, parece ser pertinente que el sistema de control utilice agentes basados en el paradigma BDI para facilitar características de explicabilidad, representación del estado mental y balance reactivo-deliberativo.

Arquitectura BDI

En el modelo BDI, propuesto por Bratman [125], el agente está compuesto por tres componentes lógicos:

- Creencias: elementos del estado mental del agente que pueden ser modificados mediante la comunicación o percepción.

- Deseos: alternativas de acción que representan objetivos a cumplir.
- Intenciones: la proyección de los deseos a futuro de un agente, instanciada en un plan de acción.

De acuerdo con autores como Wooldrige [126], Cao [127] y Bratman [125] el proceso de la arquitectura se da en dos etapas. Por un lado, está la etapa deliberativa, donde el agente decide que deseos se volverán intención. Por otro lado, está la etapa de razonamiento de medios y fines, donde el agente delimita el plan relacionado a la intención que desea llevar a cabo.

En implementaciones tradicionales de esta arquitectura y de acuerdo con Bravo [1], el proceso de razonamiento práctico maneja las creencias, deseos e intenciones del agente de manera aislada y secuencial. Esto representa un problema para la interacción en tiempo real, ya que limita a la arquitectura a la evaluación secuencial de las creencias, seguida de los deseos y finalmente, las intenciones.

Para solucionar esta limitación, los grupos de investigación SIRP y SIDRe de la Pontificia Universidad Javeriana diseñaron la arquitectura BDI-CHA (Concurrent-Hybrid-Adaptive). En BDI-CHA [128], el modelo del agente racional consiste en 3 procesos concurrentes: el gestor de creencias, encargado de actualizar las creencias; el gestor de metas, responsable de realizar el proceso de deliberación a partir de los cambios en las creencias; y el gestor de medios y fines, cuyo objetivo es el de seleccionar y ejecutar el plan para llevar a cabo una intención.

Teniendo en cuenta que bajo la arquitectura BDI-CHA es posible que el agente posea varios deseos activos al mismo tiempo, González [128] diseñó un mecanismo de dos partes para la resolución de conflictos por recursos o prioridad. En primer lugar, creó un mecanismo de categorización entre metas utilizando una pirámide que expresa la prioridad. Esta pirámide consta de 5 niveles. El nivel de mayor prioridad es el de supervivencia, el cual se refiere a las metas que son importantes para la protección y cuidado del agente. Luego vienen las metas de obligación, que representan normas y valores que el agente debe seguir de acuerdo con el contexto o los cambios en su entorno. Posteriormente, se priorizan las metas de oportunidad, correspondientes a las metas que contribuyen a cumplir el objetivo principal del agente. En el nivel inferior se encuentran las metas facilitadoras, cuyo propósito es alcanzar las precondiciones que deben cumplirse para lograr las metas de oportunidad. Por último, están las metas de comportamientos realistas, que son ejecutadas cuando el agente no tiene otras metas activas con el fin de mostrar un comportamiento dinámico.

En caso de que dos metas tengan el mismo nivel de prioridad y presenten un conflicto, González [128] propone el mecanismo de evaluación. Este mecanismo compara las funciones de contribución de cada meta y selecciona la meta que tenga el mayor potencial de contribución respecto al objetivo general del sistema.

Teniendo lo anterior en cuenta y considerando que el sistema de control debe manejar la imprevisibilidad en la toma de decisiones y en la interacción con el usuario, se selecciona la arquitectura BDI-CHA para el desarrollo del sistema de control. Esto se debe a que la arquitectura facilita procesos en tiempo real, al implementar la evaluación concurrente de múltiples metas y creencias del agente. Así mismo, se propone la utilización del paradigma de sistemas multiagentes dados sus beneficios de diseño como la velocidad, la eficiencia, la extensibilidad [123] y su habilidad para adaptarse y aprender del contexto [1]. Además, la arquitectura de control va a requerir la integración de un conjunto de componentes especializados concurrentes y cooperativos, para la gestión de la imprevisibilidad.

2.2.7. Comparación de Trabajos

Una vez analizado el estado del arte, se presenta una comparación de trabajos encontrados. Se seleccionaron 11 investigaciones teniendo en cuenta a los trabajos más significativos en uno o múltiples criterios de comparación. En la Tabla 2. Trabajos Relacionados, se detalla la comparación entre los

trabajos seleccionados. Se puede evidenciar que la mayoría de los trabajos implementa una arquitectura híbrida con enriquecimiento emocional, interactividad por voz avanzada y demostración de emociones avanzada. En contraste, funcionalidades como la explicabilidad y la inclusión de razonamiento ético parecen ser escasas. De igual manera, se evidencia que todos los trabajos tienen capacidades de respuesta en tiempo real. Además, dos trabajos ya cubren una gran cantidad de aspectos relacionados con generar bienestar al usuario en ambientes de imprevisibilidad [90], [91]. Respecto al manejo adaptable de la cantidad de usuarios durante la interacción, solo Khosla et.al [97] ha conseguido implementarlo. Esto podría ser una oportunidad para trabajo futuro.

	[84]	[93]	[102]	[85]	[103]	[90]	[91]	[31]	[109]	[97]	[92]	SRB
Ética Embebida									++			+
Explicabilidad						+		+	+			+
Autonomía	+	+		+	++	++	++		+	+	+	++
Expresión de Emociones		++	+	++		++	+			++	+	++
Detección de Emociones	++	++		+		++	++			++	+	++
Interactividad	++	++	+			++	++				+	+
Adaptabilidad	++			+		+	++	++		+	+	+
Aprendizaje	++	+		+	+		++	++		+	+	+
Cooperación con agentes						+	+	+				+
Cooperación con humanos						+		++				+
Tiempo Real	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++

Tabla 2. Trabajos Relacionados

En la última columna de la tabla, se muestra este trabajo de grado, el cual pretende manejar la imprevisibilidad en la interacción integrando características específicas. Estas incluyen la adaptabilidad, la autonomía adaptable, la expresión de emociones enriquecida, la entrada de datos multimodal y la interacción creíble con el humano. Todo esto se enmarca en el razonamiento ético y la inclusión de otras tecnologías y usuarios involucrados en el cuidado del usuario principal.

Bajo el alcance de este trabajo de grado, se diseñaron y se implementaron las funciones de explicabilidad, expresión de emociones, detección de emociones y adaptabilidad. Por otro lado, se diseñaron y se implementaron parcialmente funcionalidades relacionadas a la autonomía y a la cooperación con humanos. Por último, como se evidencia en la última columna de la

	[84]	[93]	[102]	[85]	[103]	[90]	[91]	[31]	[109]	[97]	[92]	SRB
Ética Embebida									++			+
Explicabilidad						+		+	+			+
Autonomía	+	+		+	++	++	++		+	+	+	++
Expresión de Emociones		++	+	++		++	+			++	+	++
Detección de Emociones	++	++		+		++	++			++	+	++

Interactividad	++	++	+			++	++				+	+
Adaptabilidad	++			+		+	++	++		+	+	+
Aprendizaje	++	+		+	+		++	++		+	+	+
Cooperación con agentes						+	+	+				+
Cooperación con humanos						+		++				+
Tiempo Real	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++

, se diseñaron de manera general las funcionalidades relacionadas a: Ética Embebida, Aprendizaje, Colaboración con Agentes, Interactividad y manejo de múltiples usuarios.

3. ARQUITECTURA SOCIALROBOTBESA

Este capítulo contiene los resultados de la segunda fase de desarrollo enunciada en Diseño de la Arquitectura. A continuación, se detalla el diseño de la arquitectura siguiendo la metodología AOPOA. Esta metodología permitirá la creación de un sistema multiagentes que cumpla con los requerimientos abstraídos de los capítulos anteriores y formalizados a continuación.

Se seleccionó el paradigma basado en agentes porque, como señala González [128], 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 de SocialRobotBesa, se optó por paradigma de sistemas MultiAgentes (SMA) debido a su capacidad para promover la eficiencia del sistema [129]. Esto se logra al dividir una tarea compleja, como generar bienestar al usuario en ambientes de imprevisibilidad, en tareas más simples asignadas a agentes diferentes.

La metodología AOPOA, de acuerdo con Bravo [1], es una metodología sistemática y procedimental basada en tres conceptos : descomposición jerárquica de roles, identificación de roles orientada a metas y la evolución de vínculos cooperativos entre roles. Para esta metodología, como sugieren Torres et.al [130], cada sistema multiagentes es visto como una organización jerárquica, donde cada agente tiene un conjunto de habilidades, recursos y tareas para cumplir unos objetivos específicos sometidos al objetivo general del sistema. Para lograr el objetivo general del sistema, cada agente debe cooperar con los demás, sincronizar actividades y compartir recursos.

AOPOA se compone de dos fases iterativas: análisis y diseño. Durante el análisis, se detectan los roles y tareas del sistema a partir de los requerimientos funcionales y no funcionales. Posteriormente, se definen los objetivos del sistema, teniendo en mente los requerimientos. Habiendo definido los objetivos del sistema, se detectan las habilidades y recursos necesarios para conseguirlos mediante la implementación de tareas.

De igual manera, se abstraen roles a partir de las tareas identificadas y se itera progresivamente hasta llegar a roles con una granularidad media. Referente a la interacción entre roles, se toman los roles encontrados y se definen relaciones de cooperación, en conjunto con la información necesaria para cada vínculo. Una vez esto ha sido definido, se crean los flujos de la información de la cooperación entre roles y se agrupan los roles en agentes según múltiples criterios.

De acuerdo con Bravo [1], los criterios de agrupación pueden involucrar la similitud de los objetivos, la distribución de habilidades o el acceso a recursos. Por último, una vez se han agrupado los roles en agentes, Ángel et.al [128] mencionan que los agentes deben ser formalizados según una arquitectura formal interna. En el caso de este trabajo de grado, se tiene como objetivo general del sistema “Generar bienestar para el usuario en ambientes de imprevisibilidad”.

3.1. Requerimientos

Para definir los requerimientos funcionales y no funcionales utilizados para la arquitectura SocialRobotBesa, se tuvo en cuenta la revisión bibliográfica realizada. De igual manera, se consideran pertinentes dos visitas realizadas a lo largo del proceso del trabajo de grado. Se realizó una entrevista a Juan Rojas, Gerente de Calucé Senior Living y otra a Eyder Rojas y sus empleados en Cedros y Sauces. A nivel metodológico, se hizo la revisión bibliográfica a la par que se evaluaban componentes reutilizables en otras arquitecturas. De esta manera, fue posible enlazar los requerimientos funcionales y no funcionales con la arquitectura desde su concepción.

3.1.1. Requerimientos No Funcionales

En primer lugar, se presentan los drivers arquitectónicos, o requerimientos no funcionales. Estos son requerimientos orientados hacia las características del sistema que guían la manera en la que se diseña la arquitectura transversalmente. En la Tabla 3. Requerimientos No Funcionales, se presentan los drivers arquitectónicos abstraídos del estado del arte y tenidos en cuenta para SocialRobotBesa.

ID	Nombre	Explicación
RNF-01	Tiempo Real	El sistema debe responder en tiempo real a las necesidades del usuario y a los imprevistos presentados en el ambiente para manejar la imprevisibilidad de manera efectiva.
RNF-02	Extensibilidad	Dada la ubicuidad de la tecnología en la mayoría de los ambientes de interacción, el sistema debe poder incluir nuevos sensores o actuadores en cualquier momento.
RNF-03	Interoperabilidad	Teniendo en cuenta que un SAR no debe ser una tecnología excluyente, el sistema debe poder utilizar cualquier robot para llevar a cabo su función.
RNF-04	Explicabilidad [131]	El sistema debe generar confianza a partir de la transparencia, para esto debe poder facilitar a los usuarios no técnicos, entender la toma de decisiones del robot.
RNF-05	Seguridad	El sistema debe mantener la información personal del usuario cifrada.
RNF-06	Autenticación	El sistema debe autenticar a todos los usuarios para acceder a las funcionalidades del sistema.

Tabla 3. Requerimientos No Funcionales

3.1.2. Requerimientos Funcionales

Respecto a los requerimientos funcionales, estos fueron agrupados y abstraídos a partir de la literatura y las visitas realizadas. En primera instancia, se tienen los requerimientos relacionados con la adaptabilidad. Estos requerimientos son de vital importancia ya que facilitan la efectividad de las intervenciones a largo plazo y permiten manejar la imprevisibilidad en cuanto a la evolución del usuario a lo largo del tiempo y durante la interacción. Los requerimientos se presentan en la Tabla 4. Requerimientos de Adaptabilidad.

ID	Nombre	Explicación
ADP-1	Conciencia del contexto	El sistema debe poder reconocer riesgos relacionados al cambio de hábitos del usuario y notificar a los responsables.
ADP-2	Adaptación centrada en el humano	El sistema debe estar en la capacidad de mantener un modelo representativo del usuario y evolucionar sus características con el paso del tiempo
ADP-3	Aprendizaje Autónomo	El sistema debe poder aprender de la interacción con el usuario o con el ambiente. Esto, para modificar su manera de deliberar y actuar, a partir de la información capturada a lo largo del tiempo. La captura de la información puede ser explícita (retroalimentación directa) o implícita (señales no verbales, estado emocional).
ADP-4	Personalización	El sistema debe modificar las actividades y la deliberación a partir de las características del perfil del usuario.

Tabla 4. Requerimientos de Adaptabilidad

En lo que refiere a los requerimientos de empatía, se presenta la Tabla 5. Requerimientos de Empatía. Con este grupo de requisitos, se espera mantener al usuario comprometido con la interacción. Para esto el robot debe mostrar señales de vida propias de una interacción real, ser consciente del estado emocional del usuario y además poder expresar su propio estado emocional. Cabe resaltar que tanto interpretar las emociones del usuario, como adaptar la personalidad del robot acorde a la situación, permite mitigar la imprevisibilidad relacionada al estado cognitivo del usuario y a la toma de decisiones.

ID	Nombre	Explicación
EMP-1	Interacción Basada en la Personalidad	El sistema debe adaptar su personalidad a la personalidad del usuario. En específico, se hace relevante el nivel de extroversión.
EMP-2	Conciencia Emocional	El sistema debe poder interpretar las emociones del usuario desde una perspectiva multimodal.
EMP-3	Expresión Emocional	El sistema debe poder modificar su estado emocional a partir de eventos que ocurren en el ambiente y durante la interacción.
EMP-4	Demostrar Vida	El sistema debe demostrar su estado emocional mediante la utilización de sus recursos durante la interacción.

Tabla 5. Requerimientos de Empatía

La literatura sugiere que los adultos mayores prefieren que el robot haga parte del ecosistema tecnológico de su hogar. Teniendo esto en cuenta, el robot debe poder utilizar, colaborar y potencialmente cooperar con otros agentes y dispositivos. Así mismo tener esta capacidad podría permitir reducir la imprevisibilidad en la toma de decisiones al integrar nuevas fuentes de información al sistema. Los requerimientos relacionados con la cooperación tecnológica se presentan en la Tabla 6. Requerimientos de Cooperación entre agentes.

ID	Nombre	Explicación
CMA-1	Integración Dinámica de Agentes	El sistema debe poder interactuar con otros agentes dentro del ecosistema tecnológico del usuario, para enriquecer los servicios provistos, el manejo de la imprevisibilidad y la interacción

Tabla 6. Requerimientos de Cooperación entre agentes

El SAR tiene la oportunidad de mediar socialmente y promover la interacción social sana entre seres humanos. Este es un aspecto relevante en el cuidado de adultos mayores, y uno deseable en el contexto educativo. Los requerimientos de mediación social se muestran en la Tabla 7. Requerimientos de Mediación Social.

ID	Nombre	Explicación
MSC-1	Capacidad Multiusuario	El robot debe estar en la capacidad de soportar múltiples usuarios durante la realización de un servicio o bajo el marco de la interacción.
MSC-2	Cuidado socialmente inspirado	El sistema debe poder incluir los criterios de usuarios secundarios y terciarios, responsables del cuidado del usuario primario, a la hora de interactuar con el usuario primario.

Tabla 7. Requerimientos de Mediación Social

Si bien la seguridad es un requerimiento no funcional, el estado del arte sugiere la necesidad de manejar las excepciones del sistema con gracia. De esta manera, el SAR mantendría la confianza y la aceptabilidad de los usuarios. Los requerimientos de seguridad se muestran en la Tabla 8. Requerimientos de Seguridad.

ID	Nombre	Explicación
SAF-1	Manejo de Excepciones	El sistema debe reconocer la excepción ante el usuario y pedir perdón después de cierto tiempo.

Tabla 8. Requerimientos de Seguridad

La autonomía se presenta como un área de alto impacto en la gestión de la imprevisibilidad en los casos estudiados. El SAR debe poder entender el contexto de interacción y definir si tiene las autorizaciones y capacidades necesarias para realizar sus intenciones. Los requerimientos de autonomía se exponen en la Tabla 9. Requerimientos de Autonomía.

ID	Nombre	Explicación
AUT-1	Autonomía Ajustable	El sistema debe poder adaptar su autonomía según la criticidad, responsabilidad y complejidad del entorno de la actividad.
AUT-2	Autonomía Autorizada	El sistema debe poder solicitar permiso al responsable en caso de que el nivel de autonomía del robot bajo el marco de una actividad no sea alto.

Tabla 9. Requerimientos de Autonomía

La capacidad de planificar de manera ética y adaptativa exige que el SAR cuente con ciertas características en su etapa deliberativa. Para manejar la imprevisibilidad, el SAR debe estar en la capacidad de realizar múltiples metas paralelamente, teniendo en cuenta procesos de explicabilidad y su relación con el usuario bajo un marco de servicio específico. Estos requerimientos se pueden ver en la Tabla 10. Requerimientos de Toma de Decisiones.

ID	Nombre	Explicación
TMD-1	Interacción Basada en Roles	El sistema debe poder identificar cuando un cambio de rol en el marco de una actividad debe ser realizado. Además, debe poder aplicarlo de manera oportuna.
TMD -2	Ética Embebida	El sistema debe poder identificar y mitigar riesgos éticos que puedan ocurrir bajo el marco de una interacción específica.
TMD-3	Transparencia/Explicabilidad	El sistema debe estar en la capacidad de comunicar su razonamiento a usuarios secundarios o terciarios involucrados en el marco de una interacción.
TMD-4	Intenciones Paralelas	El sistema debe poder realizar todas las intenciones que sean viables dado un momento específico. Esto podría generar una mejor interacción con el usuario.

Tabla 10. Requerimientos de Toma de Decisiones

Para fortalecer los procesos interactivos y la toma de decisiones, se requiere un manejo apropiado de los recursos del sistema. Si bien algunos de estos requerimientos no son abstraídos directamente de la literatura, capacidades como la expropiación de recursos son necesarias para implementar requisitos como las intenciones paralelas. En la Tabla 11. Requerimientos de Manejo de Recursos, se describen los requerimientos asociados.

ID	Nombre	Explicación
MDR-1	Interacción Robusta	El sistema debe estar en la capacidad de utilizar sus sensores y otros agentes relacionados de manera multimodal. Así mismo, el sistema debe poder enriquecer la interacción de manera multimodal utilizando todos los recursos apropiados para esto.
MDR -2	Interactividad	El robot debe poder mostrar movimientos dinámicos y reales dinámicamente para controlar la atención del usuario. De igual manera, el robot debe poder generar procesos para mantener conversaciones creíbles y espontaneas.
MDR -3	Uso óptimo de Recursos	El sistema debe estar en la capacidad de expropiar los recursos utilizados por una intención, en caso de que un evento de mayor importancia deba ser atendido y estos sean requeridos.
MDR-4	Manejo del Tiempo	La naturaleza temporal de las intervenciones requiere que la arquitectura pueda manejar planes con una duración específica, y manejar con gracia la finalización de estos. [132]

Tabla 11. Requerimientos de Manejo de Recursos

3.2. Arquitectura de Agentes

Una vez definidos los requerimientos, se procedió a realizar la descomposición de roles de la metodología AOPOA[49]. A partir de la descomposición de roles, se obtuvieron 13 agentes diferentes y a cada uno se le asignó una o más metas dentro del sistema. El proceso de AOPOA completo, se puede evidenciar en el anexo B de la sección Anexos. La relación entre metas y agentes se presenta en la Tabla 12. Agentes y Metas AOPOA. Se debe resaltar que se tenía como objetivo que la arquitectura fuera completa, en cuanto a la cobertura provista en los requisitos definidos. En segundo lugar, se buscaba una arquitectura coherente que respetara los principios propuestos en la arquitectura BDI y su implementación en BDI-BESA. Por último, se quería una arquitectura híbrida capaz de responder en tiempo real de manera oportuna.

Agente	Metas Relacionadas
Agentes Proveedor de Servicio	Reconocer Recursos del ambiente, Integrarse con Nuevas Fuentes de información, Procesar datos de forma multimodal, Revisar Estado de Sensores, Revisar Estado de Actuadores.
Agente Detector de Riesgos Éticos	Anticipar efectos negativos en la persona, Mitigar Efectos éticos Negativos, Detectar Riesgos y efectos éticos.
Agente Detector de Riesgos	Identificar Hábitos, Identificar Riesgo de Eventos Indeseables, Identificar anomalías, Procesar datos de forma multimodal.
Agente Interprete Emocional del Usuario	Demostrar Empatía, Reconocer Estado Emocional del Usuario, Procesar datos de forma multimodal.
Agente Interactivo	Demostrar Habilidades Conversacionales.
Agente de Aprendizaje	Evolucionar Perfil del Usuario, Adaptar Interfaces de interacción con usuario, Conocer Mejor al usuario, Adquirir Habilidades, Aprender de la interacción verbal.
Agente de Explicabilidad	Capturar Registros de sensores, estado y acciones del agente y del usuario, Sintetizar reporte para usuarios secundarios y terciarios.
Agente De Creencias	Reconocer Recursos del robot, Revisar Estado del sistema de cómputo y comunicación, Adaptar Personalidad.

Agente de Motivación	Aumentar Interacción Social, Mejorar Apoyo Social, Expresar Señales de Vida, Mantener estados emocionales positivos del usuario, Realizar Actividades con o sin supervisión, Recuperarse de Errores del sistema, Adaptar autonomía en cuanto a toma de decisiones, Adaptar autonomía en la realización de acciones, Seleccionar el mejor rol para la tarea, Gestionar el tiempo de las intervenciones, Expropiar recursos, Compartir recursos.
Agente de Acción	Interactuar de Manera Enriquecida / multimodal, Adaptar las Habilidades del robot según los recursos disponibles, Adaptar interacción según recursos del robot disponibles, Personalizar Actividades, habilidades sociales, emociones. Adaptar Interfaces de interacción con usuario, Realizar Actividades con o sin supervisión.
Agente de Cooperación	Relacionarse con otros Agentes, Integrarse con Nuevas Fuentes de información.
Agente de Cooperación Humana	Relacionarse con usuarios secundarios y terciarios.

Tabla 12. Agentes y Metas AOPOA

Respecto a los enlaces de cooperación entre roles, se presenta la Ilustración 2. Overview SocialRobotBesa. Como se evidencia en la imagen, la arquitectura se compone de 3 grupos de agentes principales que interactúan entre sí. Las interacciones entre agentes y su descripción se pueden ver en la Tabla 13. Interacciones entre agentes SocialRobotBesa.

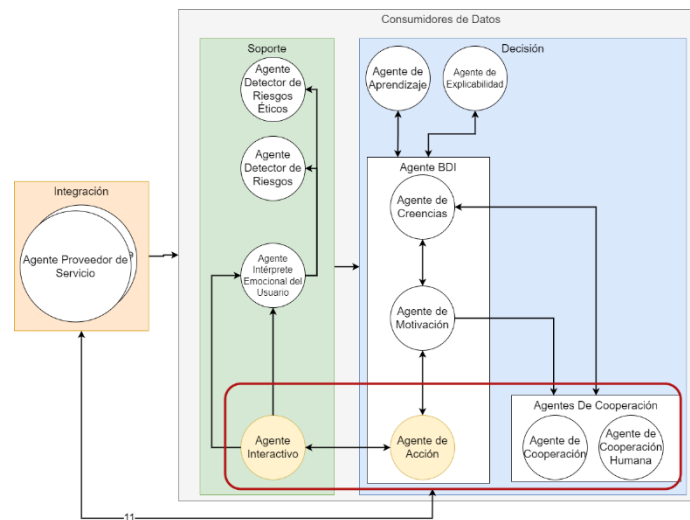


Ilustración 2. Overview SocialRobotBesa

Cada grupo de agentes tiene una responsabilidad diferente bajo el marco de la gestión de la imprevisibilidad en la interacción con el usuario y con el ambiente. Los *agentes del módulo de decisión* tienen como objetivo identificar oportunidades para generar bienestar, planear y ejecutar los planes de manera ética y enriquecida para generar bienestar al usuario. Para lograrlo oportunamente, utilizan la información procesada y refinada por los demás tipos de agentes. Los *agentes del módulo soporte* tienen como función generar información relevante al contexto a partir de información en bruto provista por los agentes de integración. Por último, los *agentes del módulo de integración* buscan traducir la información proveniente de diferentes fuentes (el robot, sensores adicionales, *wearables*, entre otros) para que entre al sistema de manera uniforme y estructurada y gestionar el estado de los

actuadores. Cabe destacar que los agentes resaltados en amarillo tienen la responsabilidad de realizar tareas de enriquecimiento emocional e interactivo para el usuario. Así mismo, los agentes dentro del rectángulo rojo, que serán denominados los *RoboActuadores*, son aquellos agentes que deben utilizar los actuadores del robot para lograr sus objetivos.

3.2.1. Interacciones

Teniendo como referencia la Ilustración 2. Overview SocialRobotBesa, se formalizan las interacciones entre agentes en la Tabla 13. Interacciones entre agentes SocialRobotBesa. En esta tabla, se delimita la funcionalidad que tiene cada interacción y entre que agentes se da.

Agentes Relacionados	Funcionalidad
Módulo de Integración – Módulo De Soporte + Módulo de Decisión.	Los <i>agentes del módulo de integración</i> proveen información traducida a la interfaz de SocialRobotBesa a los <i>agentes de los módulos de soporte o de decisión</i> que consumen datos dentro del sistema, de manera que estos últimos puedan abstraer información de negocio y tomar decisiones oportunamente.
Módulo de Soporte – Módulo de Decisión	Los <i>agentes del módulo de soporte</i> envían información nueva y procesada a los <i>agentes del módulo de decisión</i> para facilitar su toma de decisiones.
Agente de Creencias - Agente de Motivación	El <i>agente de Creencias</i> facilita proactivamente la información almacenada y útil para el proceso de deliberación del <i>agente de Motivación</i> . De igual manera, el <i>agente de Motivación</i> puede alterar parámetros presentes en las creencias. Esta interacción fue adaptada del trabajo de Bravo[1].
Agente de Motivación – Agente de Acción	Una vez realizado el proceso de deliberación, el <i>agente de Motivación</i> solicita la utilización de recursos al <i>agente de Acción</i> . En contraste, el <i>agente de Acción</i> puede notificar al agente de motivación la finalización de una acción o de la tarea en su totalidad. Esta interacción fue adaptada del trabajo de Bravo[1].
Agente de Creencias – Agente de Acción	Cuando se han producido cambios en las creencias asociados a las variables moduladoras de la interacción, el <i>agente de Creencias</i> envía las variables actualizadas al <i>agente de Acción</i> . Esta interacción fue adaptada del trabajo de Bravo[1].
Agente de Creencias – Agentes de Cooperación	Si alguna variable referente a la cooperación con humanos u otros agentes es actualizada, el <i>agente de Creencias</i> transmitirá esta información al agente respectivo de manera que pueda tomar decisiones más acertadas. De igual manera, los <i>agentes de Cooperación</i> pueden actualizar las variables relacionadas a sus funciones a partir de la información provista por los agentes proveedores de servicio. Esta interacción fue adaptada del trabajo de Bravo[1].
Agente de Motivación – Agentes de Cooperación	Una vez el agente de motivación ha iniciado la ejecución de su plan para conseguir su objetivo, se podría necesitar de cooperación de otro agente o de otro humano para completar la tarea. De acuerdo con esto, el <i>agente de motivación</i> envía esta solicitud al <i>agente de Cooperación</i> correspondiente. Esta interacción fue adaptada del trabajo de Bravo[1].
Agente de Aprendizaje – Agente BDI	El <i>agente de Aprendizaje</i> debe poder interactuar con el <i>agente BDI</i> de manera que pueda aprender a partir de las creencias y de su desempeño en el plan en ejecución.

	Por otro lado, cuando el <i>agente de Aprendizaje</i> desea realizar un experimento o encuentra una oportunidad de mejora, debe enviar los nuevos parámetros de la interacción al <i>agente BDI</i> .
Agente de Explicabilidad – Agente BDI	El <i>agente de Explicabilidad</i> debe contar con la información de las creencias y de la progresión del plan del <i>agente BDI</i> , para poder explicar en tiempo real lo que ocurre en el sistema. De igual manera, <i>el agente de Explicabilidad</i> puede enviar sus registros procesados en caso de que algún plan los utilice.
Agente Interactivo – Agente de Acción	El <i>agente de Acción</i> enriquece la petición de solicitudes de interacción verbal y se la retransmite al agente interactivo encargado. A su vez, cuando el <i>agente de Interacción</i> ha completado sus responsabilidades bajo el contexto de una tarea, debe informarle al agente de acción sobre su estado.
Agente Proveedor de Servicio – Agentes Robo-Actuadores	Los <i>agentes RoboActuadores</i> deben solicitar la utilización de actuadores en el robot, para esto deben enviar la solicitud al agente proveedor de servicios específico. Cuando la acción ha sido realizada por el robot y el <i>agente Proveedor de Servicio</i> es notificado, le notifica al <i>agente RoboActuador</i> de donde se originó la petición.
Agente Interactivo – Agente Interprete Emocional del Usuario	Cuando hay un evento interactivo como hablar, tocar al robot o su tableta, <i>el agente Interactivo</i> lo procesa y le envía la información relacionada al <i>agente Interprete Emocional</i> para que este afecte el estado emocional del robot.
Agente Interactivo – Agente Interprete Emocional del Usuario	Cuando hay un evento interactivo que demuestre emociones del usuario como hablar o abrazar el robot, <i>el agente Interactivo</i> lo procesa y le envía la información relacionada al <i>agente Interprete Emocional del Usuario</i> del usuario para que este realice el proceso de cálculo de emociones.
Agente Interprete del Emocional del Usuario – Agentes Detectores de Riesgo	Riesgos éticos como el apego o accidentes de la interacción como la ansiedad, pueden ser detectados a partir de la información provista por el <i>agente Interprete Emocional del Usuario</i> . El agente interprete envía estos eventos al <i>agente Detector de Riesgos</i> para que la interpretar e inste a los <i>agentes de decisión</i> a hacer algo al respecto.

Tabla 13. Interacciones entre agentes SocialRobotBesa

3.2.2. Módulo de Integración

El intercambio de información e integración entre el robot y la arquitectura de control SocialRobotBesa, ocurre gracias a los *agentes del módulo de integración*. Cabe destacar que todos los agentes que componen el módulo de integración son agentes *Proveedor de Servicio*. Este tipo de agentes se encarga de ofrecer los servicios necesarios para lograr el objetivo del sistema a los demás agentes dentro de la arquitectura. De igual manera, los agentes *Proveedor de Servicio*, pueden implementar módulos con capacidades de procesamiento de datos como voz a texto y análisis de sentimiento.

Por otro lado, los agentes *Proveedor de Servicio* implementan el patrón adaptador, por cada servicio provisto, con el fin de permitir flexibilidad e interoperabilidad al momento de utilizar los servicios expuestos por el robot. Es decir, los agentes *Proveedor de Servicio* traducen las primitivas del sistema a las primitivas entendidas por el robot. De igual manera, este tipo de agentes puede ser utilizados para integrar sistemas diferentes y proveer servicios no asociados al robot, como lo puede ser el envío de un correo electrónico o un mensaje de texto.

Por otra parte, los servicios provistos por estos agentes quedan registrados en un componente centralizado conocido como registro de servicios[133]. De esta manera, los agentes que requieran de un servicio no dependen de la implementación de los agentes de integración. Esto puede facilitar la escalabilidad del sistema y la capacidad de agregar nuevos servicios dinámicamente.

Los agentes *Proveedor de Servicio* también gestionan el estado de los servicios que han sido solicitados al robot y notifican al *agente de Motivación* cuando una petición ha finalizado. Así mismo, en caso de que ocurra un evento de expropiación los agentes de integración mantienen la relación entre los servicios solicitados y su mensaje correspondiente de expropiación. Por ejemplo, si el agente *Proveedor de Servicio* de diálogo está al tanto de que se solicitó al robot que hablara, en caso de expropiación, el agente *Proveedor de Servicio* sabe que debe enviar la petición de parar el diálogo.

Resumiendo, los agentes *Proveedor de Servicio* se encargan de suplir la necesidad de interoperabilidad y de extensibilidad del sistema. Además, facilitan el manejo y recuperación de excepciones y errores al encargarse de los protocolos de comunicación con el robot. Es importante recalcar que los agentes *Proveedor de Servicio* y su arquitectura formal dependen fuertemente del contexto de aplicación del SAR y de las funcionalidades que este deba tener.

3.2.3. Módulo de Soporte

Por otro lado, los agentes del módulo de soporte tienen como objetivo global generar información propia del contexto de aplicación del SAR que utiliza la arquitectura de control. En general, los agentes de soporte considerados en la arquitectura permiten facilitar los requerimientos funcionales asociados a una interacción robusta con un robot empático bajo un contexto de imprevisibilidad rodeado de riesgos y basado en la ética. La descripción de cada agente y su función se explica en la Tabla 14. Agentes de Soporte. La arquitectura formal de cada agente se puede evidenciar en el anexo B de la sección Anexos.

Agente	Funcionamiento General
Agente Detector de Riesgos	Utilizar la información proveniente de los sensores del sistema y aquella presente en las creencias del <i>agente BDI</i> , para detectar riesgos relacionados con el cambio de hábitos, accidentes espontáneos e incluso riesgos relacionados a afecciones medicas como la hipertensión, la ansiedad o la depresión. En caso de detectar un riesgo este agente informará al <i>agente BDI</i> , quien activará un plan relacionado con su mitigación.
Agente Detector de Riesgos Éticos	Identificar y mitigar riesgos éticos presentados en interacciones a largo plazo como se evidencia en la literatura [99], [106]. Algunos ejemplos son la sobre confianza, el apego o la soledad. Para esto utiliza la información provista por los sensores del sistema y aquella presente en las creencias del <i>agente BDI</i> . En caso de detectar un riesgo, este agente informará al <i>agente BDI</i> , quien activará un plan relacionado con su mitigación. Así mismo, podrá alterar el estado emocional del robot para reducir, por ejemplo, el apego del usuario.
Agente Interprete Emocional del Usuario	Hacer de agente de fusión de decisión para los múltiples eventos que indican la emoción del usuario durante la interacción. Se encarga de disminuir la imprevisibilidad resultante de los sensores con relación al estado emocional del usuario, que es vital para tomar decisiones correctamente en el sistema. Este agente es adaptado del trabajo de Alcalá [2] de manera que pueda soportar múltiples usuarios. Así mismo, permite utilizar la información resultante de la interacción y de eventos propios del ambiente para crear eventos emocionales basados en el modelo OCC [134] para afectar el estado emocional del robot. El agente interpreta a partir de la información recibida el tipo de evento, el sujeto asociado al evento y

	el objeto/contexto en el evento. Este agente permite expresar emociones correctamente y generar empatía con el usuario.
Agente Interactivo	Este agente representa la capa interactiva y reactiva implementada en varios trabajos evaluados en el estado del arte[84], [90]. Para esto, gestiona la interacción no estructurada: Habla, eventos táctiles y eventos de interfaces como tabletas. De esta manera, el agente debe procesar los eventos interactivos provenientes de los agentes proveedores de servicio bajo el contexto de la interacción. Además, el agente debe distribuir los eventos emocionales tanto del robot como de los usuarios que ocurren como resultado de la interacción. Así mismo, se encarga de generar una conversación interactiva y reactiva apoyándose en inteligencia artificial y modelos de lenguaje. En general, la función del agente es manejar la imprevisibilidad resultante de la interacción vía lenguaje natural.

Tabla 14. Agentes de Soporte

3.2.4. Módulo de Decisión

Los agentes del módulo de decisión SocialRobotBesa son aquellos encargados de realizar los procesos funcionales más importantes del sistema, desde la personalización y adaptación, hasta la ejecución de servicios para el bienestar del usuario. Este grupo de agentes se divide entre los agentes de *Cooperación*, el agente de *Aprendizaje*, el agente de *Explicabilidad* y el agente *BDI*. La arquitectura formal de cada agente se puede evidenciar en el anexo B de la sección Anexos.

A su vez, *el agente BDI* se encuentra dividido en tres subagentes. El agente de *Creencias*, el agente de *Motivación* y el agente de *Acción*. Cada uno de estos subagentes fue adaptado de las tesis doctorales de John Páez [38], Angela Bravo [1] y Alejandra Gonzalez [128].

Agente de Creencias

El agente de *Creencias* se encarga de gestionar las creencias del agente. En trabajos anteriores [1], [38], [128], las creencias del agente *BDI* eran pasivas y debían ser consultadas por los agentes interesados cuando estos la necesitaran. Sin embargo, para manejar la imprevisibilidad en tiempo real, se decidió que las creencias del agente deberían ser más activas. Para lograr esto, se utilizó el paradigma de proveedor de servicio propuesto por la arquitectura BESA. Bajo este paradigma, el agente de creencias podrá proveer servicios específicos por cada componente de creencias, a los cuales los demás agentes se podrán suscribir y recibir notificaciones asíncronas.

Cada una de las creencias que debe almacenar este agente, se agrupó en componentes según su función dentro del sistema. Se identificaron 8 componentes principales necesarios para generar bienestar al usuario en un ambiente de imprevisibilidad, estos se presentan en la Tabla 15. Descripción de las creencias del agente BDI. Así mismo, algunos de estos componentes se dividieron en subcomponentes para permitir una granularidad más fina teniendo en cuenta que un agente solo debería suscribirse a los eventos que le interesan para cumplir su objetivo.

Creencia	Descripción
Estado Físico del Agente	Contiene la información relacionada al estado de los sensores, actuadores, habilidades y excepciones/errores del agente. Así mismo, almacena el estado de otros recursos externos, como sensores adicionales y recursos computacionales.

Estado de la Interacción	Se compone del contexto conversacional, el contexto del servicio que se provee en un momento específico, el estado emocional del usuario y el estado de atención del usuario.
Perfil del Usuario	Involucra toda la información relacionada con los usuarios que interactúan con el robot. Esto incluye: gustos, preferencias, configuraciones, contexto médico, contexto socio demográfico, hábitos, actividades e información sobre los modelos emocionales y de voz. Así mismo, contiene la información relacionada a usuarios secundarios y terciarios, responsables de los usuarios primarios involucrados en la interacción. De igual manera, relaciona la información de actividades de las que el usuario puede participar.
Riesgos Éticos	Contiene la probabilidad calculada por cada riesgo ético relevante al contexto de aplicación.
Riesgos y Accidentes	Contiene la probabilidad calculada por cada riesgo o accidente relevante al contexto de aplicación.
Estado Psicológico del Agente	Gestiona toda la información relacionada con el modelo social del agente, sus roles de interacción y su estado emocional. El subcomponente de Estado emocional se presenta más adelante.
Modelo del Mundo	Presenta la información relacionada con la navegación, como lo es una representación interna del espacio y la posición de los usuarios.

Tabla 15. Descripción de las creencias del agente BDI

Modelo de Estado Emocional

Del agente de *Creencias*, destaca el componente Estado Emocional. Este componente está basado en el modelo emocional definido por Bravo [1] e implementado por de la Peña [4]. Este se encuentra basado en el trabajo de Ortony, Clore y Collins [134] y los aportes realizados por Steunebrink [3]. En el modelo OCC, cada evento se define por una acción, el sujeto de la acción y el objeto/contexto de la acción. Un ejemplo específico se relaciona con la frase “el robot (sujeto de la acción) alegre (acción) al adulto mayor (objeto de la acción)”.

Siguiendo este modelo, cada evento tiene una valencia o positiva o negativa, según su naturaleza y el individuo afectado. Al combinar estas valencias, el módulo determina si el estado emocional debe afectarse positiva o negativamente. El estado emocional del agente está compuesto de múltiples ejes emocionales cada uno con dos emociones y un rango de valencias específico. La emoción positiva varía de 0 a 1 y la emoción negativa de 0 a -1. Además, cada eje emocional tiene un valor predeterminado que corresponde al estado emocional base del agente.

Por último, se tiene la personalidad del agente. En el modelo emocional utilizado por Bravo [1], la personalidad se entiende como la importancia otorgada por el agente a diferentes tipos de eventos, sujetos asociados y el contexto de los eventos emocionales que experimenta. Bajo el contexto de este trabajo de grado, se propone la adición de Roles de interacción. Estos permitirán al sistema influir en la personalidad del robot según el rol que se deba tener en algún contexto específico de la interacción. Un claro ejemplo de esto se da en el escenario de educación, donde el robot, actuando como profesor, podría adoptar un enfoque más serio o cariñoso para mantener la atención del niño durante la actividad.

Agente de Motivación

Respecto al agente de *Motivación*, descrito en la Ilustración 3. Estructura del Agente de Motivación, se puede afirmar que este selecciona que metas deben ser activadas a partir de cambios en el agente

de *Creencias*. Para esto, la agente de *Motivación* lleva a cabo un proceso deliberativo donde selecciona las metas que son viables dados los recursos, las habilidades y el nivel de autonomía disponibles. Una vez seleccionadas las metas, el agente de *Motivación* define y ejecuta un plan para llevar sus metas a cabo. Es necesario resaltar que el agente de *Motivación* también se encarga de gestionar la sincronización entre las tareas correspondientes a un plan, según las solicitudes de acción que este agente realice al agente de *Acción*.

De igual manera, es menester mencionar que con el fin de poder responder en tiempo real a eventos imprevistos durante la interacción, se implementa la capacidad de expropiar los planes cuando una meta más importante se activa.

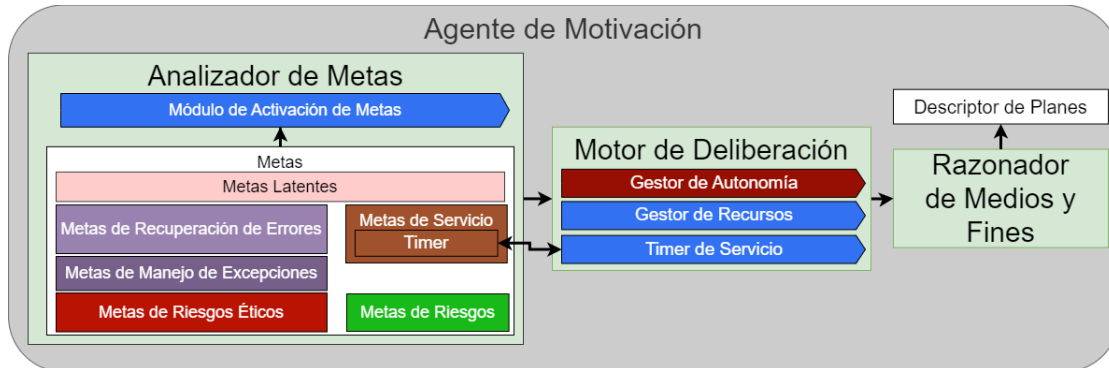


Ilustración 3. Estructura del Agente de Motivación

Asimismo, se debe mencionar que el proceso deliberativo y el proceso de ejecutar el plan se llevan a cabo de manera concurrente, lo que promueve la interacción en tiempo real y la respuesta oportuna a cambios en la interacción y en el ambiente. Bajo el contexto de este trabajo de grado, un plan se puede componer de varias tareas que pueden ser secuenciales o paralelas. Cada tarea puede componerse de múltiples acciones, las cuales se solicitan al agente de *Acción* o a los agentes de *Cooperación*. Así mismo, es importante mencionar que todo lo mencionado hasta este punto se origina de los trabajos previos de la Universidad Javeriana [1], [38], [128].

Los componentes más importantes del agente de *Motivación* se pueden ver en la Tabla 16. Componentes Relevantes Agente de Motivación. Los componentes marcados con * son aportes de este trabajo de grado.

Componente	Función
Analizador de Metas	A partir de los cambios en las creencias del agente, determina que metas están activas para determinar que meta podría llegar a ser intención. adaptado del trabajo de Bravo [1].
Módulo de Activación de Metas *	Encargado de determinar que metas deben ser tenidas en cuenta durante el análisis de metas, la cual sucede a partir de un estímulo generado por la interacción o el ambiente. Para esto, se utiliza una adaptación del algoritmo RETE [135], donde los submódulos de la creencia representan el conjunto de reglas y las metas a activar, representan un conjunto de hechos. Estos son utilizados para construir un árbol dirigido que representa las dependencias entre las condiciones de las reglas, lo que facilita la indexación de las metas que deben ser activadas dado un cambio en una creencia específica.
Motor de Deliberación	Analiza la viabilidad de las metas a ser seleccionadas teniendo en cuenta habilidades, recursos e intenciones previas ya existentes. Adaptado del trabajo de

	Bravo [1]. Si ya existe una meta en ejecución y surge una meta más importante que requiera recursos ocupados, el motor de deliberación generará un evento de expropiación.
Gestor de Recursos *	Expropia recursos utilizados por otras metas en caso de que una de mayor prioridad deba ejecutarse. Así mismo, determina si un recurso puede ser compartido entre metas según su nivel de necesidad.
Razonador de medios y fines	Ejecuta el plan asociado a las intenciones de la arquitectura de control. Para esto se coordina y comunica con los agentes de acción y cooperación. Además, gestiona el estado del plan, sus tareas y las condiciones para su finalización. Adaptado del trabajo de Bravo [1]. En caso de que un evento de expropiación sea emitido por el motor de deliberación, el razonador de medios y fines lo transmite al agente de acción.
Metas Latentes *	Su función es permitir la personalización de políticas por parte de usuarios secundarios y terciarios para modificar la toma de decisiones del robot. Las metas latentes modifican las funciones de activación y contribución de las metas que se pueden volver intención. De igual manera, facilitan el comportamiento coherente del sistema influyendo en las funciones de activación y contribución del agente BDI. Este concepto fue adaptado de la arquitectura MRCC [5].
Gestor de Autonomía *	Responsable de determinar el nivel de autonomía, siguiendo el framework de Beer et.al [42] y las reflexiones de Elbeleidy [99]. Determina si una meta puede realizarse de manera autónoma, con autorización o si la meta no puede realizarse dada la configuración propuesta por un usuario secundario. Si la meta requiere de permiso, el Gestor de Autonomía activa la meta Pedir Permiso, presentada en el capítulo 4. Prototipo.
Timer de Servicios *	Revisar y gestionar el uso del tiempo en metas de servicio que lo requieren. Permite la adaptación de la progresión de tareas del plan para que se logre el objetivo asociado a este.

Tabla 16. Componentes Relevantes Agente de Motivación

Agente de Acción

El agente de Acción tiene la responsabilidad de coordinar y enriquecer las primitivas correspondientes a las acciones solicitadas por el agente de Motivación. El agente de Acción, de acuerdo con Bravo [1], consta de dos componentes, el modulador de acciones y el ejecutor de acciones.

El modulador de acciones tiene como objetivo enriquecer las acciones relacionadas a una tarea. Así como las tareas están compuestas por acciones, las acciones tienen asociadas primitivas que incluyen parámetros para su enriquecimiento. Para enriquecer la primitiva, el modulador de acciones emplea la descripción de la primitiva y calcula los parámetros requeridos utilizando la información del estado emocional del robot y el perfil del usuario. Además, es importante mencionar que estas primitivas son enviadas al momento de solicitar un servicio a los agentes proveedores de servicio.

Por otro lado, el componente ejecutor de acciones tiene como fin solicitar el servicio relacionado a las primitivas enriquecidas asociadas a la acción. Además, este componente se encarga de gestionar el estado de finalización de cada primitiva, al procesar las confirmaciones provenientes de los agentes proveedores de servicio. Una vez todas las primitivas relacionadas con una acción han sido finalizadas, el ejecutor de acciones notifica al razonador de medios y fines en el agente de motivación. Este

procedimiento se muestra en la Ilustración 4. Diagrama de interacción para el enriquecimiento de acciones

En el ejemplo, la tarea “Contar un Chiste” puede contener la acción “Hablar Animadamente”. A su vez, esta acción puede estar compuesta por las primitivas “Mover Brazos” y “Hablar”. La primitiva “Hablar” tiene el parámetro “volumen”, el cual se puede obtener del perfil del usuario y la primitiva “Mover Brazos” tiene el parámetro “velocidad”, calculado a partir del estado emocional del robot.

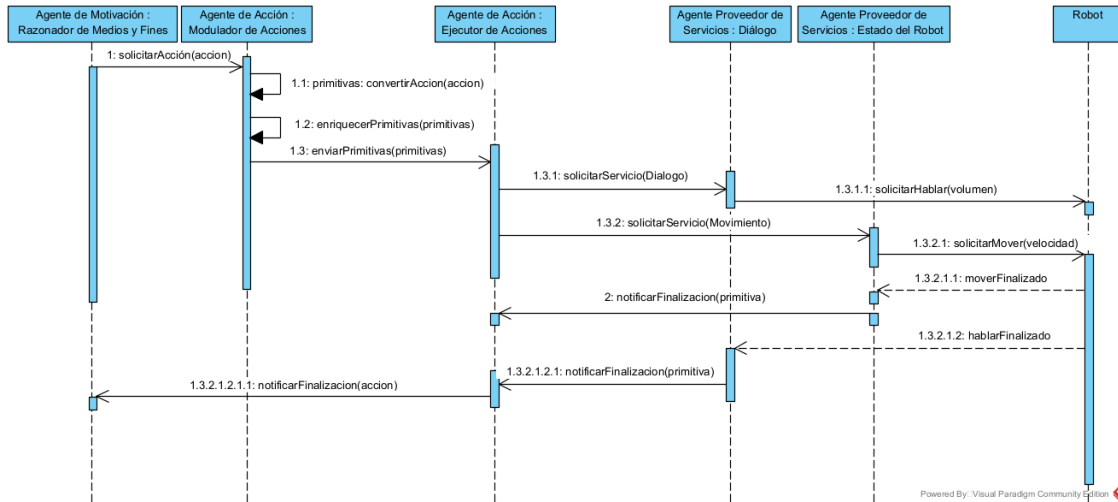


Ilustración 4. Diagrama de interacción para el enriquecimiento de acciones

Es importante mencionar que la composición de acciones a través de primitivas también es un aporte de este trabajo de grado. En trabajos relacionados previos las acciones era el único nivel de abstracción y tenían una relación uno a uno con los parámetros del robot. El hecho que una acción pueda tener múltiples primitivas secuenciales brinda más flexibilidad. Así mismo, la posibilidad de tener varios tipos de variables como parámetros es una característica nueva de este agente.

Agentes de Decisión Secundarios

Acercas de los agentes que apoyan el proceso de toma de decisiones y ejecución de planes en el grupo de agentes de decisión, se encuentran 3 tipos fundamentales: los agentes de *Cooperación*, el agente de *Aprendizaje* y el agente de *Explicabilidad*. Estos agentes desempeñan un papel crucial en la arquitectura y son aportes de este trabajo de grado. Por un lado, brindan soporte a los procedimientos de inclusión para los actores relacionados al cuidado del usuario, lo cual es un requisito fundamental al trabajar con poblaciones vulnerables. Asimismo, respaldan los procesos de mejora continua en el servicio proporcionado al usuario.

El agente de *Cooperación Con Agentes* se encarga de manejar la comunicación e integración con otros agentes dentro del ecosistema tecnológico. Estos agentes podrían ser dispositivos inteligentes e inclusive otros robots. Para lograr la cooperación exitosamente, este agente de *Cooperación Con Agentes* debe implementar protocolos de sincronización y negociación con los demás agentes.

Por otro lado, el agente de *Cooperación Con Humanos* tiene como objetivo autenticar a actores relacionados al cuidado del usuario, y coordinar con ellos posibles intervenciones al usuario. Por ejemplo, este agente es el encargado de notificar a un usuario secundario responsable si el usuario primario tiene algún problema de salud o fue víctima de un accidente. Para conseguir su objetivo, el agente de *Cooperación Con Humanos* también debe implementar protocolos de sincronización y negociación

con los seres humanos. Sin embargo, el diseño de estos protocolos debe considerar la imprevisibilidad propia de colaborar con seres humanos, teniendo en cuenta que estos no siempre hacen lo que dicen que harán [66].

En lo que concierne al agente de *Explicabilidad*, este soporta la recolección y procesamiento asíncrono de la información relacionada con las creencias del agente, en específico los resultados de su proceso deliberativo, el estado de la interacción y el estado emocional del usuario. Este agente es de vital importancia en la arquitectura, ya que genera confianza en los usuarios secundarios y terciarios al presentarles en lenguaje natural los motivos por los cuales el robot decide actuar de cierta manera. En general, el agente captura la información deseada cada vez que el agente de motivación delibera y cuando se produce un evento que cambie las creencias del agente *BDI*. Posteriormente, la procesa asincrónicamente de manera que sea entendible para los usuarios secundarios que la soliciten.

Por último, sobre el agente de *Aprendizaje*, se puede resaltar su importancia en cuanto a proveer un mejor servicio al usuario. Este agente tiene como objetivo gestionar y evolucionar las preferencias, gustos y capacidades del usuario a lo largo del tiempo, lo que reduce la imprevisibilidad en la interacción. Para esto, se propone utilizar mecanismos de aprendizaje de máquina basados en aprendizaje por refuerzo. Además, este agente también debe aprender que roles y que personalidades del robot son más útiles dado un contexto de servicio y las emociones del robot. Por ejemplo, si durante una oración guiada por el robot, las emociones del adulto mayor mejoren y se produce calma, el agente de aprendizaje puede actualizar el gusto del servicio de manera que sea realizado de manera frecuente. Así mismo, el agente está diseñado para poder extender sus capacidades de manera que en el futuro soporte aprendizaje por demostración o algún otro tipo de necesidad. Cabe resaltar que este agente puede ser extendido mediante la inclusión de nuevos modelos de inteligencia artificial.

Una vez definidos todos los agentes, se llevó a cabo la verificación de la arquitectura. Esta fue llevada a cabo en conjunto con el profesor Enrique González, director de este trabajo de grado. Se revisaron diversos escenarios derivados a partir de los casos de aplicación, y se verificó el flujo necesario para que el escenario pudiera ocurrir correctamente.

Para ilustrar este proceso, se considera el siguiente ejemplo. En el contexto de la interacción verbal con el robot, un niño estudia matemáticas con el apoyo del robot. Posteriormente, el niño puede preguntarle sobre los mamíferos al robot. Cuando esto ocurre, el evento de pregunta llega a la arquitectura a través del *Proveedor De Servicio* de diálogo, quien lo remite al agente *Interactivo*. El agente *Interactivo* registra la pregunta del niño en el agente de *Creencias*, lo que desencadena que la meta “Responder Pregunta” se active y apropie a la meta “Estudiar Matemáticas”.

Luego, cuando se ejecuta el plan para “Responder Pregunta”, el agente de *Motivación* le pide al agente *Interactivo* que busque la información relacionada al concepto registrado. El agente *Interactivo*, que está integrado a Chat-GPT y tiene el contexto de la conversación, realiza la búsqueda de la información y genera una petición de servicio de diálogo con la información encontrada. Esta solicitud se envía al servicio de diálogo, que a su vez la comunica al robot. Una vez la curiosidad del niño ha sido satisfecha, el agente *Proveedor De Servicio* de diálogo notifica al agente *Interactivo* que ya se finalizó el proceso de voz a texto en el robot. Posteriormente, el agente *Proveedor De Servicio* le notifica al agente de *Motivación* la finalización del proceso. En este punto la meta “Responder Pregunta” finalizará y la meta “Estudiar Matemáticas” se reanuda.

4. PROTOTIPO

En esta sección, se presenta el prototipo de la arquitectura SocialRobotBesa aplicado al cuidado de adultos mayores. Este prototipo fue nombrado *PwAAgent*. Así mismo, se especifica que agentes y componentes de la arquitectura SocialRobotBesa fueron seleccionados para su implementación, las tecnologías utilizadas y algunos detalles relevantes relacionados. Cabe destacar que hubo aportes realizados a las bases de código de *RationalBesa* y *BDIBesa*, frameworks de agentes del grupo SIRP. Así mismo, se realizó un framework llamado SocialRobotBesa donde quedaron implementados los agentes de la arquitectura y sus procesos generales.

4.1. Priorización de Componentes

Dado que el prototipo propuesto es parcial, se realizó una priorización de componentes de la arquitectura para definir que agentes y componentes de la arquitectura SocialRobotBesa serían implementados. Se tuvieron en cuenta 5 criterios como se muestra en la Tabla 17. Criterios de priorización. Cada criterio fue evaluado en una escala de 1 a 5.

Criterio	Justificación	Factor
Contribución a la Robótica de Asistencia Social (CS)	Indica que tan importante es el componente para tener un robot de asistencia social que pueda manejar la imprevisibilidad en la interacción con el humano y el ambiente. A mayor puntaje, el componente es más importante.	30%
Avance Existente (AE)	Teniendo en cuenta que esta arquitectura utiliza módulos ya trabajados en trabajos anteriores, este criterio mide que tanto avance hay en la implementación. A mayor puntaje, mayor avance.	20%
Complejidad (CO)	Indica que tan compleja es la implementación del componente. Mayor complejidad indica un menor puntaje.	30%
Novedad (NO)	Se relaciona con la novedad del componente con relación al estado del arte. Entre más novedoso, mayor el puntaje.	10%
Factor de Impresión (FI)	Muestra que tan fácil es de validar el componente a partir de la metodología de validación establecida. A mayor puntaje, el impacto del componente en la interacción es más visible	10%

Tabla 17. Criterios de priorización

Posteriormente, por cada componente de la arquitectura se evaluaron los criterios en conjunto con el director del trabajo de grado, teniendo en cuenta la revisión bibliográfica y las entrevistas realizados a los expertos y a los cuidadores. De los 27 componentes iniciales, se seleccionaron 16, teniendo en cuenta que se debía cubrir lo básico necesario para poder interactuar con el usuario y lo mínimo para poder gestionar la imprevisibilidad bajo el marco de las actividades planteadas. Los componentes seleccionados, se muestran en la Tabla 18. Evaluación de Componentes.

Aquellos componentes en verde oscuro se consideraron mandatorios. Por otro lado, los componentes en amarillo se consideraron opcionales al poder ser implementados por los estudiantes del grupo RAS. Sin embargo, esto no fue posible dadas las limitaciones de tiempos. Respecto a los componentes en verde claro, estos se consideraron deseables mas no obligatorios.

Componente	CS	AE	CO	NO	FI	Total
Modulador Emocional de Acciones	5	2	3.5	1	5	3.55
Agente de Explicabilidad	3.5	2	4	3	5	3.45
Proveedor de Servicio – Percepción	5	5	3	0	0	3.4

Lógica de Metas Latentes	3	2	5	3	0	3.1
Agente Interprete Emocional del Usuario – Modelo OCC	4	3	3	0	3	3
Agente Interprete Emocional del Usuario – Roles de Interacción Emocionales	4	3	1	5	3	2.9
Ejecutor de Acciones	5	2	3	0	0	2.8
Proveedor de Servicio – Diálogo	4	2	2	0	5	2.7
Agente de Cooperación con Humanos – Flujo de Notificación	4	0	4	0	3	2.7
Gestor de Autonomía	3	0	4	3	3	2.7
Agente Interactivo – Interacción Por Voz	5	0	1	3	5	2.6
Agente de Cooperación con Agentes	3	2	4	0	1	2.6
Agente Interprete Emocional del Usuario – MultiModal	5	1	3	0	0	2.6
Proveedor de Servicio – Interfaces	3	2	4	0	0	2.5
Agente Interactivo – Despachador de Eventos	5	0	3	0	1	2.5
Modulador Genérico de Emociones	5	2	1	0	3	2.5

Tabla 18. Evaluación de Componentes

A excepción del agente de *Cooperación con Agentes* y el Despachador de Eventos, todos los componentes en la lista fueron implementados. Así mismo, se agregó el flujo básico para el agente de *Detección De Riesgos* con el fin de poder realizar un escenario relacionado con accidentes. También, fue necesario implementar otros *Proveedores De Servicio*, para poder utilizar habilidades requeridas por las actividades.

4.2. Tecnologías Utilizadas

Para definir las tecnologías a utilizar, se contó con dos restricciones principales. Por un lado, el framework de BESA fue implementado en JAVA8, por lo que era necesario utilizar JAVA para implementar el framework SocialRobotBesa y su instanciación en el cuidado de adultos mayores. Ahora bien, para mejorar el desempeño de la JVM y el rendimiento del sistema en general, se migró todo el framework de *BESA*, *RationalBesa* y *BDIBesa* a Java 17.

Por otro lado, para trabajar con el Robot Pepper, se podían utilizar múltiples tecnologías. Entre estas, estaban Python, C++ y ROS. Si bien, C++ podría mejorar la eficiencia del sistema del lado del robot y ROS podría beneficiar la arquitectura siguiendo una perspectiva basada en el patrón publicador suscriptor, estas SDKs no tienen soporte completo según la documentación [136]. Teniendo en cuenta lo anterior se trabajará con qiSDK[136] la cual requiere de Python 2.7. Este SDK provee integración con el API de C++ beneficiando el rendimiento del sistema, así como soporte completo.

En cuanto a tecnologías de base de datos, se seleccionó H2 [137]. Dado que el alcance del prototipo es corto y debe soportar interacción con un único usuario, una base de datos en memoria resulta ser suficiente. Además, H2 soporta operaciones concurrentes y en comparación con otras bases de datos como HSQLDB, Derby, PostgreSQL y MySQL posee un mejor rendimiento de acuerdo a la documentación [137].

Para conectar a BESA, con la base de datos H2 se utilizó JDBC. Además, para no implementar la capa de ORM, se utilizaron las funcionalidades del framework Spring [81]. El framework de Spring también da la oportunidad de extensión para la arquitectura, al facilitar componentes necesarios para construir arquitecturas de software basadas en capas según la tecnología RESTful APIs.

Por último, se seleccionó el servidor UPnP Gerbera[139] para almacenar y ofrecer los recursos multimedia necesarios para las actividades de musicoterapia y cuentaría. Este servidor había sido utilizado previamente para RES-PwA[92] al ser de los pocos servidores UPnP compatibles con Pepper.

En la Ilustración 5. Diagrama de Despliegue, se muestra el despliegue de los componentes principales del proyecto. Como se puede evidenciar, el framework de control SocialRobotBesa y las facilidades para manipular el robot se encuentran en el mismo nodo. Sin embargo, la arquitectura tiene el potencial ser distribuida tanto a nivel de los componentes mostrados en el diagrama, como a nivel de agente gracias a la función del Kernel de BESA.

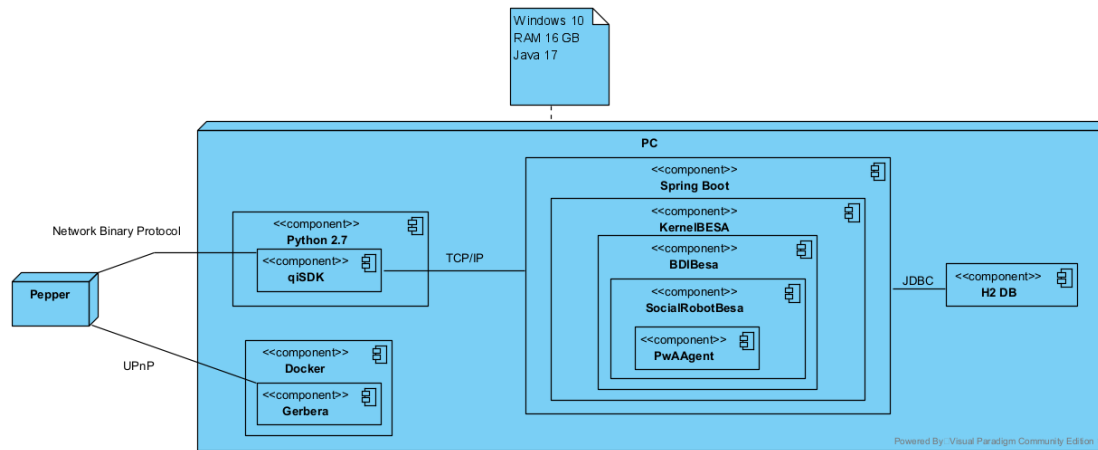


Ilustración 5. Diagrama de Despliegue

4.3. Integración al Robot Pepper

Se seleccionó al robot Pepper de SoftBank Robotics para ser utilizado en el prototipo. Pepper [140] es un robot de 120 centímetros de altura con forma humanoide. El robot fue diseñado para interactuar con personas al poseer características como: la detección de emociones en el habla y en el rostro del usuario; actuadores diseñados para expresar emociones a través del movimiento; y la implementación de tópicos para la interacción verbal estructurada con los usuarios.

Teniendo en cuenta las necesidades del contexto de cuidado de adultos mayores, quienes necesitan de soporte emocional y compañía, se considera al robot Pepper como un candidato excelente para el desarrollo requerido. Así mismo, el robot ha sido validado en múltiples instancias de robótica de asistencia social, como se presenta en varios trabajos [141]–[146]. Ahora bien, cabe resaltar que el robot que se encuentra en la PUJ presenta limitaciones en cuanto a la utilización de sensores como la cámara y el micrófono. Esto dificultó el proceso de interacción con el robot y fue necesario utilizar la metodología Mago de Oz [147] para validar la arquitectura al simular los eventos de voz, detección emocional y detección de riesgos.

Para integrar a Pepper a la arquitectura, se tuvo en cuenta el API de microservicios provista por qiSDK. Se desarrolló un componente en Python, basado en el trabajo de Leon et.al [92]. Este componente gestiona las peticiones de los agentes proveedores de servicio SocialRobotBesa y se suscribe a los eventos asíncronos enviados por Pepper. Estos eventos son enviados a los agentes *Proveedor De Servicio*, donde son traducidos y enviados a los agentes interesados. La especificación de los eventos utilizados se puede ver en el Anexo F en la sección de Anexos. Este anexo fue reutilizado del trabajo presentado por Leon et.al [92].

4.3.1. Agentes Proveedores de Servicio

La descripción y utilidad de los agentes proveedores de servicio utilizados para traducir e integrar la información provista por el Robot Pepper al sistema, se presenta en la Tabla 19. Agentes Proveedores de Servicio Caso Adultos Mayores.

Nombre	Descripción de Servicios Provistos
Interfaz	Provee el servicio de mensajería, utilizado para mostrar reportes, notificaciones y solicitar permisos al cuidador. Bajo el contexto del trabajo de grado, integra la terminal de comandos con eventos enviados por el agente de colaboración con humanos.
Estado del Robot	Facilita la utilización de los recursos del robot y permite su movimiento. Este proveedor, se encarga de enlazar las peticiones necesarias para que el robot pueda expresar emociones a partir de sus actuadores, mientras realiza acciones como desplazarse, mover sus brazos o cambiar sus luces LED.
Diálogo	Permite al agente de interacción la gestión del diálogo, facilitando el envío de preguntas y oraciones para que el robot diga al usuario. Así mismo, traduce los eventos relacionados con la conversación, como detectar palabras o una frase finalizada. Así mismo, este agente proveedor ofrece el servicio de análisis de sentimiento para las frases dichas por el usuario.
Percepción	Implementa la traducción para los eventos relacionados a los sensores del robot. Bajo el alcance del prototipo se incluye únicamente la función de análisis de emociones a partir del rostro del adulto mayor.

Tabla 19. Agentes Proveedores de Servicio Caso Adultos Mayores

Especificación de la Trama

Para conectar a los agentes *Proveedor De Servicio* con el módulo de qiSDK, se utilizó el protocolo TCP/IP. Cabe resaltar que este protocolo se implementó en este caso específico de aplicación, sin embargo cada agente proveedor de servicio puede implementar el protocolo que requiera según el robot o la tecnología a utilizar.

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 y un mensaje de respuesta del servicio. Cabe resaltar que estos JSON son construidos e interpretados por los adaptadores implementado en cada proveedor de servicios, lo que brinda la flexibilidad suficiente para agregar nuevos robots y/o modificar el estándar de comunicación al agregar un nuevo módulo.

Interfaz del Cuidador

Haciendo uso del agente *Proveedor de Servicio Interfaz*, se implementó un menú basado en texto para que el cuidador pudiera modificar la activación de las metas, las metas latentes, gestionar permisos solicitados por el Gestor de Autonomía, ver reportes de medicamentos y consultar las creencias del robot.

4.4. Aplicación de SocialRobotBesa al Cuidado del Adulto Mayor

En la Ilustración 6. Aplicación SocialRobotBesa, se expone una vista general de lo implementado para el prototipo. Cabe recordar que lo implementado se seleccionó a partir de la priorización

realizada en la Tabla 18. Evaluación de Componentes. Posteriormente, algunos de los componentes implementados se mostrarán con mayor detalle. Es importante resaltar que solo se ahondará en detalles específicos de algunos agentes que presentan funcionalidades diferentes a las mencionadas en la arquitectura.

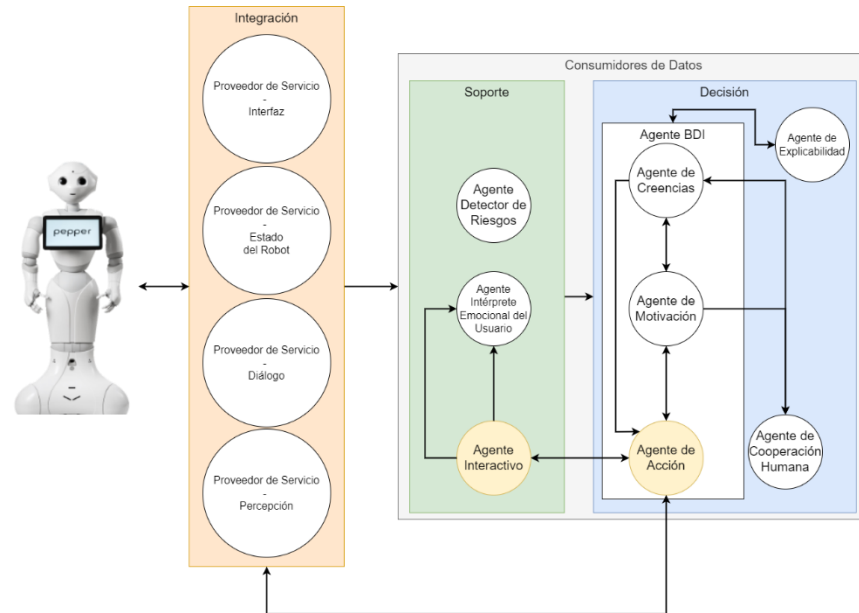


Ilustración 6. Aplicación SocialRobotBesa acaso Adultos Mayores

4.4.1. Agente Interprete Emocional del Usuario

Para la implementación del agente *Interprete Emocional Del Usuario*, se tomó como referencia la implementación del agente de fusión propuesto por Alcalá [2]. En el contexto de su trabajo de grado, el agente de fusión recibe eventos modales por parte de los agentes modales, quienes implementan modelos de inteligencia artificial para detectar las emociones del usuario a partir de su expresión facial, su disposición corporal, sus signos vitales y su voz.

El agente *Interprete Emocional Del Usuario* toma la valencia de los eventos emocionales recibidos por los agentes modales y los almacena. Posteriormente, el agente toma el valor de la valencia y lo multiplica con el valor de la confiabilidad de la lectura. Por último, el agente *Interprete Emocional Del Usuario*, promedia las valencias por cada emoción según el resultado de cada agente y notifica un evento de reconocimiento al agente de *Motivación*, con las emociones que estén por encima de un umbral fijo. El evento de reconocimiento incluye la emoción y la valencia ponderada. En el caso de SocialRobotBesa, los agentes modales corresponden a los agentes *Proveedor De Servicio*, dado que qiSDK implementa mecanismos de inteligencia artificial ya probados para la detección de emociones a partir del rostro y a partir de la expresión verbal.

4.4.2. Agente de Creencias

Respecto a la agente de *Creencias*, en la Ilustración 7. Creencias Caso Adultos Mayores se muestran las creencias específicas utilizadas para cada actividad, así como características propias del contexto de cuidado de adultos mayores añadidas al perfil del usuario.



Ilustración 7. Creencias Caso Adultos Mayores

En este caso, como información médica se tuvo en cuenta si el paciente estaba enfermo, su nivel de Alzheimer en la escala FAST y características como si presentaba sordera o ceguera. En cuanto la información social, se tuvo en consideración su nombre completo, su sobre nombre preferido y la información de contacto de su cuidador. Respecto a la información de preferencias, se tuvo en cuenta el gusto del usuario por los cuentos y la música disponibles en el robot. Además, se consideró la preferencia del usuario por cada servicio provisto por el sistema.

Componente de Expresión Emocional

Para el contexto de este trabajo de grado y teniendo en cuenta la experiencia del proyecto RES-PwA [92], solo se tuvo en cuenta el eje emocional Felicidad – Tristeza. Los eventos emocionales de la interacción fueron generados por el agente *Interprete Emocional del Usuario* y además se incluyeron eventos emocionales internos, los cuales responden a la necesidad de interpretar el cuento en el caso de la actividad de cuentaría. Los eventos de interacción más importantes se presentan en la Tabla 20. Eventos Emocionales en el cuidado de adultos mayores.

Evento Emocional	Descripción
El robot alegra al adulto mayor	Evento positivo que ocurre cuando el robot genera felicidad en el paciente
El robot entristece al adulto mayor	Evento negativo que ocurre cuando el robot genera malestar en el paciente
El robot calmó al adulto mayor	Evento positivo que ocurre cuando el robot genera calma en el paciente
El robot no tiene la atención del adulto mayor	Evento negativo que ocurre cuando el robot pierde la atención del paciente durante la actividad.

Tabla 20. Eventos Emocionales en el cuidado de adultos mayores

4.4.3. Agente de Motivación

En cuanto al agente de *Motivación*, se definieron 3 tipos de metas. Cada meta corresponde a una necesidad diferente desprendida del objetivo general del sistema “Generar bienestar al usuario en ambientes de imprevisibilidad”. En primer lugar, se tienen las metas tradicionales, las cuales corresponden a las metas presentadas en el trabajo de Gonzalez et.al [128]. En segundo lugar, se crean las metas de servicio, las cuales además de tener lo que tienen las metas tradicionales, tienen un contexto

de servicio asociado con la información necesaria para llevar a cabo el servicio exitosamente. Por último, se tienen las metas latentes las cuales solo tienen función de activación y contribución y pueden influir en la toma de decisiones del agente. Estas metas se presentan más adelante.

Actividades Implementadas

Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica, en específico las áreas del bienestar propuestas por Sallichs et.al[56] y las visitas realizadas en los geriátricos, se seleccionaron las actividades *de Momento Espiritual* y *Apoyo en Medicamentos*. Respecto a la actividad de *Momento Espiritual*, esta corresponde al eje espiritual, definido en la sección 2.1.2 Interacción Humano Robot del documento. Por otro lado, la actividad *Apoyo en Medicamentos*, pertenece al eje de asistencia. Así mismo, del proyecto RES-PwA[92] se reutilizaron las actividades de *Cuentería* y *Musicoterapia* perteneciente al área de entretenimiento.

La actividad de *Apoyo en Medicamentos* fue seleccionada debido a su alto nivel de responsabilidad y a su alta criticidad, ya que sugerir al paciente que tome sus medicamentos de manera incorrecta puede ocasionar un problema médico grave. Esta actividad permite demostrar las habilidades del manejo de la autonomía de la arquitectura con relación al framework provisto por Beer et.al[42] y expandido a robots de asistencia social por Elbeidí[99]. Esta actividad tiene inicio cuando él llega la hora de los medicamentos. Posteriormente el robot le indica al paciente que llegó la hora de tomar sus medicamentos y le lista las dosis. Finalmente, el robot espera a que el paciente le confirme si se tomó los medicamentos y le notifica al cuidador la respuesta.

Por otro lado, la actividad de *Momento Espiritual* permite validar el nuevo eje espiritual propuesto para el cuidado de adultos mayores. Como se mencionó previamente, la espiritualidad parece ser una dimensión importante para el bienestar de los adultos mayores en Colombia. De acuerdo con los cuidadores del Hogar Gerontológico Cedros y Sauces, los adultos mayores sienten calma y felicidad al realizar este tipo de actividades. Durante esta actividad, el robot le propondrá al usuario una corta oración o un versículo bíblico. Una vez el paciente ha decidido lo que quiere hacer, el robot inicia la narración. Cuando finaliza, el robot le pregunta al usuario si le gustó.

Respecto a la actividad de *Musicoterapia*, esta fue seleccionada por su capacidad para mejorar el estado de ánimo del adulto mayor al reducir niveles de agitación y comportamiento agresivo en adultos mayores [148], así como, mejorar moderadamente síntomas de depresión [149]. En el contexto de este trabajo de grado, es importante dado que el adulto mayor puede realizar actividad física como la danza durante la progresión de la actividad. De esta manera, el adulto mayor podría caerse o sufrir algún percance de salud durante la actividad a lo cual la arquitectura debe responder oportunamente. Durante la *Musicoterapia*, el robot propondrá cantar una canción conjunto al usuario. Cabe resaltar que la selección de la canción se realizará a partir del perfil del usuario. Cuando finalice la música, el robot le preguntará al usuario su opinión sobre la actividad y actualizará los gustos del perfil.

En cuanto a la actividad de *Cuentería*, esta fue implementada para demostrar la expresividad emocional de la arquitectura, la capacidad de personalización de la misma así como la adaptabilidad a partir de las emociones del usuario y su gusto por la actividad. Así mismo, esta actividad fue seleccionada como una de las actividades que genera mayor bienestar en el ambiente de entretenimiento según Leon et.al[92]. Durante la actividad, el robot narra un cuento línea por línea y va actuando a medida que esto sucede. Adicionalmente, se implementó una meta de soporte llamada *Soporte de Cuentería*, la cual será utilizada para demostrar el potencial del sistema para responder a cambios en el estado cognitivo del usuario. Cuando esta meta se activa, el robot preguntará sobre el cuento al usuario.

Teniendo en cuenta las actividades seleccionadas, en la Ilustración 8. Metas Implementadas en el contexto de cuidado de Adultos Mayores, se presentan todas las metas del sistema.

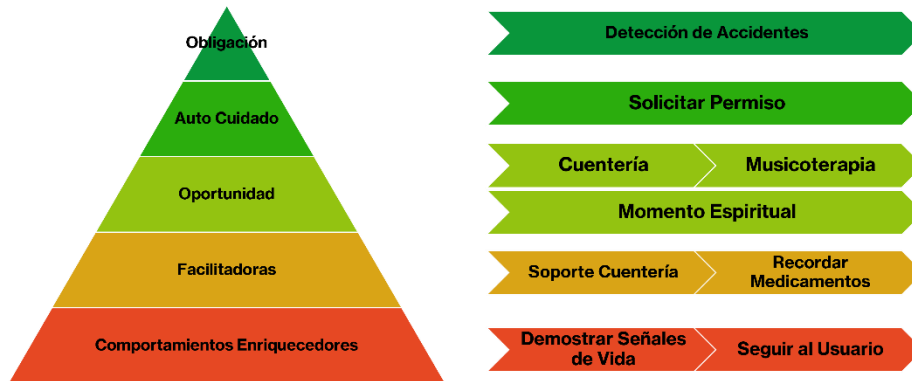


Ilustración 8. Metas Implementadas en el contexto de cuidado de Adultos Mayores

Como se puede evidenciar, la meta con mayor prioridad es la meta *Responder a Emergencia*, la cual se encarga de reportar al cuidador en caso de que ocurra un accidente y de brindar soporte emocional al usuario al mientras llega el cuidador. Por otro lado, está la meta *Pedir Permiso*. Esta hace parte de la arquitectura de SocialRobotBesa y se activa cuando es necesario solicitar un permiso para ejecutar un servicio.

En lo que respecta a las metas de oportunidad, se tiene la meta *Recordar Medicamento*, *Cuentaría*, *Apoyo Cuentaría*, *Musicoterapia* y *Momento Espiritual*. Estas metas son metas de servicio, por lo que tienen creencias específicas para su funcionamiento. En este caso particular, las metas de *Cuentaría* y *Apoyar Cuentaría* comparten el mismo contexto de servicio. Esto se debe a que *Apoyar Cuentaría* es una meta que busca apoyar la narración del cuento dadas unas condiciones específicas de la interacción.

Por último, se tienen las metas de comportamientos *life-like*. En este caso la meta *Demostrar Señales de Vida* fue implementada. Esta meta solo realiza movimientos y sonidos espontáneos cuando el robot no se encuentra haciendo nada.

Adicionalmente las funciones de contribución y de activación de la meta se presentan en la Tabla 21. Funciones de Activación y Contribución Caso Adultos Mayores. Cabe resaltar que la función de activación hace referencia a si una meta debe ser considerando en la deliberación o no si su valor de activación es mayor a un umbral específico. En el caso de la función de contribución, esta indica con un valor entre 0 y 1 que tanto contribuye la meta al objetivo general del agente BDI. En el caso de *Musicoterapia* y *cuentaría*, las funciones de activación y contribución fueron definidas en el trabajo de Leon et.al [92].

Meta	Función de Activación	Función de Contribución
Responder a Emergencia	Se activa si el agente <i>Detector de Riesgos</i> detecta un accidente.	Su contribución siempre es de 1, ya que debe realizarse siempre que este activa.
Pedir Permiso	Se activa si el agente de <i>Motivación</i> reconoce que una meta requiere de pedir permiso.	Su contribución siempre es de 1, ya que debe realizarse siempre que este activa.
Recordar Medicamentos	Se activa si se aproxima la hora de los medicamentos por al menos 5 minutos.	Su contribución siempre es de 1, ya que debe realizarse siempre que este activa.

Cuentería	Se activa cuando las emociones del usuario se relacionan con la tristeza	Su contribución depende de la valencia de la emoción tristeza y del gusto del usuario por la actividad.
Musicoterapia	Se activa cuando las emociones del usuario se relacionan con la ansiedad	Su contribución depende de la valencia de la emoción ansiedad y del gusto del usuario por la actividad.
Momento Es- piritual	Se activa si el paciente no es ateo y es una persona espiritual.	Su contribución depende del nivel de espiritualidad de la persona y de la última vez que se realizó una actividad espiritual.
Apoyo A Cuentería	Se activa si el apoyo es requerido por la meta de Cuentería.	Su contribución siempre es de 1, ya que debe realizarse siempre que este activa.

Tabla 21. Funciones de Activación y Contribución Caso Adultos Mayores

Roles de Interacción y Metas Latentes

Para las metas latentes, se creó la meta latente *MusicoTerapiaEsMejor*. Esta meta latente, busca que la *Musicoterapia* sea el servicio por excelencia para el usuario. En el caso de esta implementación, será utilizada para simular una política impuesta por el cuidador para el bienestar del paciente.

Para lograr la aplicación de la política, se utilizó un sistema basado en arboles donde cada nodo es una meta latente y las hojas del árbol son metas BDI. Cada arista del árbol representa un peso, que al ser multiplicado por la contribución de la meta latente, determina el incremento porcentual de la contribución de las metas normales. Para calcular el incremento porcentual de una meta BDI m , se calcula la sumatoria del producto entre el peso de cada meta latente asociada i y su respectiva contribución (c_i). El cálculo de la contribución de la meta BDI m (c'_m) a partir de su contribución original (c_m) y el incremento porcentual se muestra a continuación:

$$c'_m = c_m * (1 + \sum_{i=1}^n p_{i,m} * c_i)$$

Este cambio en la contribución de una meta BDI, por parte de la meta latente, solo se da cuando la meta latente relacionada esta activa. La configuración para este caso particular se muestra en la Ilustración 9. Metas Latentes. Cabe resaltar que la meta latente se muestra en un romboide. Además, la contribución de cada meta se muestra entre paréntesis. Para el caso de las metas de servicio, se muestra su contribución original y luego la contribución después de aplicar la meta latente.

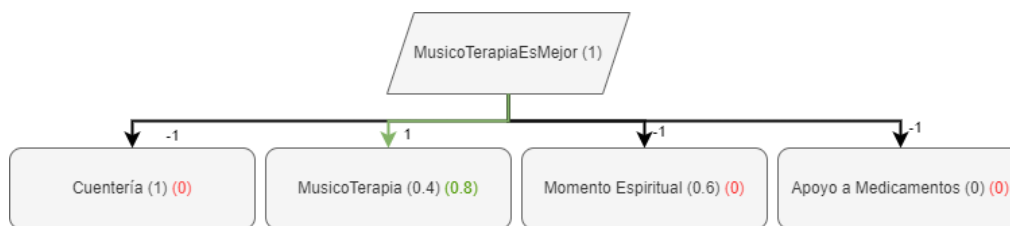


Ilustración 9. Metas Latentes

En este ejemplo, la meta latente aumenta la contribución de la meta de servicio *Musicoterapia*, al tener un peso de 1 y una activación de 1, lo que implica un aumento porcentual del 100%. En contraste, para las demás metas, al tener un peso de -1, implica una reducción del 100%. De esta manera, cuando la meta de *Musicoterapia* esté activa se impondrá sobre las demás metas así la preferencia del paciente sea *Cuentería*, *Momento Espiritual* o incluso si llega la hora de los medicamentos.

En el caso de los roles de interacción, estos pueden afectar: el estado de activación de una meta, los pesos del árbol de metas latentes e incluso la personalidad del robot. Los roles de interacción pueden ser aplicados por el cuidador o por una meta. En este caso, se definió el rol *Apoyar Cuentaría* para afectar el estado de activación de la meta *Apoyar Cuentaría*. Este rol de interacción es aplicado por la meta *Cuentaría*, cuando la atención del paciente es menor a 0.5. De esta manera, el sistema se adapta a las necesidades de la interacción para reducir la imprevisibilidad, al recuperar la interacción del usuario. Por último, cabe destacar que la implementación de los roles de interacción y las metas latentes fue realizada en la base de código *BDIBesa*. Esto se debe a que es en este framework donde se introduce el concepto de metas.

Gestor de Autonomía

Como se mencionó en la sección Agente de Motivación, el gestor de autonomía tiene como objetivo determinar el nivel de autonomía del robot cuando una meta se vuelve intención. Para implementar el gestor de autonomía, se tuvieron en cuenta los atributos de criticidad y responsabilidad en cada meta siguiendo el framework de Beer et.al[42]. En el alcance de este trabajo de grado, el desarrollador puede alterar los valores de criticabilidad y responsabilidad asociados a una meta. En materia de complejidad del ambiente, se asumió que siempre iba a ser alta dada la naturaleza de la interacción. Cabe resaltar que se espera que más adelante la modificación de estas variables pueda ser realizado por los cuidadores mediante una interfaz gráfica.

Dado que el manejo de la imprevisibilidad y la explicabilidad son factores de vital importancia en este proyecto, se decidió utilizar un sistema de lógica difusa para determinar la autonomía del robot bajo una meta específica. Como menciona Kacprzyk[150], los sistemas de lógica difusa facilitan la representación del conocimiento al modelar interacciones entre diferentes variables. Al utilizar un sistema de reglas difusas, es posible capturar y manejar la imprevisibilidad del conocimiento propuesto por Beer et.al[42] en su framework.

Además, este tipo de sistema es modular y fácil de adaptar a contextos de aplicación de SARs, en caso de querer añadir más variables al gestor de autonomía. Así mismo, se podría aplicar un sistema de reglas jerárquicas difusas para determinar el nivel de autonomía del robot, teniendo en cuenta sus recursos y las funciones de activación, contribución y legalidad propuestas por Alejandra Gonzalez[128]. Cabe resaltar que todas las metas a excepción de *Recordar Medicamentos* tuvieron una criticidad de 0 y una responsabilidad de 0. Esto se debe a que no son actividades que generen un daño en caso de fallar. Por el contrario, *Recordar Medicamentos* tuvo una criticidad de 1 y una responsabilidad de 1, dado que en caso de decir mal los medicamentos el paciente podría sufrir percances en su salud y el responsable de esto sería el cuidador.

Para este sistema de reglas difusas, se utilizó la librería JFuzzyLogic[151] y se implementaron funciones de membresía triangulares para ambas variables, como se muestra en la Ilustración 10. Funciones de Membresía Autonomía. Esto se debe a que las funciones de membresía triangulares requieren menor tiempo de procesamiento y podrían apoyar al atributo de tiempo real que busca la arquitectura. Cabe denotar que este sistema de reglas se delimitó de manera *adhoc* para demostrar la

funcionalidad del sistema, más investigación es requerida para establecer valores y funciones de membresía pertinentes.

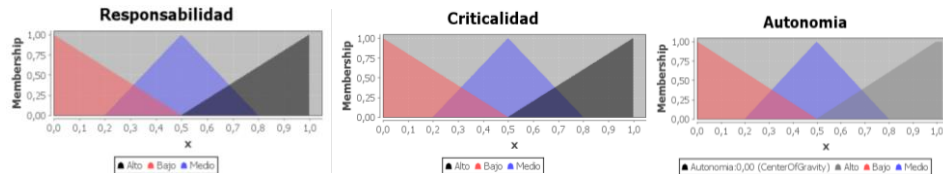


Ilustración 10. Funciones de Membresía Autonomía

Así mismo, como método de *defuzzificación* se utilizó el centro de gravedad, dado que es el método comúnmente utilizado en aplicaciones de reglas difusas según Bai et.al [152]. Las reglas del gestor de autonomía se presentan en la Tabla 22. Reglas para el Gestor de Autonomía.

		Criticalidad		
		Valores	Alto	Medio
Responsabilidad	Alto	Bajo	Bajo	Medio
	Medio	Bajo	Medio	Medio
	Bajo	Medio	Medio	Alto

Tabla 22. Reglas para el Gestor de Autonomía

Es importante resaltar que entre más cercano este el valor de autonomía a 1, más alta será la autonomía del robot. Para este trabajo de grado, se consideraron que los valores de autonomía mayores a 0.75 no requerían de pedir permiso al usuario. En contraste, si el valor es menor a 0.75 el sistema solicitará al cuidador una autorización haciendo uso de la terminal de comandos.

Es necesario especificar que el Gestor de Metas fue un aporte realizado al framework *BDIBesa*, ya que es donde se seleccionan las metas que deben ser intenciones. La petición de permisos realizada por el sistema, si fue implementada en el framework de *SocialRobotBesa*.

Desempeño en Actividades

Similarmente, para retroalimentar las actividades y adaptar el gusto del usuario en cuenta a preferencias musicales o de contenido se utilizó un sistema de reglas difusas con funciones de membresía triangulares y método de *defuzzificación* centro de gravedad. Este modelo de retroalimentación fue implementado en *PwAAgent*, el sistema multiagentes generado a partir de la aplicación de *SocialRobotBesa* al cuidado de ancianos.

Para el cálculo del valor de retroalimentación, se tuvieron en cuenta dos aspectos. El aspecto de retroalimentación activa: la opinión verbal del usuario después de terminar una actividad como musicoterapia o cuentaría; y la retroalimentación pasiva: el estado emocional promedio del usuario. Las funciones de membresía utilizadas se muestran en la Ilustración 11. Funciones de Membresía Desempeño Servicio.

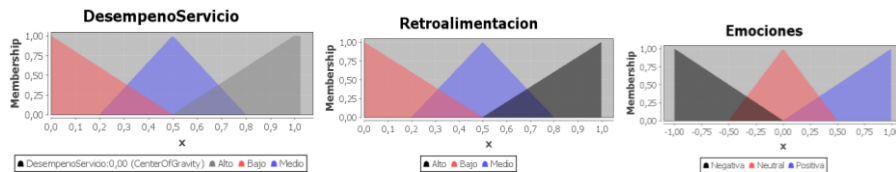


Ilustración 11. Funciones de Membresía Desempeño Servicio

Cuando una meta de servicio retroalimentable es finalizada, la tarea de retroalimentación se activa. Esta tarea realizará una serie de preguntas al usuario, pidiendo su opinión de 1 a 5. Una vez finalizadas las preguntas, el sistema calcula el promedio de valencia emocional del usuario entre -1 y 1. Así mismo, se realiza un promedio de las opiniones del usuario sobre la actividad. Teniendo en cuenta lo anterior, se implementa un sistema de reglas difusas como se presenta en la Tabla 23. Reglas para la Retroalimentación.

Emociones	Retroalimentación			
	Valores	Alto	Medio	Bajo
	Positiva	Alto	Alto	Medio
	Neutral	Alto	Medio	Bajo
	Negativa	Medio	Bajo	Bajo

Tabla 23. Reglas para la Retroalimentación

Si el valor del desempeño del servicio es un valor menor a 0.5 entonces se reduce porcentualmente el gusto para el servicio y por los elementos involucrados en este. En contraste, si el valor es mayor, el gusto se aumenta porcentualmente.

4.4.4. Agente de Acción

Respecto al agente de acción, se tuvieron en cuenta dos componentes: el modulador de acciones y el ejecutor de acciones. Cabe recordar que el modulador de acciones tiene como función enriquecer las primitivas del sistema. En total, se implementaron 10 acciones sencillas con una única primitiva, las cuales se resumen en la Tabla 24. Acciones del sistema. Además, las primitivas utilizadas se muestran en la Tabla 25. Primitivas del sistema.

Acción	Descripción de la Acción	Primitiva Robot
talk	el robot debe decir algo	say
showImage	El robot debe mostrar una imagen	showImg
hideImage	El robot debe ocultar la imagen	hideImage
showVideo	El robot debe mostrar un video	showVideo
pauseVideo	El robot debe pausar el video	pauseVideo
sendMessage	El sistema debe enviar un mensaje	sendMessage
quitVideo	El robot debe quitar el video	quitVideo
runAnimation	El robot debe realizar una animación	runAnimation
actStory	El robot debe realizar una animación con rangos de velocidad diferentes para el servicio de cuentería	runAnimation
stopAnimation	El robot debe detener su movimiento	stopAnimation

Tabla 24. Acciones del sistema

Primitiva	Parámetros	Parámetros Adicionales
say	texto	color de leds, intensidad de los leds, tono del habla, velocidad del habla, volumen
showImg	url de la imagen	NA
hideImg	url de la imagen	NA
showVideo	url del video	NA
pauseVideo	url del video	NA

sendMessage	contenido del mensaje	NA
quitVideo	url del video	NA
runAnimation	animación	velocidad, color de los leds, intensidad de los leds
stopAnimation	animación	NA

Tabla 25. Primitivas del sistema

Una vez definidas las acciones y sus primitivas, se presenta un ejemplo de enriquecimiento para los parámetros de la primitiva “say” de la acción “talk” en la Tabla 26. Ejemplo Parámetros de Enriquecimiento Primitiva Say. Cabe resaltar que los parámetros emocionales fueron calculados probando directamente con el robot y además normalizados a partir del valor del eje emocional [-1,1] teniendo en cuenta límite del sistema operativo QI[153].

Parámetro	Emoción	Descripción
Color de los LEDs	Felicidad	De 0.6 a 0.2: Amarillo Claro , De 1 a 0.6: Amarillo .
	Neutral	De 0.2 a -0.2: Blanco.
	Tristeza	De -0.2 a -0.6: Azul Claro , De -0.6 a -1: Azul.
Intensidad de los LEDs	Felicidad	Valor normalizado entre 1 y 0.7.
	Tristeza	Valor normalizado entre 0.5 y 0.3.
Tono del Habla	Felicidad	Valor normalizado entre 1.35 y 1.3.
	Tristeza	Valor normalizado entre 1.15 y 1.2.
Velocidad del Habla	Felicidad	Valor normalizado entre 1 y 0.95.
	Tristeza	Valor normalizado entre 0.85 y 0.7.
Volumen del Habla	NA	Valor tomado del perfil del usuario

Tabla 26. Ejemplo Parámetros de Enriquecimiento Primitiva Say

4.4.5. Agentes de Decisión Secundarios

Para el agente de *Explicabilidad*, se implementó un proceso adicional para capturar la información de la deliberación del agente de *Motivación* en el framework *BDIBesa*. Así mismo, se implementó una forma generalizada de obtener la información de las creencias del agente en el framework *Ratio-nalBesa*. Para explicar la toma de decisiones, se adaptó el algoritmo presentado en el trabajo de Harbers et.al [111].

Por otro lado, se hizo una aproximación inicial al agente *Interactivo* el cual se encargó de gestionar las conversaciones, los eventos de voz y los eventos asociados con el modelo voz a texto del robot. Esto fue esencial para coordinar cuando el robot podía continuar hablando durante metas como *Cuentería* y *Momento Espiritual*.

4.5. Estado Actual de Social Robot BESA

Habiendo diseñado e implementado parcialmente la arquitectura Social Robot Besa, es necesario establecer el estado actual de la arquitectura. En primer lugar, se implementaron los agentes: *Interprete Emocional del Usuario*, *Explicabilidad*, *Creencias*, *Motivación*, *Acción* y *Proveedor de Servicio*. Bajo este contexto aun es necesario implementar el patrón publicador suscriptor en el agente de *Creencias* para aumentar la reactividad del sistema. Para esto, se podría reutilizar la tecnología provista por los agentes proveedores de servicio. Por otro lado, en el agente *Motivación*, aún es necesario implementar el mecanismo RETE para la indexación de metas y la reducción del tiempo de su evaluación. Además, es necesario implementar el Timer de Servicios, cuya función ya ha sido delimitada en el Anexo B.

En segundo lugar, se muestra la Tabla 27. Agentes Parcialmente Implementados, donde se determinan los agentes implementados parcialmente y como se debe continuar el trabajo.

Agente	Estado	Recomendaciones
Detector de Riesgos	Flujo de detección de accidentes realizado. Se requiere profundizar en la identificación de actividades, accidentes y hábitos incluyendo modelos de inteligencia artificial.	Respecto a la detección de hábitos, es posible adaptar el trabajo de Agreda [154]. En cuanto a la detección de actividades y accidentes, se requerirá de implementar módulos especializados para su detección.
Interactivo	Flujo básico relacionado al manejo de eventos verbales implementado. Aún falta la integración con un modelo de lenguaje natural, así como el procesamiento contextual de eventos táctiles y la gestión de múltiples conversaciones.	Para el agente interactivo, es necesario implementar, adaptar o integrar un LLM (<i>Large Language Model</i>), sin afectar la capacidad de respuesta del sistema. Para esto, sería pertinente considerar la API de Chat-GPT [155] y gestionar los contextos de manera dinámica según la interacción.
Cooperación Humana	Envío de reportes y alertas implementado. Ahora bien, es necesario implementar la gestión de la imprevisibilidad durante la coordinación de actividades. Así mismo, se debe analizar cómo manejar la personalización verbal con los terceros relacionados al cuidado del usuario y su autenticación.	Para gestionar la imprevisibilidad en la cooperación humano robot, podría ser útil revisar trabajos como [7], [116], [117], [120]. Además, se podrían asociar los protocolos de coordinación al rol interactivo del robot bajo un marco de interacción específico. En cuanto a los procesos de validación, podría ser pertinente construir un módulo web para el acceso a datos y utilizar biometría para detectar el rostro del cuidador/profesor durante la interacción.

Tabla 27. Agentes Parcialmente Implementados

Por último, se muestra la Tabla 28. Agentes por Implementar. En esta tabla se detallan brevemente los agentes diseñados pero no implementados y unas recomendaciones generales para su posterior implementación.

Agente	Recomendaciones
Aprendizaje	Es necesario implementar el aprendizaje por refuerzo no intrusivo diseñado y especificado en el documento de diseño (Anexo B). Así mismo, se debe ahondar la implementación de metas de aprendizaje orientadas al aprendizaje por demostración como se menciona en el estado del arte. Para esto, podría ser pertinente implementar

	<p>modelos de procesamiento de imágenes o simulaciones que le permitan al controlador abstraer políticas comportamentales para mejorar la interacción con el usuario. Así mismo, se podría ahondar en el aprendizaje basado en datos, el cual requerirá de utilizar al agente de cooperación para intercambiar información relacionada a las habilidades de otro agente en el ambiente.</p>
Detector de Riesgos Éticos	<p>Si bien las interacciones de esta agente han sido definidas, aún se debe profundizar en la implementación de modelos inteligentes para identificar la ocurrencia de riesgos éticos. Estos podrían estar basados en reglas o en modelos mas complejos de IA.</p> <p>Por otro lado, es necesario determinar los protocolos de mitigación. En este momento, es posible utilizar los roles de interacción para cambiar la modulación de la personalidad del robot. Sin embargo, es necesario implementar metas de mitigación.</p>
Cooperación	<p>Respecto a este agente, las interacciones han sido definidas y profundizadas en trabajos como el de Bravo [1]. Es pertinente retomar aspectos de ese trabajo doctoral y adaptarlos al contexto de robótica de asistencia social. Es posible utilizar protocolos de cooperación basada en ayuda o coordinación e integrarlos en este agente.</p>

Tabla 28. Agentes por Implementar

5. VALIDACION DEL PROTOTIPO

En este capítulo, se expone el proceso de creación de los instrumentos utilizados para recopilar las opiniones de expertos en gerontología, cuidadores y usuarios, acorde con la tercera fase de desarrollo propuesta en Validación de la Arquitectura. De igual manera, se presentan los resultados del proceso de validación y su análisis.

5.1. Definición de la Metodología

Una vez implementado el prototipo, se realizó la validación de las capacidades de la arquitectura en el contexto del cuidado del adulto mayor. Para esto, se empleó la metodología Almere[6], un framework basado en TAM, adaptado y validado para la robótica en adultos mayores. Se consideró esta metodología por encima de TAM tradicional, dado que esta validada en robótica para adultos mayores y mide criterios adicionales a la utilidad percibida, como lo son: la adaptabilidad, la presencia social del robot, su sociabilidad percibida, la confianza generada y la facilidad de uso.

Así mismo, siguiendo los lineamientos de Jost et.al [156] para pruebas de escenarios a corto plazo con robots, se utilizó un cuestionario que muestre funcionalidades asistidas a grupos de usuarios primarios, secundarios y terciarios. El formulario fue empleado para capturar información en una etapa temprana del desarrollo de la arquitectura. Como las pruebas con adultos mayores estaban en proceso, se utilizó un actor para grabar los escenarios con el robot Pepper. Además, para evidenciar la participación del cuidador en los escenarios, se añadieron tomas de la terminal de comandos del cuidador para la gestión de la explicabilidad y de las metas latentes del sistema.

Para la validación del prototipo, se tomó como muestra de estudio a 3 poblaciones de evaluadores: los expertos médicos, los cuidadores y los adultos mayores. Esta muestra es no probabilista por conveniencia, dado que la opinión de los usuarios primarios, secundarios y terciarios se hace conveniente. Como objetivo se busca evaluar la utilidad percibida de los cuidadores, los adultos mayores y los expertos médicos, así como su opinión sobre la capacidad de la arquitectura para generar bienestar al paciente en ambientes de alta imprevisibilidad. Adicionalmente, para los expertos, se realizarán preguntas relacionadas con las características de la arquitectura bajo el marco de cada escenario.

5.1.1. Especificación de los Escenarios

Con la ayuda de la Dra. Claudia Giraldo, se definieron 5 escenarios donde se puede ver el potencial de la arquitectura para manejar la imprevisibilidad de la interacción humano robot y del ambiente.

En el primer escenario, se buscó medir la explicabilidad y la capacidad del sistema de tomar decisiones teniendo en cuenta criterios de cuidado del cuidador. En este escenario, el paciente prefiere un Momento Espiritual sobre musicoterapia. Sin embargo, por motivos médicos, el cuidador ha configurado el sistema para que seleccione musicoterapia sobre Momento Espiritual. Durante la interacción, el robot realiza una musicoterapia con el usuario. En cualquier momento, el cuidador puede revisar el razonamiento del robot y por qué seleccionó musicoterapia. Una vez el servicio de musicoterapia ha avanzado, el cuidador desactiva la configuración y el robot interrumpe musicoterapia para favorecer Momento Espiritual.

En el segundo escenario, se quiso medir la capacidad de la arquitectura de gestionar la imprevisibilidad resultante de la toma de decisiones, específicamente en su autonomía. Para esto, el cuidador ha configurado previamente la hora de tomar medicamentos del adulto mayor. Durante la interacción el robot realiza musicoterapia con el usuario. A medida que pasa el tiempo, la hora de los medicamentos llega y el robot se da cuenta que es una actividad alta en criticidad y en responsabilidad. Por lo tanto, el sistema solicita un permiso al cuidador. Por un lado, Si el cuidador responde no, el robot selecciona

otra meta a realizar. Por otro lado, si el cuidador responde si, el robot interrumpe musicoterapia. Una vez el cuidador ha autorizado el servicio de Recordar Medicamentos, el robot le informa al paciente que dosis de medicamentos debe tomarse. Posteriormente, el robot espera a que el usuario le confirme si se ha tomado o no sus medicamentos. Cuando el sistema recibe la confirmación, le informa al cuidador si el paciente se tomó los medicamentos o no y se reanuda la actividad de musicoterapia.

Para el tercer escenario, se buscó medir la habilidad de personalización del robot y su habilidad de enriquecer la interacción. Con esto en mente, el robot realiza la actividad de cuentería con el usuario. Durante la narración, el robot demuestra enriquecimiento emocional de cada línea del cuento actuándolo, demostrando emociones con sus luces y voz. Así mismo, el sistema captura la información emocional del usuario durante el cuento para ver si le gusta la actividad o no. Cuando finaliza el cuento, el robot pide la retroalimentación del usuario para ajustar sus gustos.

Respecto al cuarto escenario, se deseó evaluar la adaptabilidad del robot al manejar la imprevisibilidad relacionada con la fluctuación de atención del paciente durante el servicio de cuentería. Durante la narración del cuento, el sistema estará pendiente de la atención del usuario. Si esta disminuía, el sistema aplica un rol para recuperar la atención del paciente. Esto significa que cada cierto tiempo, el robot le preguntará al paciente sobre el cuento hasta que recupere su atención.

Por último, en el quinto escenario se buscó evaluar las capacidades de la arquitectura para responder de manera oportuna a emergencias y adaptarse a una situación imprevista. Inicialmente, el robot está haciendo musicoterapia y el adulto mayor está bailando. Con el paso del tiempo, el adulto mayor dice que se siente mal y no puede seguir. El sistema detecta el incidente y notifica al cuidador de lo sucedido. Mientras el cuidador llega, el robot brinda soporte emocional al adulto mayor. Finalmente, usando el cuidador llega, le notifica al robot que ya ha llegado y este detiene el soporte emocional.

5.1.2. Construcción del Instrumento

Durante la evaluación, se quiso evaluar 5 constructos: la autonomía, la personalización, la gestión de la imprevisibilidad, la empatía y la seguridad percibida. Al construir el formulario se tuvo en cuenta que cada pregunta estuviese relacionada con al menos una característica a evaluar. Adicionalmente, se agregaron preguntas abiertas cuyo objetivo fue el de capturar información cualitativa sobre el desempeño de la arquitectura y recibir posibles sugerencias de mejora.

En general, para los 3 formularios se incluyó una breve introducción del proyecto, explicando el objetivo del proyecto y del formulario, así como los escenarios que se encontrarían más adelante. Todas las preguntas cerradas se evaluaron utilizando la escala Likert como propone la metodología Almere [6], siguiendo la escala presentada en la Tabla 29. Escala Likert para validación.

Totalmente de acuerdo	Un poco de acuerdo	Neutral	Un poco en desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
5	4	3	2	1

Tabla 29. Escala Likert para validación

A continuación, se presenta una breve descripción de cada formulario. Si desea ver las preguntas detalladamente y su relación con cada aspecto de evaluación remítase al anexo C en la sección de Anexos. Cabe mencionar que los videos y las preguntas fueron agregados a un formulario desplegado en Microsoft Forms.

Adultos Mayores: El formulario consta de 3 secciones, diseñadas con un lenguaje simple. En la primera sección, se recogen datos demográficos como el nivel educativo, la edad y el uso de dispositivos digitales. En la segunda sección, se muestran los videos de los 5 escenarios y posteriormente se

muestran las preguntas cerradas tipo Likert. La tercera sección, contiene 2 preguntas abiertas que buscan comprender si el adulto mayor disfrutó del robot y las razones detrás de su opinión. Cabe resaltar que este cuestionario se pretendía administrar de manera presencial, por lo que fue necesario presentarse al comité de ética. Los documentos relacionados están en el anexo D en la sección de Anexos.

Cuidadores: El formulario consta de 3 secciones detalladas y contextualizadas en el contexto de la salud. En la primera sección, se recogen datos demográficos como el nivel educativo, la edad, la frecuencia con la que se utilizan dispositivos digitales y sus años de experiencia. En la segunda sección, se muestran los videos de los 5 escenarios y posteriormente se muestran las preguntas cerradas tipo Likert. La tercera sección, contiene 2 preguntas abiertas que evalúan la confianza del cuidador en la tecnología y si considera que su carga podría disminuir mediante su adopción. En este cuestionario, se contó con la opinión de Juan Rojas, Gerente de Calucé Senior Living y a Eyder Reyes, Gerente del Hogar Gerontológico Cedros y Sauces. A ellos se les solicito diligenciar el formulario y compartirlo con sus colegas y empleados.

Expertos: El formulario consta de 7 secciones detalladas y contextualizadas en el contexto de la salud. En la primera sección, se recogen datos demográficos como el nivel educativo, la edad, la frecuencia con la que se utilizan dispositivos digitales y sus años de experiencia. De la sección 2 a la 6, se muestra un escenario específico con 3 o 4 preguntas relacionadas que pretenden medir las características de la arquitectura evidenciadas en el escenario.

La séptima sección, propone 3 preguntas abiertas orientadas a entender la opinión del experto respecto la viabilidad de la adopción de la tecnología y su impacto a nivel emocional e interactivo en los pacientes. Como representantes de esta población, se contó con el apoyo del Dr. Carlos Cano, la Dra. Claudia Villegas y el Dr. Hernando Santamaria, a quienes se les solicito diligenciar el formulario y compartirlo con sus colegas y estudiantes.

5.2. Análisis de Resultados

En la Tabla 30. Cantidad de Evaluadores, se muestra el total de evaluadores de la arquitectura SocialRobotBesa. Como se puede evidenciar, la cantidad de evaluadores fue baja, considerando que se pidió ayuda a varias personas a lo largo de un mes de evaluación.

Población	Expertos Médicos	Cuidadores	Adultos Mayores
Cantidad	2	3	2

Tabla 30. Cantidad de Evaluadores

A continuación, se presentarán los resultados de la validación de la arquitectura según el grupo de evaluación.

5.2.1. Expertos

En primer lugar, se tienen los expertos médicos. Como se puede evidenciar en la Tabla 31. Promedio por Evaluación Expertos Médicos, la valoración general fue bastante buena. En el caso de la autonomía, se puntuó 4.83 ± 0.24 , lo que podría sugerir que el robot toma decisiones de manera correcta de acuerdo con el contexto, sea autónomamente o semi autónomamente. En el caso de la personalización, se obtuvo una puntuación de 5. Esto parece indicar que el uso del perfil para seleccionar contenido como la canción en *Musicoterapia* o el cuento en *Cuentería* es correcto, así como la implementación de la actividad de retroalimentación para adaptar el perfil del usuario. En cuanto a la vivacidad, también se obtuvo un puntaje perfecto. Ahora bien, teniendo en cuenta la pregunta abierta “¿Considera que el robot tiene potencial para apoyar en el cuidado de los pacientes? ¿Por qué?”, esto parece ser

contradictorio. Uno de los médicos mencionó que “*el tono de voz puede ser muy monótono, es necesario revisarlo.*”, lo que representa una oportunidad de mejora en la expresión social del robot. De igual manera, este médico menciona que la expresión, la voz y el contacto físico son importantes y se debe buscar una forma de acercarse a expresiones humanas. Así mismo, este experto resaltó la importancia de la prosodia en la voz.

Se obtuvo un 4.75 ± 0.25 , en el criterio de la gestión de la imprevisibilidad. Esto podría sugerir que la arquitectura maneja bien la imprevisibilidad presentada en los escenarios planteados. Ahora bien, se requieren de más escenarios y pruebas con adultos mayores reales para poder confirmar esto. Por último, respecto a la seguridad percibida, se obtuvo un puntaje de 4.88 ± 0.22 . El puntaje podría indicar que el funcionamiento de robot genera confianza al menos desde el aspecto médico.

Criterio de Evaluación	Promedio	Desviación	Escenario	Valoración
Autonomía	4.83	0.24	1	5
Personalización	5	0	2	4.83
Gestión de imprevisibilidad	4.75	0.25	3	5
Empatía/ Vivacidad	5	0	4	4.83
Seguridad Percibida	4.88	0.22	5	4.67

Tabla 31. Promedio por Evaluación Expertos Médicos

Con relación a las preguntas abiertas, a nivel general, los expertos mencionaron que el proyecto parecía ser prometedor y un experto resalto la utilidad de generar un apoyo automatizado para alarmas. A todos los expertos les pareció que el robot podría servir como herramienta de soporte emocional para los adultos mayores. Por último, un experto médico mencionó que veía que el robot se comportaba muy proactivamente.

El puntaje general de los escenarios se muestra Tabla 31. Promedio por Evaluación Expertos Médicos. Al igual que la valoración por categorías, la evaluación por escenarios tuvo buenos resultados. En este caso, el escenario 5 fue el que recibió la menor valoración, dado que la opinión de los expertos en cuanto al robot siendo un acompañamiento seguro para al paciente no es totalmente positiva.

5.2.2. Cuidadores

Respecto a los cuidadores, es importante resaltar que una respuesta fue realizada después de ver interactuar adultos mayores en vivo con el robot. Esta respuesta fue de un cuidador informal. Analizando los resultados presentados en la Tabla 32. Promedio por Categorías Cuidadores, se evidencian valoraciones medias entre 4 y 3. Esto resulta interesante al realizar una comparación con los resultados de los expertos médicos, donde la valoración fue positiva. Lo anterior podría sugerir que las expectativas de los cuidadores en cuanto al robot no fueron cumplidas a cabalidad.

En cuanto a la autonomía, se obtuvo una puntuación de 3.22 ± 1.47 , lo que permite inferir que las opiniones fueron variadas en las preguntas de esta categoría. De aquí resalta la respuesta a la pregunta “El robot puede realizar las actividades sin necesidad de mi intervención constante”, donde un cuidador demostró que no estaba de acuerdo con esta afirmación. En cuanto a la personalización se observó un puntaje de 4.00 ± 0.27 , lo que indica que los cuidadores consideraron que el robot es fácil de usar y se adapta correctamente a las necesidades de los usuarios.

Respecto a la gestión de la imprevisibilidad, los cuidadores asignaron un puntaje promedio de 3.78 ± 0.42 lo que podría sugerir que los cuidadores tienen una confianza media en la capacidad del robot de manejar la imprevisibilidad durante la interacción con el usuario. De este criterio resaltan las opiniones de un cuidador particular el cual consideró que el robot no podría atender al paciente de manera oportuna en caso de accidente. Por otro lado, respecto a la vivacidad se evidencio un puntaje de 3.89

± 0.68 , lo que podría indicar que el robot tiene capacidades medias de interacción con el usuario y podría mejorar su desempeño en esta área. Revisando las preguntas relacionadas, se puede concluir que el robot debe mejorar en la expresión emocional. Por último, analizando la seguridad percibida se obtuvo un valor de 3.73 ± 0.33 , esto quiero decir que el robot no genera suficiente seguridad a los cuidadores. Es necesario analizar a mayor profundidad las características que permitan que tanto el cuidador, como los adultos mayores se sientan seguros.

Criterio de Evaluación	Promedio	Desviación
Autonomía	3.22	1.47
Personalización	4.00	0.27
Gestión de imprevisibilidad	3.78	0.42
Empatía/ Vivacidad	3.89	0.68
Seguridad Percibida	3.73	0.33

Tabla 32. Promedio por Categorías Cuidadores

Al comparar la opinión entre el cuidador que realizó el formulario después de la sesión en vivo contra los cuidadores que vieron los videos, se puede mencionar que los puntajes de seguridad aumentaron. Esto podría sugerir que ver al robot interactuando con los adultos mayores genera más confianza en los cuidadores que verlos con un actor.

En las preguntas abiertas, los cuidadores consideraron que era positivo que el robot pudiese enviar alertas y responder a los estados de ánimo del paciente. El hecho de que las actividades fueran programadas también les pareció importante. Así mismo, los cuidadores plantearon dudas sobre los canales de comunicación entre el robot y los cuidadores para el sistema de alertas. De igual manera, consideraron importante entender como el robot manejaría la interacción en caso de escenarios de rabia o violencia por parte del paciente. Adicionalmente, consideraron importante mejorar la voz y la apariencia del robot, así como la adaptación de interfaces a problemas como la sordera o la ceguera. Se mencionó también la necesidad de que el robot permitiera contacto físico y que fuera físicamente apto para moverse y no hacer tropezar al paciente.

Respecto a la reducción de carga, los cuidadores mencionaron que el robot podría enriquecer su trabajo y reducir su carga. Sin embargo, resaltaron la importancia de que las alertas de medicamentos fueran para ellos y no para el usuario quien podría engañar al robot. Por último, como comentarios adicionales, se mencionó que el robot debería adaptarse para: cuidar de pacientes que viven solos o apoyar la labor de empleados de geriátricos.

5.2.3. Adultos Mayores – Pruebas en Vivo

Para los adultos mayores, se realizaron 2 pruebas en vivo y posteriormente se aplicó el formulario. Se les permitió a los adultos mayores interactuar con el robot mientras realizaba actividades como cuentería y musicoterapia. Así mismo, se realizó el protocolo para la grabación de los 5 escenarios propuestos. Es importante destacar que es la primera vez que se realizan este tipo de pruebas en vivo con robots de asistencial social para el cuidado de adultos mayores en la Universidad Javeriana.

Respecto a los dos adultos mayores, es importante mencionar que uno padece de Alzheimer en etapas medias. Además, es relevante considerar que los resultados pueden presentar un sesgo, dado que los adultos mayores que evaluaron el sistema son familiares del autor del trabajo de grado. En la Tabla 33. Promedio por Categorías Adultos Mayores, se muestran los resultados de la evaluación de los adultos mayores.

Criterio de Evaluación	Promedio	Desviación
Autonomía	4.67	0.24

Personalización	4.83	0.24
Gestión de imprevisibilidad	4.75	0.25
Empatía/ Vivacidad	4.63	0.65
Seguridad Percibida	4.70	0.24

Tabla 33. Promedio por Categorías Adultos Mayores

Como es posible evidenciar la valoración en general fue bastante buena, sin embargo la muestra es bastante pequeña. Respecto a la Autonomía se obtuvo una evaluación de 4.67 ± 0.24 , se mencionó que la interacción con el robot fue fluida y que él podía decidir oportunamente que hacer. Revisando la personalización, se tiene un puntaje de 4.83 ± 0.24 , lo que indica que el robot puede personalizar bien los servicios al incluir datos como el nombre y los gustos durante la interacción. Sobre la gestión de la imprevisibilidad, se obtuvo una valoración de 4.75 ± 0.25 , donde los adultos mayores mencionaron que era pertinente el sistema de alarmas implementado cuando el robot avisaba al cuidador en caso de accidente. En lo que refiere a la empatía, se obtuvo un puntaje de 4.63 ± 0.65 . Esto es sorprendente, ya que fue evidente durante la interacción que es necesario enriquecer aún más las capacidades emocionales del robot para mantener la atención de los adultos mayores. Se notó también la tendencia de los adultos mayores a emular las acciones y emociones que realizaba el robot.

Por último, de acuerdo con la seguridad percibida, se tuvo una evaluación de 4.70 ± 0.24 . Los adultos mayores mencionaron que se divirtieron bastante con el robot y que se sintieron seguros durante la interacción. Cabe mencionar que los adultos mayores intentaron acercarse al robot para entablar contacto físico y el robot interrumpió la actividad y los movimientos para no hacerles daño. El acercamiento físico debe ser algo para evaluar en futuros trabajos.

En las preguntas abiertas, se ahondó sobre lo que le gusto a los adultos mayores y sobre sus motivos de uso. En general, los adultos mayores mencionaron que les gustaría tener un robot para compartir tiempo con él, ya que es entretenido y disminuye el tiempo de soledad que pasan. Respecto a lo que les gusto de la interacción mencionaron que les gusto hablar con el robot sin problemas y sin ser criticados. Así mismo, dijeron que era bueno que el robot los hiciera sentir alegres y redujera sus sentimientos negativos. Es relevante mencionar que estos resultados deben ser contrastados con intervenciones a largo plazo, ya que el factor de novedad generado por el robot puede sesgar las verdaderas capacidades de la arquitectura

Por otro lado, al analizar como los adultos mayores interactuaban con el robot durante la actividad de cuentería se afirmó la necesidad de incluir prosodia en la voz del robot e incluso la posibilidad de cambiarla según el personaje que el robot representaba. Fue notoria la perdida de atención de los adultos mayores durante el cuento cuando las animaciones eran lentas. Sin embargo, cuando el robot se movía rápido o cambiaba el tono de la voz, se recuperaba la atención de los pacientes de inmediato. Así mismo, se confirmó la necesidad de tener un gestor de conversaciones más reactivo y capaz, ya que los adultos mayores intentaban interactuar verbalmente con el robot con temas no relacionados a la actividad. Por último, se pudo notar que a veces la claridad verbal del robot no era muy clara, lo que causó problemas durante la comunicación con los adultos mayores.

6. CONCLUSIONES

El trabajo de grado titulado “Control inteligente para robots de asistencia social autónomos y adaptativos en ambientes de interacción humano-robot” presenta una aproximación inicial para abordar la gestión de la imprevisibilidad en la interacción humano-robot. Para esto, el diseño de la arquitectura de control considera la imprevisibilidad inherente al ser humano y la imprevisibilidad del ambiente, con el objetivo global de generar bienestar en una población vulnerable. Para manejar la imprevisibilidad de manera efectiva en intervenciones a corto y a largo plazo, SocialRobotBesa implementa características clave como la autonomía, la adaptabilidad, la ética y la empatía. Además, se incorporaron elementos como la explicabilidad, la ética y la capacidad de colaborar con otros seres humanos para generar confianza e involucrar a todos los actores relacionados con el cuidado del usuario.

En cuanto a la metodología, se concluye que fue apropiada para el alcance y los objetivos propuestos en este trabajo de grado. En particular, se hace importante recalcar la utilidad de analizar componentes de distintas arquitecturas durante la revisión del estado del arte a medida que se especificaban los requerimientos. Esto permitió reducir considerablemente el tiempo de diseño y se considera que podría ser beneficioso para investigaciones futuras de naturaleza similar.

Para dar cumplimiento al primer objetivo de este trabajo de grado, se realizó una revisión del estado del arte. A partir de la revisión, fue posible identificar múltiples aspectos en la interacción humano-robot en los contextos de aplicación de adultos mayores y educación con niños. Frente al concepto de adaptabilidad, se detectaron aspectos claves como la detección de actividades, la evolución de hábitos, la adaptación de interfaces de interacción a partir de necesidades del usuario, la personalización y los procesos de aprendizaje sobre el usuario. Estos parecen ser fundamentales para manejar la imprevisibilidad proveniente del cambio del usuario a través del tiempo. Respecto a la autonomía, la habilidad de detectar la criticidad de una actividad y sobre quien recae la responsabilidad en caso de fallo son esenciales para determinar el nivel de autonomía correcto durante la interacción. De igual manera, se encontró que una autonomía explicable que pueda incluir a actores relacionados con el cuidado del usuario es una característica fundamental para reducir la imprevisibilidad en la toma de decisiones durante la interacción. Se identificó, también, que necesidades como la personalización de servicios, la adaptación a largo plazo, la autonomía adaptable y la interactividad física y verbal parecen ser transversales a ambos casos de aplicación. De igual manera, se concluyó que se requiere trabajo adicional en lo que respecta a la adaptación en cuanto a la detección de hábitos y actividades con SARs. Además, concluyó que las respuestas del sistema en tiempo real del sistema son consideradas obligatorias al estar presente en todos los trabajos revisados.

Después de identificar los requisitos necesarios para gestionar la imprevisibilidad durante la interacción, se diseñó un sistema multiagentes compuesto por 13 agentes. Se mejoró la arquitectura BDI-CHA, al incorporar agentes adicionales, como el agente de *Aprendizaje* y el agente de *Explicabilidad*, en el proceso de toma de decisiones. Además, se integraron módulos de agentes de soporte para enriquecer la toma de decisiones con información crítica y módulos de agentes de integración para facilitar la extensibilidad e interoperabilidad del sistema, logrando así un sistema inclusivo para diversas condiciones sociales y económicas de los usuarios. En lo que refiere al prototipo implementado, se realizaron aportes a las bases de código de *RationalBesa* y *BDIBesa* y además se creó un framework llamado SocialRobotBesa. En este framework se implementaron las generalidades de la arquitectura descritas en Prototipo y se espera que permita continuar con la investigación de robots de asistencia social en la Universidad Javeriana ocultando detalles de implementación de las demás arquitecturas de agentes. Con el diseño de SocialRobotBesa, se logra satisfacer el segundo objetivo propuesto en la investigación.

Por último, utilizando el prototipo aplicado al caso del cuidado de adultos mayores, se realizó una evaluación siguiendo la metodología Almere. Con esta se evaluaron constructos como la autonomía, la personalización, la gestión de la imprevisibilidad, la empatía y la seguridad percibida en tres poblaciones diferentes: Adultos Mayores, Cuidadores y Expertos Médicos. Se implementaron 4 servicios: *Musicoterapia*, *Cuentería*, *Momento Espiritual* y *Recordar Medicamentos* con el fin de demostrar las características de la arquitectura.

La arquitectura fue evaluada positivamente por dos expertos médicos y dos adultos mayores. En el caso de los tres cuidadores entrevistados, la arquitectura de control fue regular. La personalización fue el aspecto más robusto de la arquitectura, con un promedio de 4.61 en general. Por otro lado, la autonomía fue el peor evaluado con 4.24. Aspectos como la empatía, la gestión de la imprevisibilidad y la seguridad percibida recibieron buenas evaluaciones. Es importante mencionar que estos resultados no son concluyentes o indicativos, ya que la muestra de evaluación es mínima. Se requerirá realizar más evaluaciones en el futuro. Así mismo, cabe resaltar que los cuidadores hicieron especial énfasis en tener en cuenta como el robot maneja la interacción con el usuario cuando este no quiere cooperar con las actividades.

En general, la arquitectura SocialRobotBesa fue apreciada como positiva por parte de los evaluadores. Los cuidadores consideran que podría aligerar sus cargas y enriquecer su trabajo. De igual manera, los adultos mayores creen que podría ayudarlos a mitigar la soledad y a estar entretenidos en su día a día. En cuanto a los expertos médicos, estos mencionaron que la interacción con el robot puede ser beneficiosa para sus pacientes y que tienen confianza en el robot. Ninguna población evaluadora resaltó problemas relacionados al manejo de la imprevisibilidad durante la evaluación.

Por último, se realizaron las primeras pruebas en vivo con adultos mayores en el ámbito de la robótica de asistencia social en la Pontificia Universidad Javeriana. Las pruebas permitieron confirmar retroalimentación dada en el trabajo de pregrado RES-PwA[92] así como las evaluaciones hechas por los expertos médicos y los cuidadores. Esto se debe a que señalaron problemas como la falta de emocionalidad de la voz del robot, la falta de interactividad en el diálogo y la necesidad de lograr interacciones menos estructuradas al interactuar con el paciente. Por otro lado, se pudo ver como la interacción con el robot mejoraba el estado de ánimo de los adultos mayores al permitirles entretenerse de una manera distinta.

En resumen, las principales contribuciones de este trabajo de grado radican en el diseño una arquitectura de control extensible, interoperable, de autonomía flexible, con procesos de adaptabilidad, aprendizaje, ética embebida, colaboración con humanos y empatía para la gestión de la imprevisibilidad en la interacción humano robot. Así mismo, se realizaron contribuciones de código a frameworks como RationalBesa, BDIBesa y se creó el framework SocialRobotBesa para robots de asistencia social. Por último, se realizó la primera prueba con adultos mayores en el contexto de la robótica de asistencial social en la Pontificia Universidad Javeriana para validar lo implementado en trabajos previos y en el presente trabajo de grado.

6.1. Trabajo Futuro

Dada la naturaleza de SocialRobotBesa como aproximación inicial al manejo de la imprevisibilidad en la interacción humano-robot en la Universidad Javeriana, se considera que es necesario enfocarse detalladamente en cada componente principal de la arquitectura. Esto se debe a que aspectos tales como la capacidad multiusuario, el aprendizaje, la interacción verbal enriquecida y la detección de riesgos aún deben ser profundizados a un mayor detalle.

Respecto al manejo de usuarios, se considera pertinente reevaluar los procesos de la arquitectura para que esta pueda soportar procesos multiusuario, teniendo en cuenta factores como la empatía, la

adaptabilidad y la personalización grupal. Todo esto sin descuidar el generar bienestar éticamente a los usuarios. En materia del manejo de la autonomía y toma de decisiones, es menester resaltar la necesidad de definir e implementar protocolos más robustos para la interrupción temporal y definitiva de planes. También es necesario delimitar las estrategias para que la arquitectura pueda manejar múltiples metas y facilitar la explicabilidad.

En cuanto a la capacidad de aprendizaje, es necesario realizar proyectos relacionados con oportunidades de aprendizaje de máquina para mejorar los procesos de adaptabilidad del sistema. Si bien en este trabajo esto fue cubierto utilizando aprendizaje por refuerzo, el agente de aprendizaje puede soportar otros tipos de inteligencia artificial según el estado del arte como cadenas de Márkov. Otra oportunidad relacionada con el aprendizaje radica en la adaptabilidad de modelos emocionales y de voz a texto personalizados para cada usuario, con el objetivo de reducir la imprevisibilidad relacionada con las diferencias de dicción o de expresión emocional de cada individuo durante la interacción. Así mismo, la posibilidad de incluir elementos de aprendizaje por demostración y transferencia de conocimiento en la arquitectura podrían facilitar aún más la aceptabilidad del sistema y la gestión de la imprevisibilidad.

Sobre la interacción verbal con la arquitectura, podría ser útil integrar o desarrollar un modelo de lenguaje natural grande (LLM) al agente interactivo. Este modelo enriquecería considerablemente la interacción con la arquitectura y cimentaría las capacidades de la arquitectura para suplir servicios relacionados con la asistencia e incluso con la enseñanza. Así mismo, se deben considerar aspectos relacionados al manejo de contextos de conversación e ingeniería de instrucciones automatizada. Revisando la expresión emocional, se puede decir que se requiere de mayor fluidez y realismo. De acuerdo con los comentarios realizados por los expertos, se hace relevante la implementación de capacidades de prosodia más notorias para no aburrir al paciente y movimiento más creíbles. Así mismo, sería pertinente contar con mecanismos para la construcción automática de animaciones y movimientos.

De igual manera, se hace pertinente ahondar en sistemas de *Smart Home*, que puedan aprovechar las características de colaboración con agentes de la arquitectura y enriquecerla con información de sensores y actuadores diversos. En cuanto a la colaboración con humanos, se hace necesaria la creación de protocolos que manejen correctamente la imprevisibilidad derivada de este tipo de interacción. Teniendo en cuenta la detección de riesgos, es necesario realizar una investigación más profunda sobre como identificar, mitigar, predecir y solucionar este tipo de eventos durante la interacción humano-robot según el contexto de aplicación.

Para que la arquitectura supla las necesidades de todos los usuarios involucrados en el cuidado de adultos mayores, o en la educación de niños, se hace pertinente una caracterización cualitativa y cuantitativa de los requerimientos de estos usuarios. Como se mencionó en el estado del arte, es necesario tener en cuenta las necesidades de todos los involucrados para que la arquitectura pueda ser efectiva.

Por último, en lo que refiere a la validación y verificación de la arquitectura, se requiere de una muestra de pacientes mucho más grande. Para esto se podría trabajar en conjunto con el Hospital Universitario San Ignacio, buscando aplicar metodologías como Almere a una escala mucho mayor. Todo esto con el fin de conseguir una muestra estadísticamente significativa sobre las capacidades de la arquitectura. Por otro lado, sería de interés utilizar otros robots diferentes a Pepper para evaluar cómo se expresan las características propuestas en la arquitectura bajo otro tipo de hardware.

REFERENCIAS

- [1] F. Bravo, «DRAMABOT, A COGNITIVE MULTIAGENT ARCHITECTURE FOR IMPLEMENTING EDUCATIONAL DRAMA TECHNIQUES USING ROBOT ACTORS», Pontificia Universidad Javeriana, Bogota DC, 2019.
- [2] J. Alcalá Vásquez, «Reconocimiento multimodal del estado emocional de un niño en un contexto educativo», 2017, doi: 10.11144/Javeriana.10554.39889.
- [3] B. Steunebrink, M. Dastani, J.-J. Ch, y J. Meyer, «The OCC model revisited», ene. 2009.
- [4] A. A. De la Peña, «RoboAct: Modelo de control autónomo y cooperativo para el Teatro Robótico». Accedido: 23 de abril de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/15082/PenaSantanaAndresArmandodela2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5] E. González, A. Perez, J. Cruz, y C. Bustacara, «MRCC: A Multi-Resolution Cooperative Control Agent Architecture», en *2007 IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT'07)*, Fremont, CA, USA: IEEE, nov. 2007, pp. 391-394. doi: 10.1109/IAT.2007.98.
- [6] M. Heerink, B. Kröse, V. Evers, y B. Wielinga, «Assessing Acceptance of Assistive Social Agent Technology by Older Adults: the Almere Model», *Int J of Soc Robotics*, vol. 2, n.º 4, pp. 361-375, dic. 2010, doi: 10.1007/s12369-010-0068-5.
- [7] C. Chao y A. Thomaz, «Timed Petri nets for fluent turn-taking over multimodal interaction resources in human-robot collaboration», *The International Journal of Robotics Research*, vol. 35, n.º 11, pp. 1330-1353, sep. 2016, doi: 10.1177/0278364915627291.
- [8] D. Feil-Seifer y M. J. Mataric, «Defining socially assistive robotics», en *9th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005. ICORR 2005.*, jun. 2005, pp. 465-468. doi: 10.1109/ICORR.2005.1501143.
- [9] S. Devin y R. Alami, «An Implemented Theory of Mind to Improve Human-Robot Shared Plans Execution», en *The Eleventh ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction*, en *The Eleventh ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction*. Christchurch, New Zealand: IEEE Press, mar. 2016, pp. 319-326. doi: 10.1109/HRI.2016.7451768.
- [10] R. Fuentetaja, A. García-Olaya, J. García, J. C. González, y F. Fernández, «An Automated Planning Model for HRI: Use Cases on Social Assistive Robotics», *Sensors*, vol. 20, n.º 22, Art. n.º 22, ene. 2020, doi: 10.3390/s20226520.
- [11] A. Tapus, M. Mataric, y B. Scassellati, «Socially assistive robotics [Grand Challenges of Robotics]», *IEEE Robot. Automat. Mag.*, vol. 14, n.º 1, pp. 35-42, mar. 2007, doi: 10.1109/MRA.2007.339605.
- [12] R. Khosla, K. Nguyen, y M.-T. Chu, «Socially assistive robot enabled personalised care for people with dementia in Australian private homes», en *25th International Conference on Information Systems Development, ISD 2016*, 2016, pp. 536-546. [En línea]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84995906314&partnerID=40&md5=c75db8d8ddf831da41816a02b686adda>
- [13] C. Clabaugh *et al.*, «Long-Term Personalization of an In-Home Socially Assistive Robot for Children With Autism Spectrum Disorders», *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 6, 2019, doi: 10.3389/frobt.2019.00110.

- [14] M. Salichs *et al.*, «Interacción humano robot en el proyecto ROBSEN», jun. 2017.
- [15] World Health Organization, «Dementia», Dementia. Accedido: 6 de marzo de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dementia>
- [16] K. Baraka, P. Alves-Oliveira, y T. Ribeiro, «An Extended Framework for Characterizing Social Robots», en *Human-Robot Interaction: Evaluation Methods and Their Standardization*, C. Jost, B. Le Pvédic, T. Belpaeme, C. Bethel, D. Chrysostomou, N. Crook, M. Grandgeorge, y N. Miring, Eds., en Springer Series on Bio- and Neurosystems. , Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 21-64. doi: 10.1007/978-3-030-42307-0_2.
- [17] N. B. Santos, R. S. Bavaresco, J. E. R. Tavares, G. de O. Ramos, y J. L. V. Barbosa, «A systematic mapping study of robotics in human care», *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 144, p. 103833, oct. 2021, doi: 10.1016/j.robot.2021.103833.
- [18] R. Jahanmahin, S. Masoud, J. Rickli, y A. Djuric, «Human-robot interactions in manufacturing: A survey of human behavior modeling», *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 78, p. 102404, dic. 2022, doi: 10.1016/j.rcim.2022.102404.
- [19] R. D. Davenport, «Robotics», en *Smart Technology for Aging, Disability, and Independence*, 1.^a ed., W. C. Mann, Ed., Wiley, 2005, pp. 67-109. doi: 10.1002/0471743941.ch3.
- [20] M. J. Mataric y B. Scassellati, «Socially Assistive Robotics», en *Springer Handbook of Robotics*, B. Siciliano y O. Khatib, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 1973-1994. doi: 10.1007/978-3-319-32552-1_73.
- [21] F. Kamil, T. S. Hong, W. Khaksar, N. Zulkifli, y S. A. Ahmad, «An ANFIS-based Optimized Fuzzy-multilayer Decision Approach for a Mobile Robotic System in Ever-changing Environment», *Int. J. Control Autom. Syst.*, vol. 17, n.º 1, pp. 253-266, ene. 2019, doi: 10.1007/s12555-017-0068-4.
- [22] R. Wang, M. Veloso, y S. Seshan, «Active sensing data collection with autonomous mobile robots», en *2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Stockholm, Sweden: IEEE, may 2016, pp. 2583-2588. doi: 10.1109/ICRA.2016.7487415.
- [23] A. Zlatintsi *et al.*, «I-Support: A robotic platform of an assistive bathing robot for the elderly population», *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 126, p. 103451, abr. 2020, doi: 10.1016/j.robot.2020.103451.
- [24] S. Jain, B. Thiagarajan, Z. Shi, C. Clabaugh, y M. J. Mataric, «Modeling engagement in long-term, in-home socially assistive robot interventions for children with autism spectrum disorders», *Sci. Robot.*, vol. 5, n.º 39, p. eaaz3791, feb. 2020, doi: 10.1126/scirobotics.aaz3791.
- [25] A. Bland y A. Schaefer, «Different Varieties of Uncertainty in Human Decision-Making», *Frontiers in Neuroscience*, vol. 6, 2012, Accedido: 28 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2012.00085>
- [26] J. Leusmann, C. Wang, M. Gienger, A. Schmidt, y S. Mayer, «Understanding the Uncertainty Loop of Human-Robot Interaction». arXiv, 14 de marzo de 2023. Accedido: 30 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/2303.07889>
- [27] G. Castellano, R. Aylett, K. Dautenhahn, A. Paiva, P. W. McOwan, y S. Ho, «Long-term affect sensitive and socially interactive companions».
- [28] S. Rossi, F. Ferland, y A. Tapus, «User profiling and behavioral adaptation for HRI: A survey», *Pattern Recognition Letters*, vol. 99, pp. 3-12, nov. 2017, doi: 10.1016/j.patrec.2017.06.002.

- [29] A. Andriella, C. Torras, C. Abdelnour, y G. Alenyà, «Introducing CARESSER: A framework for in situ learning robot social assistance from expert knowledge and demonstrations», *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 2022, doi: 10.1007/s11257-021-09316-5.
- [30] A. Sgorbissa *et al.*, «CARESSER: The Flower that Taught Robots about Culture», en *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 2019, p. 371. doi: 10.1109/HRI.2019.8673086.
- [31] F. Cantucci y R. Falcone, «Collaborative Autonomy: Human–Robot Interaction to the Test of Intelligent Help», *Electronics*, vol. 11, n.º 19, Art. n.º 19, ene. 2022, doi: 10.3390/electronics11193065.
- [32] F. Cantucci y R. Falcone, «Autonomous Critical Help by a Robotic Assistant in the Field of Cultural Heritage: A New Challenge for Evolving Human-Robot Interaction», *Multimodal Technologies and Interaction*, vol. 6, n.º 8, Art. n.º 8, ago. 2022, doi: 10.3390/mti6080069.
- [33] OECD y Korea Institute of Public Finance, «Ageing and productivity growth in OECD regions: Combatting the economic impact of ageing through productivity growth?», en *Ageing and Fiscal Challenges across Levels of Government*, J. Kim y S. Dougherty, Eds., en *OECD Fiscal Federalism Studies.*, OECD, 2020. doi: 10.1787/dc2ae16d-en.
- [34] S. Aiyar, C. Ebeke, y X. Shao, «The Impact of Workforce Aging on European Productivity», 2016.
- [35] N. Maestas, K. J. Mullen, y D. Powell, «The Effect of Population Aging on Economic Growth, the Labor Force and Productivity», 2016.
- [36] WHO, «Ageing and health», Ageing and health. Accedido: 30 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>
- [37] M. Law *et al.*, «Developing assistive robots for people with mild cognitive impairment and mild dementia: a qualitative study with older adults and experts in aged care», *BMJ Open*, vol. 9, n.º 9, p. e031937, sep. 2019, doi: 10.1136/bmjopen-2019-031937.
- [38] J. J. Paez Rodríguez, «Human-Robot Scaffolding - Arquitectura BDI para el desarrollo de habilidades de solución de problemas», Pontificia Universidad Javeriana, 2019.
- [39] T. Belpaeme, J. Kennedy, A. Ramachandran, B. Scassellati, y F. Tanaka, «Social robots for education: A review», *Science Robotics*, vol. 3, n.º 21, p. eaat5954, ago. 2018, doi: 10.1126/scirobotics.aat5954.
- [40] I. Papadopoulos, R. Lazzarino, S. Miah, T. Weaver, B. Thomas, y C. Koulouglioti, «A systematic review of the literature regarding socially assistive robots in pre-tertiary education», *Computers & Education*, vol. 155, p. 103924, oct. 2020, doi: 10.1016/j.compedu.2020.103924.
- [41] J. Gunderson y L. Gunderson, «Intelligence (is not equal to) Autonomy (is not equal to) Capability», ene. 2004.
- [42] J. M. Beer, A. D. Fisk, y W. A. Rogers, «Toward a framework for levels of robot autonomy in human-robot interaction», *J Hum Robot Interact*, vol. 3, n.º 2, pp. 74-99, jul. 2014, doi: 10.5898/JHRI.3.2.Beer.
- [43] A. Umbrico, A. Cesta, G. Cortellessa, y A. Orlandini, «A Holistic Approach to Behavior Adaptation for Socially Assistive Robots», *Int J of Soc Robotics*, vol. 12, n.º 3, pp. 617-637, jul. 2020, doi: 10.1007/s12369-019-00617-9.

- [44] S. Moharana, A. E. Panduro, H. R. Lee, y L. D. Riek, «Robots for Joy, Robots for Sorrow: Community Based Robot Design for Dementia Caregivers», en *2019 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, mar. 2019, pp. 458-467. doi: 10.1109/HRI.2019.8673206.
- [45] A. Okamura, M. Matarić, y H. Christensen, «Medical and Health-Care Robotics», *Robotics & Automation Magazine, IEEE*, vol. 17, pp. 26-37, oct. 2010, doi: 10.1109/MRA.2010.937861.
- [46] M. Chita-Tegmark y M. Scheutz, «Assistive Robots for the Social Management of Health: A Framework for Robot Design and Human–Robot Interaction Research», *Int J of Soc Robotics*, vol. 13, n.º 2, pp. 197-217, abr. 2021, doi: 10.1007/s12369-020-00634-z.
- [47] M. A. Salichs, M. Malfaz, y J. F. Gorostiza, «Toma de Decisiones en Robótica», *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, vol. 7, n.º 4, Art. n.º 4, oct. 2010, doi: 10.1016/S1697-7912(10)70055-8.
- [48] A. Tapus, «Socially Assistive Robots: The Link between Personality, Empathy, Physiological Signals, and Task Performance», p. 8.
- [49] J. Rodríguez, M. E. Torres Moreno, y E. González, «La metodología AOPOA», *Avances en Sistemas e Informática*, vol. 4, n.º 2, pp. 71-78, 2007.
- [50] D. David, P. Théroutane, y I. Milhabet, «The acceptability of social robots: A scoping review of the recent literature», *Computers in Human Behavior*, vol. 137, p. 107419, dic. 2022, doi: 10.1016/j.chb.2022.107419.
- [51] T. Fong, I. Nourbakhsh, y K. Dautenhahn, «A survey of socially interactive robots», *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 42, n.º 3-4, pp. 143-166, mar. 2003, doi: 10.1016/S0921-8890(02)00372-X.
- [52] A. Iglesias *et al.*, «Towards long term acceptance of Socially Assistive Robots in retirement houses: use case definition», en *2020 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)*, abr. 2020, pp. 134-139. doi: 10.1109/ICARSC49921.2020.9096080.
- [53] H. Robinson, B. MacDonald, N. Kerse, y E. Broadbent, «The Psychosocial Effects of a Companion Robot: A Randomized Controlled Trial», *Journal of the American Medical Directors Association*, vol. 14, n.º 9, pp. 661-667, sep. 2013, doi: 10.1016/j.jamda.2013.02.007.
- [54] 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: IEEE, 2006, pp. 3972-3976. doi: 10.1109/ROBOT.2006.1642311.
- [55] 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.
- [56] 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 of Soc Robotics*, vol. 8, n.º 1, pp. 85-102, ene. 2016, doi: 10.1007/s12369-015-0319-6.

- [57]É. N. Souza, N. A. de Oliveira, B. M. Luchesi, A. C. M. Gratão, F. de S. Orlandi, y S. C. I. Pavarini, «RELATIONSHIP BETWEEN HOPE AND SPIRITUALITY OF ELDERLY CAREGIVERS», *Texto contexto - enferm.*, vol. 26, p. e6780015, ago. 2017.
- [58]M. C. M. da Silva, A. Moreira-Almeida, y E. A. B. de Castro, «Elderly caring for the elderly: spirituality as tensions relief», *Rev. Bras. Enferm.*, vol. 71, pp. 2461-2468, oct. 2018, doi: 10.1590/0034-7167-2017-0370.
- [59]A. Mohd Lokman, N. N. N. Nik Ismail, F. Redzuan, A. Abd Aziz, y T. Tsuchiya, «Spiritual Therapeutic Robot for Elderly With Early Alzheimer's Disease: A Design Guide Based on Gender», *MJMHS*, pp. 71-79, jul. 2022, doi: 10.47836/mjmhs.18.s9.11.
- [60]G. Trovato *et al.*, «The creation of DarumaTO: a social companion robot for Buddhist/Shinto elderlies», en *2019 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, jul. 2019, pp. 606-611. doi: 10.1109/AIM.2019.8868736.
- [61]S. C. Akhter-Khan *et al.*, «Associations of loneliness with risk of Alzheimer's disease dementia in the Framingham Heart Study», *Alzheimer's & Dementia*, vol. 17, n.º 10, pp. 1619-1627, 2021, doi: 10.1002/alz.12327.
- [62]N. Gasteiger, K. Loveys, M. Law, y E. Broadbent, «Friends from the Future: A Scoping Review of Research into Robots and Computer Agents to Combat Loneliness in Older People», *Clinical Interventions in Aging*, vol. 16, pp. 941-971, dic. 2021, doi: 10.2147/CIA.S282709.
- [63]M. A. Goodrich y A. C. Schultz, «Human-Robot Interaction: A Survey», *FNT in Human-Computer Interaction*, vol. 1, n.º 3, pp. 203-275, 2007, doi: 10.1561/11000000005.
- [64]K. Dautenhahn, «Socially intelligent robots: dimensions of human-robot interaction», *Phil. Trans. R. Soc. B*, vol. 362, n.º 1480, pp. 679-704, abr. 2007, doi: 10.1098/rstb.2006.2004.
- [65]K. Oh y M. Kim, «Social Attributes of Robotic Products: Observations of Child-Robot Interactions in a School Environment», p. 11, 2010.
- [66]E. Lopez, U. Leonards, y G. Herrmann, «Cognitive Control for Decision and Human-Robot Collaboration», en *Cognitive robotics*, 2022.
- [67]LV. Calderita, A. Vega, P. Bustos, y P. Núñez, «Social Robot Navigation adapted to Time-dependent Affordance Spaces: a Use Case for Caregiving Centers», en *2020 29th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, ago. 2020, pp. 944-949. doi: 10.1109/RO-MAN47096.2020.9223514.
- [68]S. Forer, S. B. Banisetty, L. Yliniemi, M. Nicolescu, y D. Feil-Seifer, «Socially-Aware Navigation Using Non-Linear Multi-Objective Optimization», en *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2018, pp. 8126-8133. doi: 10.1109/IROS.2018.8593825.
- [69]J. Jaafar y E. McKenzie, «Decision Making Method Using Fuzzy Logic for Autonomous Agent Navigation», *electronic Journal of Computer Science and Information Technology*, vol. 3, n.º 1, Art. n.º 1, jul. 2011, Accedido: 15 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://ejcsit.uniten.edu.my/index.php/ejcsit/article/view/12>
- [70]S. S. Samsani y M. S. Muhammad, «Socially Compliant Robot Navigation in Crowded Environment by Human Behavior Resemblance Using Deep Reinforcement Learning», *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 6, n.º 3, pp. 5223-5230, jul. 2021, doi: 10.1109/LRA.2021.3071954.

- [71] C. Clabaugh y M. Matarić, «Escaping Oz: Autonomy in Socially Assistive Robotics», *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, vol. 2, n.º 1, pp. 33-61, 2019, doi: 10.1146/annurev-control-060117-104911.
- [72] F. Yuan, E. Klavon, Z. Liu, R. P. Lopez, y X. Zhao, «A Systematic Review of Robotic Rehabilitation for Cognitive Training», *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 8, 2021, Accedido: 20 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2021.605715>
- [73] H. R. Lee y L. D. Riek, «Reframing Assistive Robots to Promote Successful Aging», *J. Hum.-Robot Interact.*, vol. 7, n.º 1, p. 11:1-11:23, mai 2018, doi: 10.1145/3203303.
- [74] 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»:., *The Journal of Nervous and Mental Disease*, vol. 198, n.º 8, pp. 586-592, ago. 2010, doi: 10.1097/NMD.0b013e3181e9dc76.
- [75] 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.
- [76] S. Bedaf, H. Draper, G.-J. Gelderblom, T. Sorell, y L. de Witte, «Can a Service Robot Which Supports Independent Living of Older People Disobey a Command? The Views of Older People, Informal Carers and Professional Caregivers on the Acceptability of Robots», *Int J of Soc Robotics*, vol. 8, n.º 3, pp. 409-420, jun. 2016, doi: 10.1007/s12369-016-0336-0.
- [77] J. Zuschnegg *et al.*, «Humanoid socially assistive robots in dementia care: a qualitative study about expectations of caregivers and dementia trainers», *Aging & Mental Health*, vol. 26, n.º 6, pp. 1270-1280, jun. 2022, doi: 10.1080/13607863.2021.1913476.
- [78] C. Rivoire y A. Lim, «Habit detection within a long-term interaction with a social robot: an exploratory study», en *Proceedings of the International Workshop on Social Learning and Multimodal Interaction for Designing Artificial Agents*, Tokyo Japan: ACM, nov. 2016, pp. 1-6. doi: 10.1145/3005338.3005342.
- [79] I. A. Katsanis y V. C. Moulianitis, «An Architecture for Safe Child-Robot Interactions in Autism Interventions», *ROBOTICS*, vol. 10, n.º 1, mar. 2021, doi: 10.3390/robotics10010020.
- [80] N. Mitsunaga, C. Smith, T. Kanda, H. Ishiguro, y N. Hagita, «Adapting Robot Behavior for Human-Robot Interaction», *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 24, n.º 4, pp. 911-916, ago. 2008, doi: 10.1109/TRO.2008.926867.
- [81] P. Caleb-Solly, S. Dogramadzi, C. A. G. J. Huijnen, y H. van den Heuvel, «Exploiting ability for human adaptation to facilitate improved human-robot interaction and acceptance», *Information Society*, vol. 34, n.º 3, pp. 153-165, 2018, doi: 10.1080/01972243.2018.1444255.
- [82] N. Gasteiger *et al.*, «Participatory Design, Development, and Testing of Assistive Health Robots with Older Adults: An International Four-year Project», *J. Hum.-Robot Interact.*, vol. 11, n.º 4, p. 45:1-45:19, sep. 2022, doi: 10.1145/3533726.
- [83] J. Vogt, K. Luyten, J. Van den Bergh, K. Coninx, y A. Meier, «Putting Dementia into Context: A Selective Literature Review of Assistive Applications for Users with Dementia and Their Caregivers», en *Human-Centered Software Engineering*, vol. 7623, M. Winckler, P. Forbrig, y R. Bernhaupt, Eds., en *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7623. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 181-198. doi: 10.1007/978-3-642-34347-6_11.

- [84] R. D. Benedictis, A. Umbrico, F. Fracasso, G. Cortellessa, A. Orlandini, y A. Cesta, «A dichotomic approach to adaptive interaction for socially assistive robots», *User Model User-Adapt Inter*, nov. 2022, doi: 10.1007/s11257-022-09347-6.
- [85] K. Tsiakas, M. Abujelala, y F. Makedon, «Task Engagement as Personalization Feedback for Socially-Assistive Robots and Cognitive Training», *Technologies*, vol. 6, n.º 2, Art. n.º 2, jun. 2018, doi: 10.3390/technologies6020049.
- [86] A. Kubota, M. Pourebadi, S. Banh, S. Kim, y L. Riek, «Somebody That I Used to Know: The Risks of Personalizing Robots for Dementia Care». Rochester, NY, 23 de agosto de 2021. Consultado: 23 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://papers.ssrn.com/abstract=3910089>
- [87] S. Bedaf, P. Marti, F. Amirabdollahian, y L. de Witte, «A multi-perspective evaluation of a service robot for seniors: the voice of different stakeholders», *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, vol. 13, n.º 6, pp. 592-599, ago. 2018, doi: 10.1080/17483107.2017.1358300.
- [88] C. E. Clabaugh, «Interactive Personalization for Socially Assistive Robots», en *Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, en HRI '17. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, mar. 2017, pp. 339-340. doi: 10.1145/3029798.3034813.
- [89] 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.
- [90] F. Kaptein *et al.*, «A Cloud-based Robot System for Long-term Interaction: Principles, Implementation, Lessons Learned», *J. Hum.-Robot Interact.*, vol. 11, n.º 1, p. 8:1-8:27, oct. 2021, doi: 10.1145/3481585.
- [91] M. Maroto Gómez, Á. Castro-González, J. Castillo, M. Malfaz, y M. Salichs, «An adaptive decision-making system supported on user preference predictions for human-robot interactive communication», *User Modeling and User-Adapted Interaction*, pp. 1-45, abr. 2022, doi: 10.1007/s11257-022-09321-2.
- [92] J. S. Leon Suarez, M. F. Garces Cala, B. R. Garcia Morales, y J. D. Osorio Hernandez, «RESPWA: sistema asistencial para el soporte emocional de personas con Alzheimer utilizando al robot Pepper», Pontificia Universidad Javeriana, 2021.
- [93] M. Ficocelli, J. Terao, y G. Nejat, «Promoting Interactions between Humans and Robots Using Robotic Emotional Behavior», *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 46, n.º 12, pp. 2911-2923, 2016, doi: 10.1109/TCYB.2015.2492999.
- [94] C. Moro, G. Nejat, y A. Mihailidis, «Learning and Personalizing Socially Assistive Robot Behaviors to Aid with Activities of Daily Living», *ACM Transactions on Human-Robot Interaction*, vol. 7, n.º 2, 2018, doi: 10.1145/3277903.
- [95] V. Krishnamoorthy, W. Luo, M. Lewis, y K. Sycara, «A Computational Framework for Integrating Task Planning and Norm Aware Reasoning for Social Robots», en *2018 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, ago. 2018, pp. 282-287. doi: 10.1109/ROMAN.2018.8525577.
- [96] N. T. V. Tuyen, S. Jeong, y N. Y. Chong, «Learning human behavior for emotional body expression in socially assistive robotics», en *2017 14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, URAI 2017*, 2017, pp. 45-50. doi: 10.1109/URAI.2017.7992882.

- [97] R. Khosla, M.-T. Chu, S. M. S. Khaksar, K. Nguyen, y T. Nishida, «Engagement and experience of older people with socially assistive robots in home care», *Assistive Technology*, vol. 33, n.º 2, pp. 57-71, mar. 2021, doi: 10.1080/10400435.2019.1588805.
- [98] W.-Y. G. Louie y G. Nejat, «A learning from demonstration system architecture for robots learning social group recreational activities», en *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2016, pp. 808-814. doi: 10.1109/IROS.2016.7759144.
- [99] S. Elbeleidy, T. Mott, y T. Williams, «Practical, Ethical, and Overlooked: Teleoperated Socially Assistive Robots in the Quest for Autonomy», en *2022 17th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, mar. 2022, pp. 577-587. doi: 10.1109/HRI53351.2022.9889573.
- [100] M. Pino, M. Boulay, F. Jouen, y A.-S. Rigaud, «“Are we ready for robots that care for us?” Attitudes and opinions of older adults toward socially assistive robots», *Front. Aging Neurosci.*, vol. 7, jul. 2015, doi: 10.3389/fnagi.2015.00141.
- [101] L. Boccanfuso, S. Scarborough, R. K. Abramson, A. V. Hall, H. H. Wright, y J. M. O’Kane, «A low-cost socially assistive robot and robot-assisted intervention for children with autism spectrum disorder: field trials and lessons learned», *Auton Robot*, vol. 41, n.º 3, pp. 637-655, mar. 2017, doi: 10.1007/s10514-016-9554-4.
- [102] M.-A. Maheux, C. Caya, D. Létourneau, y F. Michaud, «T-Top, a SAR Experimental Platform», en *2022 17th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, mar. 2022, pp. 904-908. doi: 10.1109/HRI53351.2022.9889346.
- [103] F. Rodríguez Lera, V. Matellán, M. Conde-González, y F. Martín, «HiMoP: A three-component architecture to create more human-acceptable social-assistive robots: Motivational architecture for assistive robots», *Cognitive Processing*, vol. 19, ene. 2018, doi: 10.1007/s10339-017-0850-5.
- [104] N. Nestorov, E. Stone, P. Lehane, y R. Eibrand, «Aspects of Socially Assistive Robots Design for Dementia Care», en *2014 IEEE 27th International Symposium on Computer-Based Medical Systems*, may 2014, pp. 396-400. doi: 10.1109/CBMS.2014.16.
- [105] T. Vandemeulebroucke, B. D. de Casterlé, y C. Gastmans, «How do older adults experience and perceive socially assistive robots in aged care: a systematic review of qualitative evidence», *Aging & Mental Health*, vol. 22, n.º 2, pp. 149-167, feb. 2018, doi: 10.1080/13607863.2017.1286455.
- [106] J. P. Boada, B. R. Maestre, y C. T. Genís, «The ethical issues of social assistive robotics: A critical literature review», *Technology in Society*, vol. 67, p. 101726, nov. 2021, doi: 10.1016/j.techsoc.2021.101726.
- [107] A. Huber, A. Weiss, y M. Rauhala, «The ethical risk of attachment: How to identify, investigate and predict potential ethical risks in the development of social companion robots», en *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 2016, pp. 367-374. doi: 10.1109/HRI.2016.7451774.
- [108] S. Chen, R. Arkin, J. Borenstein, A. R. Wagner, y A. Melo Cruz, «Case-based robotic architecture with multiple underlying ethical frameworks for human-robot interaction», en *Value-Sharing between Humans and Robots*, CLAWAR Association Ltd., jul. 2022, pp. 115-120. doi: 10.13180/icres.2022.18-19.07.005.

- [109] P. Bremner, L. A. Dennis, M. Fisher, y A. F. Winfield, «On Proactive, Transparent, and Verifiable Ethical Reasoning for Robots», *Proceedings of the IEEE*, vol. 107, n.º 3, pp. 541-561, mar. 2019, doi: 10.1109/JPROC.2019.2898267.
- [110] P. R. Lewis y S. Sarkadi, «Reflective Artificial Intelligence». arXiv, 25 de enero de 2023. doi: 10.48550/arXiv.2301.10823.
- [111] M. Harbers, K. van den Bosch, y J.-J. Meyer, «Design and Evaluation of Explainable BDI Agents», en *2010 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology*, ago. 2010, pp. 125-132. doi: 10.1109/WI-IAT.2010.115.
- [112] M. Luckcuck, H. M. Taylor, y M. Farrell, «An Abstract Architecture for Explainable Autonomy in Hazardous Environments», en *2022 IEEE 30th International Requirements Engineering Conference Workshops (REW)*, ago. 2022, pp. 108-113. doi: 10.1109/REW56159.2022.00027.
- [113] M. Morveli-Espinoza, J. C. Nieves, C. A. Tacla, y H. M. R. Jasinski, «An Argumentation-Based Approach for Goal Reasoning and Explanations Generation», *Journal of Logic and Computation*, vol. 33, n.º 5, pp. 984-1021, jul. 2023, doi: 10.1093/logcom/exac052.
- [114] P. Robinette, A. M. Howard, y A. R. Wagner, «Timing Is Key for Robot Trust Repair», en *Social Robotics*, vol. 9388, A. Tapus, E. André, J.-C. Martin, F. Ferland, y M. Ammi, Eds., en *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 9388. , Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 574-583. doi: 10.1007/978-3-319-25554-5_57.
- [115] E. Short y M. J. Mataric, «Robot moderation of a collaborative game: Towards socially assistive robotics in group interactions», en *2017 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, Lisbon: IEEE, ago. 2017, pp. 385-390. doi: 10.1109/ROMAN.2017.8172331.
- [116] M. Cramer, K. Kellens, y E. Demeester, «Probabilistic Decision Model for Adaptive Task Planning in Human-Robot Collaborative Assembly Based on Designer and Operator Intent», *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 6, n.º 4, pp. 7325-7332, oct. 2021, doi: 10.1109/LRA.2021.3095513.
- [117] O. C. Görür, B. Rosman, F. Sivrikaya, y S. Albayrak, «Social Cobots: Anticipatory Decision-Making for Collaborative Robots Incorporating Unexpected Human Behaviors», en *Proceedings of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, Chicago IL USA: ACM, feb. 2018, pp. 398-406. doi: 10.1145/3171221.3171256.
- [118] A. Tapus y M. J. Matarić, «User Personality Matching with a Hands-Off Robot for Post-stroke Rehabilitation Therapy», en *Experimental Robotics: The 10th International Symposium on Experimental Robotics*, O. Khatib, V. Kumar, y D. Rus, Eds., en *Springer Tracts in Advanced Robotics*. , Berlin, Heidelberg: Springer, 2008, pp. 165-175. doi: 10.1007/978-3-540-77457-0_16.
- [119] H. Robinson, B. MacDonald, y E. Broadbent, «The Role of Healthcare Robots for Older People at Home: A Review», *Int J of Soc Robotics*, vol. 6, n.º 4, pp. 575-591, nov. 2014, doi: 10.1007/s12369-014-0242-2.
- [120] J. Goetz y S. Kiesler, «Cooperation with a robotic assistant», en *CHI '02 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, Minneapolis Minnesota USA: ACM, abr. 2002, pp. 578-579. doi: 10.1145/506443.506492.

- [121] C. Travers *et al.*, «Effectiveness of meaningful occupation interventions for people living with dementia in residential aged care: a systematic review», *JBIS Database System Rev Implementation Rep*, vol. 14, n.º 12, pp. 163-225, dic. 2016, doi: 10.11124/JBISRIR-2016-003230.
- [122] D. Kortenkamp, R. Simmons, y D. Brugali, «Robotic Systems Architectures and Programming», en *Springer Handbook of Robotics*, B. Siciliano y O. Khatib, Eds., en Springer Handbooks. , Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 283-306. doi: 10.1007/978-3-319-32552-1_12.
- [123] A. A. Hopgood, *Intelligent Systems for Engineers and Scientists*. CRC Press, 2016.
- [124] A. Ferrein, N. T. Siebel, y G. Steinbauer, «Hybrid control for autonomous systems — Integrating learning, deliberation and reactive control», *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 58, n.º 9, pp. 1037-1038, sep. 2010, doi: 10.1016/j.robot.2010.06.003.
- [125] J. Velleman y M. E. Bratman, «Intention, Plans, and Practical Reason», *undefined*, 1987, Accedido: 31 de mayo de 2021. [En línea]. Disponible en: /paper/Intention%2C-Plans%2C-and-Practical-Reason-Velleman-Bratman/db097eac96dd0ce5b7874f9ae74306fac5b0b2df
- [126] M. Wooldridge, *Reasoning about Rational Agents*. MIT Press, 2003.
- [127] H. Xu, Y. Shi, y Q. Cao, «BDI Goal Recognition for Agent Program Learning», en *2013 5th International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems*, sep. 2013, pp. 380-387. doi: 10.1109/INCoS.2013.72.
- [128] A. González, R. Angel, y E. González, «BDI concurrent architecture oriented to goal management», en *2013 8th Computing Colombian Conference (8CCC)*, ago. 2013, pp. 1-6. doi: 10.1109/ColombianCC.2013.6637540.
- [129] 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.
- [130] M. Torres Moreno, O. Garavito, y J. OCAMPO, «Metodología de Pruebas para Sistemas Multi-Agentes (SMA) integrada a AOPOA», ene. 2008.
- [131] M. A. Kohl, K. Baum, M. Langer, D. Oster, T. Speith, y D. Bohlender, «Explainability as a Non-Functional Requirement», en *2019 IEEE 27th International Requirements Engineering Conference (RE)*, Jeju Island, Korea (South): IEEE, sep. 2019, pp. 363-368. doi: 10.1109/RE.2019.00046.
- [132] A. Traldi, F. Bruschetti, M. Robol, M. Roveri, y P. Giorgini, «Real-Time BDI Agents: a model and its implementation». arXiv, 2 de mayo de 2022. doi: 10.48550/arXiv.2205.00979.
- [133] D. Taibi, V. Lenarduzzi, y C. Pahl, «Architectural Patterns for Microservices: A Systematic Mapping Study», en *Proceedings of the 8th International Conference on Cloud Computing and Services Science*, Funchal, Madeira, Portugal: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2018, pp. 221-232. doi: 10.5220/0006798302210232.
- [134] A. Ortony, G. Clore, y A. Collins, «The Cognitive Structure of Emotion», *The Cognitive Structure of Emotion*. Accedido: 18 de abril de 2021. [En línea]. Disponible en: https://www-researchgate.net/publication/202304316_The_Cognitive_Structure_of_Emotion
- [135] B. Berstel, «Extending the RETE algorithm for event management», en *Proceedings Ninth International Symposium on Temporal Representation and Reasoning*, Manchester, UK: IEEE Comput. Soc, 2002, pp. 49-51. doi: 10.1109/TIME.2002.1027472.

- [136] SoftBank Robotics, «SDKs — Aldebaran 2.8.7.4 documentation». Accedido: 31 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: http://doc.aldebaran.com/2-8/dev/programming_index.html
- [137] T. Mueller, «H2 Database Engine». Accedido: 31 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.h2database.com/html/main.html>
- [138] VMWare Tanzu, «Why Spring», Why Spring. Accedido: 31 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://spring.io/why-spring>
- [139] Gerbera, «Gerbera - A free media server. Stream your media to devices on your home network.» Accedido: 31 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://gerbera.io/#>
- [140] AliveRobots, «Robot Pepper», Aliverobots. Accedido: 6 de marzo de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://aliverobots.com/robot-pepper/>
- [141] L. C. Hurtado, «Estudio y aplicación del robot Pepper para la interacción con personas mayores», p. 192, 2018.
- [142] P. Uluer, H. Kose, B. K. Oz, T. Can Aydinalev, y D. E. Barkana, «Towards An Affective Robot Companion for Audiology Rehabilitation: How Does Pepper Feel Today?», en *2020 29th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, ago. 2020, pp. 567-572. doi: 10.1109/RO-MAN47096.2020.9223534.
- [143] C. M. A. Ilyas, V. Schmuck, M. A. Haque, K. Nasrollahi, M. Rehm, y T. B. Moeslund, «Teaching Pepper Robot to Recognize Emotions of Traumatic Brain Injured Patients Using Deep Neural Networks», en *2019 28th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication, RO-MAN 2019*, 2019. doi: 10.1109/RO-MAN46459.2019.8956445.
- [144] A. K. Pandey y R. Gelin, «A Mass-Produced Sociable Humanoid Robot: Pepper: The First Machine of Its Kind», *IEEE Robot. Automat. Mag.*, vol. 25, n.º 3, pp. 40-48, sep. 2018, doi: 10.1109/MRA.2018.2833157.
- [145] F. Tanaka, K. Isshiki, F. Takahashi, M. Uekusa, R. Sei, y K. Hayashi, «Pepper learns together with children: Development of an educational application», en *2015 IEEE-RAS 15th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*, nov. 2015, pp. 270-275. doi: 10.1109/HUMANOIDS.2015.7363546.
- [146] G. Suddrey, A. Jacobson, y B. Ward, «Enabling a Pepper Robot to provide Automated and Interactive Tours of a Robotics Laboratory», *arXiv:1804.03288 [cs]*, abr. 2018, Accedido: 12 de febrero de 2020. [En línea]. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/1804.03288>
- [147] J. F. Kelley, «An iterative design methodology for user-friendly natural language office information applications», *ACM Trans. Inf. Syst.*, vol. 2, n.º 1, pp. 26-41, ene. 1984, doi: 10.1145/357417.357420.
- [148] M. Wall y A. Duffy, «The effects of music therapy for older people with dementia», *British Journal of Nursing*, vol. 19, n.º 2, pp. 108-113, ene. 2010, doi: 10.12968/bjon.2010.19.2.46295.
- [149] 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 of Systematic Reviews*, n.º 7, 2018, doi: 10.1002/14651858.CD003477.pub4.
- [150] L. Magdalena, «Fuzzy Rule-Based Systems», en *Springer Handbook of Computational Intelligence*, J. Kacprzyk y W. Pedrycz, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015, pp. 203-218. doi: 10.1007/978-3-662-43505-2_13.

- [151] P. Cingolani y J. Alcalá-Fdez, «jFuzzyLogic: a Java Library to Design Fuzzy Logic Controllers According to the Standard for Fuzzy Control Programming», *IJCIS*, vol. 6, n.º Supplement 1, p. 61, 2013, doi: 10.1080/18756891.2013.818190.
- [152] Y. Bai y D. Wang, «Fundamentals of Fuzzy Logic Control — Fuzzy Sets, Fuzzy Rules and Defuzzifications», en *Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications*, Y. Bai, H. Zhuang, y D. Wang, Eds., en *Advances in Industrial Control*, London: Springer London, 2006, pp. 17-36. doi: 10.1007/978-1-84628-469-4_2.
- [153] SoftBank Robotics, «NAOqi APIs — Aldebaran 2.5.11.14a documentation», NAOqi APIs. Accedido: 18 de abril de 2021. [En línea]. Disponible en: <http://doc.aldebaran.com/2-5/naoqi/index.html>
- [154] J. A. Agreda y E. Gonzalez, «Ambient intelligence based multi-agent system for attend elderly people», en *2014 9th Computing Colombian Conference (9CCC)*, Pereira, Colombia: IEEE, sep. 2014, pp. 115-120. doi: 10.1109/ColumbianCC.2014.6955358.
- [155] Open AI, «Introducing ChatGPT». Accedido: 27 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://openai.com/blog/chatgpt>
- [156] C. Jost *et al.*, Eds., *Human-Robot Interaction: Evaluation Methods and Their Standardization*, vol. 12. en *Springer Series on Bio- and Neurosystems*, vol. 12. Cham: Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-42307-0.

ANEXOS

Anexo	Nombre	Contenido
A	Análisis del estado del arte	<ul style="list-style-type: none">• Artículo de Análisis del estado del arte
B	Arquitectura	<ul style="list-style-type: none">• Documento de Especificación de la arquitectura• Imagen de la arquitectura completa• Artefactos AOPOA
C	Validación	<ul style="list-style-type: none">• Documento de Validación SocialRobotBesa• Videos con Actor• Videos con Adultos Mayores• Formatos de Consentimiento Informado
D	Artefactos Relacionados al Comité de Ética	<ul style="list-style-type: none">• Documento de Presentación CIE• Especificación de Escenarios
E	Código Fuente	<ul style="list-style-type: none">• Archivo con links a los repositorios
F	Descripción de Servicios de Pepper	<ul style="list-style-type: none">• Archivo con la descripción de servicios