



DECIMOQUINTA CONVOCATORIA PARA EL FOMENTO DE LA INVESTIGACIÓN Y LA INNOVACIÓN 2020

Título del proyecto	
Optimización de la toma de decisiones para la gestión de tareas del robot <i>Pepper</i> dentro de un entorno doméstico.	
Campo de acción	Transdisciplinariedad - Aporte al PIM
Desarrollo Tecnológico con Apuesta Social	Línea 3 del PIM: Proyección Social e Investigación Pertinentes
Articulación con funciones sustantivas y el sector social y productivo	
Docencia: a través del desarrollo del proyecto se realiza la apropiación de conocimiento el cual puede ser aplicado directamente en la actualización de los syllabus de diferentes espacios académicos, así como en la presentación de cursos electivos que hacen parte del componente flexible del pensum tanto en el nivel de pregrado como de maestría. Entre las temáticas específicas relacionadas al programa en las que se espera que aporte el proyecto se encuentran: Programación avanzada, Instrumentación electrónica, Técnicas modernas de control, Robótica, Optimización e Inteligencia Computacional. Investigación: el presente proyecto está relacionado con las líneas de investigación en Robótica e Inteligencia Artificial adscritas al grupo GED. Los resultados propenden por el fortalecimiento del macroproyecto del grupo, el cual está relacionado con la interacción humano robot a partir del uso de la plataforma robótica <i>Pepper</i>. Adicionalmente, los resultados del proyecto apuntan a la solución de retos de investigación planteados en la competencia Robocup 2019 y que se deben resolver para la Robocup 2020. Responsabilidad Social Universitaria: El proyecto espera contribuir al desarrollo de las aplicaciones sociales ya que la tecnología de interacción humano robot (HRI) está completamente comprometida con el servicio a la sociedad especialmente a poblaciones con algún grado de limitación física y cognitiva. Es decir, el proyecto está directamente comprometido con el mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad en general, lo cual está acorde con los proyectos, la misión y visión del grupo de investigación en robótica GED (proyección social pertinente). Sector social y productivo: el proyecto busca ofrecer soluciones y desarrollos de nuevas tecnologías dentro del marco de los objetivos de la Alianza Sinfonía (Bancolombia, Universidad de los Andes, Universidad del Magdalena y Universidad Santo Tomás), los cuales apuntan al área de la inteligencia artificial y su aporte al sector social y productivo.	
Grupo de investigación	Línea de investigación en la que se inscribe el proyecto
Grupo de estudio y desarrollo en robótica GED - Inteligencia Computacional y robótica	



Nombre del Investigador principal	Enlace CvLAC	Enlace ORCID	Enlace Google Académico
Sindy Paola Amaya	https://scienti.colciencias.gov.co/cvlab/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000796425	https://orcid.org/0000-0002-1714-1593	https://scholar.google.es/citations?hl=es&authuser=2&user=Gg2sofAAAAAJ
División	Facultad	Programa	Grupo de investigación
Ingenierías	Ingeniería Electrónica	Pregrado Ingeniería Electrónica	GED
Nombre del Co-investigador	Enlace CvLAC	Enlace ORCID	Enlace Google Académico
Armando Mateus Rojas	https://scienti.colciencias.gov.co/cvlab/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000680630	https://orcid.org/0000-0002-2399-4859	https://scholar.google.es/citations?hl=es&pli=1&user=1az5o_IAAAAJ
División	Facultad	Programa	Grupo de investigación
Ingenierías	Ingeniería Electrónica	Pregrado Ingeniería Electrónica	GED
Resumen de la propuesta		Palabras clave	
En la presente propuesta se plantea el proceso para la implementación de un algoritmo basado en teoría de juegos para la toma de decisiones óptima en un entorno doméstico, con alta incertidumbre y utilizando la plataforma robótica <i>Pepper</i> , dentro de la estructura del proceso de interacción humano-robot (HRI). Lo anterior surge tras la necesidad de resolver problemas presentados en el desarrollo e implementación de las soluciones tras la participación del grupo GED en la liga <i>@home</i> de <i>RoboCup</i> versión 2019, así como mejorar el desempeño de la gestión de tareas en robótica que se presenta en varios de los proyectos al interior del grupo de investigación y		Robótica social, teoría de juegos, toma de decisiones, optimización.	

en general, en cualquier proyecto donde se involucre una plataforma robótica.

Dentro de los intereses se encuentran: determinar escenarios y tareas que enmarcan una situación real del uso del robot *Pepper* dentro de un entorno doméstico. Modelar la dinámica de recepción, asignación y ejecución de tareas desde la perspectiva de la teoría de juegos, así como definir un índice de desempeño para validar y evaluar el sistema, y diseñar e implementar un algoritmo para la toma de decisiones óptima en un entorno doméstico de interacción humano-robot utilizando el robot *Pepper*.

Con este proyecto el grupo de investigación GED busca alcanzar diferentes objetivos, entre los que se cuenta, cumplir las metas definidas en el marco de la alianza SINFONÍA de la cual hace parte la Universidad Santo Tomás; dando continuidad al tema relacionado con la robótica social, específicamente la HRI, y a través de este tema fortalecer las líneas de investigación del grupo GED, robótica e inteligencia computacional. Así mismo, se impacta en el ejercicio docente y se aporte al currículo del programa de Ingeniería Electrónica.

Problema de investigación

Actualmente, la organización de tareas en robótica social para el robot *Pepper* ubicado en el laboratorio de robótica de la Universidad Santo Tomás se realiza de forma rígida y secuencial de acuerdo con las ordenes preestablecidas o situaciones previamente entrenadas que el robot perciba. Esto limita la flexibilidad necesaria que debe poseer el robot ante circunstancias con alta incertidumbre, como es el caso de la interacción con humanos. Ejemplo de lo anterior es el hecho que el robot *Pepper* no puede recibir nuevos comandos de voz mientras se encuentra ejecutando una acción ni realizar dos acciones diferentes al mismo tiempo. La interacción social entre humanos y robots implica una gran cantidad de comportamientos con patrones que se deben seguir para lograr objetivos particulares, por lo cual, en el caso del robot, éste se ve constantemente enfrentado a la toma de decisiones [1,2]. De igual forma, el entorno dentro del cual se da dicha interacción presenta las siguientes características: alta incertidumbre, dinamicidad, observabilidad parcial, secuencial y, en algunas ocasiones desconocido. Todo lo anterior agrega varios desafíos a las soluciones que se proponen [3].

Modelar el comportamiento de un robot es una tarea común para aquellos que se dedican al desarrollo de software. Sin embargo, la dificultad de esta tarea crece exponencialmente con la complejidad de los sistemas. El desarrollo de los programas del robot requiere la integración de múltiples funcionalidades que le permitirán al robot desempeñar tareas útiles. Típicamente, cuando se diseñan e implementan los comportamientos del robot se lidia con sistemas complejos que implican una acertada toma de decisiones que incluyen muchos componentes necesarios para cooperar de forma eficiente. Además, se



requiere optimizar el uso de los recursos como el software, hardware y el tiempo.

Para desarrollar las funcionalidades del robot varias tecnologías se han utilizado, de entre estas probablemente la más simple pero con mayor frecuencia usada es la máquina de estados finita (FMS) que incluye un número de estados arbitrario, además solo un estado puede estar activo o seleccionado en un tiempo dado y, el cambio entre estados se da por un evento o una condición. De esta manera se llevó a cabo el diseño de las funcionalidades del robot *Pepper* del equipo Sinfonía Team Colombia para que se desempeñara en las diferentes retos y pruebas en su participación en la liga *@home* de la *RoboCup* realizada del 2 al 8 de julio del 2019 [4]. Para el desarrollo de las máquinas de estado es común mezclar el diseño de éstas y la implementación sobre la plataforma, lo cual tiene varias limitaciones. En primer lugar, mantenerlas juntas conduce a diseños no reutilizables ya que están definidos para una implementación específica. Por otro lado, los estados solo pueden ser reutilizables reconfigurando, lo que significa cambios directos sobre el código, generando problemas (como retardos y pérdidas de funcionalidades) cuando se cambia de plataforma. De lo anterior se concluye que las máquinas de estado no ofrecen la flexibilidad requerida para un entorno de alta incertidumbre [5].

Otro de los problemas observado utilizando esta metodología es que se solucionan las tareas por separado, por etapas, y de manera secuencial lo cual no permite un desempeño adecuado del robot, presentando bloqueos en la continuidad de las tareas que el robot debe completar para alcanzar el objetivo final. Ante esta situación, lo mayormente deseable es tener la capacidad de cargar al robot herramientas dinámicas y reutilizables con lo cual se pueda optimizar la metodología de la toma de decisiones dentro de un entorno con alta incertidumbre, ventaja que es ofrecida por la teoría de juegos.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo realizar de forma óptima la toma de decisiones a través de la teoría de juegos para la ejecución de tareas en un entorno doméstico que presenta alta incertidumbre empleando la plataforma robótica social *Pepper*?

Justificación

La interacción humano – robot que se establece en robótica social constituye un escenario de alta incertidumbre; aspectos personales (modo de expresión, preferencias, etc.), del entorno (lugar, condiciones ambientales, conectividad disponible, etc.) y la diversidad de tareas y características que un robot social debe ejecutar requieren de un sistema de toma de decisiones para el robot que sea flexible, escalable y optimice la ejecución de las tareas con miras a prestar un mejor servicio y asistencia a las personas. Actualmente, los mecanismos desarrollados en el laboratorio de robótica de la Universidad Santo Tomás para la ejecución de tareas se basan en la estructura de programación conocida como máquina de estados, la cual es estática y secuencial (no permite modificaciones en la asignación y orden de ejecución de tareas), poco segura (muy susceptible a los estados de bloqueo) y poco escalable (no pueden incluirse nuevas funcionalidades).

Para desarrollar un sistema que se adapte completamente al comportamiento y producir acciones consistentes al robot *Pepper*, se puede utilizar un mecanismo de toma de decisiones para modelar diferentes acciones y elecciones que el robot debe tomar de acuerdo con las circunstancias. Este



mecanismo debe tener en cuenta los diferentes tipos de parámetros que involucran el estado del robot, el usuario y el entorno, y realizar la acción correspondiente de acuerdo con las reglas de comportamiento que se definan. La teoría de juegos permite tener en cuenta los parámetros para generar una programación más flexible a diferencia de las máquinas de estado.

Algunas de las tareas de interacción que el robot *Pepper* debe desempeñar en la competencia internacional de *RoboCup*, en la liga social, y que ejemplifican las actividades típicas en las que se espera que los robots sociales sean empleados, se pueden dividir en tres escenarios diferentes: mayordomo (*housekeeper*), anfitrión de evento (*party-host*) y asistente de restaurante (*restaurant assistant*). Sin embargo, las pruebas durante la competencia resultan altamente secuenciales bajo condiciones altamente controladas; por esta razón, durante las pruebas de la liga social se invita a voluntarios de público para interactuar con los robots y para el 2020 se planea utilizar el “*General Purpose Service Robot Command Generator*” [4], el cual es un generador aleatorio de comandos que busca brindar a la competencia la incertidumbre típica de un entorno real.

Además de la preparación para la participación en la liga @home de *RoboCup*, el laboratorio de robótica requiere del desarrollo de herramientas que permitan mejorar el desempeño de la interacción humano-robot, así como optimizar la toma de decisiones en la gestión de tareas en el uso de cualquier plataforma robótica. Como ejemplos, el grupo cuenta con varios proyectos tanto académicos como sociales; en el primer caso, un grupo de estudiantes está trabajando con miras a participar en el *Latin American and Brazilian Robotics Competition 2019* dentro de la liga IEEE Open, por otro lado, se encuentra el proyecto de fútbol de robots que combina propósitos de investigación y promoción del programa con comunidades externas a la Universidad.

En general, en la práctica existen muchas tareas que un robot debe desempeñar, algunas de ellas como recoger y colocar objetos y, transportarlos de un lugar a otro, reconocimiento de personas y de objetos, así como reconocer y generar órdenes por voz, entre otras. Las metodologías dinámicas para la toma de decisiones, dentro de las que se incluye el uso de la teoría de juegos, ofrecen varias ventajas como una adecuada gestión del tiempo y de los recursos del sistema [6, 7]. Durante el tiempo de ejecución, el software del robot se basa en los perfiles de usuario, robot y entorno particulares para adaptar su comportamiento sobre la marcha, realizando las acciones apropiadas necesarias para el usuario final particular y el contexto de uso. En la presente propuesta, la toma de decisiones orientada a la adaptación en tiempo de ejecución se realiza para seleccionar la acción de comportamiento más apropiada para el usuario particular, el robot y los perfiles de entorno, así como para cada etapa del comportamiento del robot, a través de la teoría de juegos [8]. La función del componente de toma de decisiones es impulsar de manera efectiva el proceso de adaptación del comportamiento al decidir qué acciones o comandos deben ejecutarse de manera selectiva (o "activarse"). En otras palabras, hay una necesidad de organizar componentes de la interfaz o acciones de robot en torno a sus contextos de tareas particulares, lo que les permite recibir soporte a través de múltiples entregas. El enfoque de la toma de decisiones basado en teoría de juegos permite que se pueda garantizar una solución óptima, así como garantizar la convergencia de la misma. Por otro lado, es posible alcanzar el objetivo final en medio de las incertidumbres dadas por las condiciones del entorno, las limitantes tecnológicas del robot y los bugs que se presenten en el desarrollo de las tareas por parte del robot.

En el presente proyecto se pretende dar una herramienta basada en teoría de juegos para la toma de decisiones que se pueda implementar en el robot *Pepper* para efectuar tareas sociales dentro de entornos con alta incertidumbre, con lo cual se espera obtener un desempeño del sistema completo más avanzado.

Objetivo general

Implementar un algoritmo para la toma de decisiones óptima basado en teoría de juegos, para la ejecución de tareas en un entorno doméstico que presenta alta incertidumbre empleando la plataforma robótica social *Pepper*.

Objetivos específicos

- Determinar escenarios, condiciones, tareas y demás aspectos que enmarcan una situación real del uso de robots sociales, específicamente del robot *Pepper*, dentro de un entorno doméstico.
- Modelar la dinámica de recepción, asignación y ejecución de tareas para el robot *Pepper* desde la perspectiva de la teoría de juegos y definir un índice de desempeño (objetivos en común) que permita validar y evaluar el algoritmo planteado en el presente proyecto.
- Diseñar e implementar un algoritmo basado en teoría de juegos para la toma de decisiones óptima en un entorno doméstico de interacción humano-robot utilizando el robot *Pepper*.

Estado del arte y marco conceptual

En primer lugar se presentará el estado del arte relacionado con investigaciones realizadas por la comunidad científica en los temas de interacción humano-robot, máquinas de estado, teoría de juegos y toma de decisiones y cómo estas áreas han sido unificadas para manejar algunos desafíos particulares de cada trabajo. En Segundo lugar, se encontrará el marco conceptual relacionado:

Los autores en [6] proponen una combinación de máquinas de estado finitas y herramientas de decisión para implementación de comportamientos que sean adaptativos de acuerdo a los objetivos del robot. El sistema diseñado incluye capacidades como funcionamiento autónomo y comportamiento variable del robot. Sus funciones son divididas en tareas y acciones definidas explícitamente. Los diseñadores utilizan máquinas de estado, así como la herramienta SMACH, que es una librería en Python, para construir la arquitectura de alto nivel inicial para el robot. Los resultados muestran que las dos herramientas se complementan bien y pueden combinarse sin mucho esfuerzo.

Otro enfoque desarrollado a partir de Python se muestra en [7], en donde se permite que las máquinas de estado usadas sean diseñadas, configuradas y creadas dinámicamente usando un lenguaje específico de dominio. El uso de este enfoque se consideró en tres casos de uso: definición y ejecución de un escenario simple de pick and place, transferencia de máquina de estado en diferentes robots y en un proyecto denominado ROPOD en el cual el robot debe transportar elementos dentro de un hospital. Sus resultados mostraron que la librería de la máquina de estados es usada en diferentes contextos pero que existen potenciales mejoras.

En [5], los autores estudiaron diferentes tipos de autómatas y sus aplicaciones en la teoría de juegos. Descubrieron que los autómatas finitos, los autómatas adaptativos y los autómatas celulares se adoptan ampliamente en la teoría de juegos. Las aplicaciones de autómatas finitos se encuentran limitadas a estrategias simples presentes. En contraste, los autómatas adaptativos y los autómatas celulares se aplican intensivamente en un entorno complejo, donde el número de jugadores interactivos (humanos, aplicaciones informáticas, etc.) es alto y, por lo tanto, se necesitan estrategias complejas. No se presenta

aplicación específica en un sistema robótico.

Otro enfoque usando teoría de juegos está en [8], donde presentan un planificador de movimientos en entornos dinámicos generando movimientos de tipo humano. Este planificador se destaca de otros ya que modela explícitamente la toma de decisiones de tipo humano y toma en cuenta las dependencias entre individuos, lo que se logra al aplicar la teoría de juegos. Los juegos no cooperativos y el concepto de un equilibrio de Nash se utilizan para formular el proceso de decisión que describe el comportamiento del movimiento humano mientras se camina en un entorno poblado. Evalúan el sistema usando dos experimentos: un video que muestra peatones en movimiento simulados, en el que los participantes son observadores pasivos, y un estudio para evitar colisiones, en el que los participantes interactúan en realidad virtual con un agente controlado por diferentes planificadores de movimiento.

Finalmente, en [9] se propone un marco para aplicar información semántica en la navegación de robots móviles autónomos, rastrear el movimiento del robot en una trayectoria semántica y analizar los datos de contexto sobre el proceso de toma de decisiones a través de un árbol de comportamiento. Los experimentos muestran que este enfoque ofrece una estructura para generar navegación inteligente y la información de datos para mejorar el comportamiento del robot.

Robótica Social:

La robótica social es una rama de la robótica en la cual hay entidades digitales o físicas que tienen la capacidad de comunicarse e interactuar socialmente con humanos y/o con otros robots dentro de ambientes dinámicos. Una de las funciones principales de un robot social es la interacción, no es necesario alcanzar tareas con un alto nivel de detalle como lo hacen robots de servicio e industriales [10]. En el área de interacción humano-robot (HRI) se investiga cómo los robots pueden ser usados como herramienta, guías, asistentes y como humanoides. Los robots guía y de asistencia por lo general son máquinas semiautónomas y autónomas que asisten a los humanos, muestran y perciben emociones y cambios el estado anímico, lo que les permite mejorar la comunicación [11.]. La investigación también se ha enfocado en materiales, instrumentación y redes de comunicaciones para la aplicación de la robótica social a las actividades del ser humano.

Interacción humano robot (HRI):

Se define como el estudio interdisciplinario de la dinámica de interacción entre humanos y robots [12]. La interacción humano-robot reúne una gran variedad de campos como ingeniería eléctrica, mecánica, industrial; informática, inteligencia artificial, robótica, procesamiento de lenguaje natural, visión artificial, ciencias sociales, psicología, ciencia cognitiva, comunicación y humanidades [4]. Lo cual aumenta los retos que se deben resolver en muchos ámbitos, dentro de los que se cuenta exploración de conceptos generales y otros específicos relacionados con la utilización directa de sistemas robótico interactuando con humanos dentro de escenarios particulares. La detección y percepción multimodal (auditiva, táctil, visual y gestos), robots sociales, educativos, de asistencia y de servicio son los principales desafíos de investigación dentro de la HRI [13],[14].

Teoría de autómatas:

Un autómata es una máquina auto-operada que está diseñada para seguir de forma automática una secuencia de operaciones predeterminada o responder a instrucciones. Existen muchos tipos de autómatas bien conocidos, como autómatas finitos, máquinas de Turing, autómatas Pushdown, autómatas adaptativos, así como otras variaciones, como máquinas de acceso aleatorio, máquinas de acceso aleatorio paralelo y autómatas de matrices. Las simulaciones experimentales de métodos de autómatas realizadas en diferentes investigaciones han recomendado el enfoque de autómatas en la solución de muchos ejemplos interesantes en optimización de parámetros, pruebas de hipótesis y teoría de juegos. [15.] Algunas de las aplicaciones de los autómatas en

teoría de juegos incluyen el uso de autómatas finitos para representar las estrategias de los jugadores; autómatas adaptativos y autómatas celulares [16] para el estudio y representación del comportamiento de sistemas complejos.

Teoría de juegos:

Es por excelencia la teoría de la toma de decisiones independientes e interdependientes. En la teoría de juegos se pueden reconocer algunos elementos como: los jugadores, que pueden ser dos o más, la salida, que es el resultado de un conjunto completo de selecciones estratégicas de todos los jugadores, y las estrategias puras por cada uno de los jugadores, que se refieren a un conjunto de acciones que puede tomar cada jugador. Entonces, la teoría de juegos está relacionada con la toma de decisiones en entornos donde la salida depende de la decisión de dos o más jugadores autónomos. Los juegos como el ajedrez y las cartas caen dentro del ámbito de la teoría de juegos, pero también hay muchas otras situaciones sociales las cuales no son comúnmente consideradas juegos en el sentido cotidiano de la palabra [17]. La teoría de juegos se puede dividir en tres categorías de juegos: habilidad, oportunidad y estrategia con las cuales se pueden representar diferentes situaciones.

Teoría de la Decisión en sistemas de agentes:

La teoría de la decisión clásica, llamada así para distinguirla de una serie de teorías no clásicas que han crecido en los últimos años, es un conjunto de técnicas matemáticas para tomar decisiones sobre qué acción tomar cuando los resultados de las diversas acciones no son conocidos. Aunque el área creció mucho antes de que se concibiera el concepto de un agente inteligente, tales agentes son los responsables de tomar las decisiones y que pueden emplear útilmente la teoría de la decisión clásica. Un agente que opera en un entorno complejo es inherentemente incierto acerca de ese entorno; simplemente no tiene suficiente información sobre ambiente para conocer el estado actual de éste ni cómo evolucionará ese ambiente [18], [19].

Metodología

La metodología propuesta está basada en un enfoque empírico-analítico cuantitativo. Para el desarrollo del proyecto se parte de investigaciones científicas y experiencias previas relacionadas con los temas de toma de decisiones en robots y metodologías para su implementación, así como técnicas de optimización de las mismas, dentro de lo cual se contará aquellas diferentes alternativas de solución basadas en teoría de juegos, dado que esta última es altamente empleada en sistemas de toma de decisiones, aunque poco usada en sistemas robóticos. Con lo anterior es posible relacionar tareas, nivel de incertidumbre, recursos de software y hardware, costos en tiempo propias de la robótica social mediante una estructura de métricas específicas que se convertirán en los parámetros de negociación en el proceso de toma de decisiones óptimas, ejecución de las tareas y alcance del objetivo final de la tarea por parte del robot. La metodología se dividirá en las siguientes fases:

- FASE 1: La primera fase del proyecto está relacionada con una revisión detallada del estado del arte, enfatizando en los diferentes algoritmos usados en la jerarquía de toma de decisiones, es decir, de alto nivel como de bajo nivel. También se pretende identificar modelos propuestos, alternativas de solución y parámetros de desempeño utilizados para la optimización del sistema completo. De igual manera, es de utilidad identificar en qué plataformas robóticas se realizó la implementación y que tan flexible y portable es cada solución. Esta fase incluye la posibilidad



de replicar algunos de los resultados de las investigaciones de mayor interés y aporte, y que impacte de forma directa los objetivos de esta propuesta. Las principales fuentes de consulta a utilizar son artículos, libros, etc., publicados en conferencias, revistas indexadas, de las bases de datos *Springer*, *Science Direct*, *IEEE*, entre otras, y documentación de *RoboCup* como descripción de escenarios, artículos, reglamento, repositorios de software etc.

- FASE 2: al finalizar la revisión del estado del arte, en la segunda fase se procede a realizar la selección e identificación del escenario, tareas, condiciones, limitaciones, nivel de incertidumbre y demás aspectos implicados en una situación real del uso del robot *Pepper*. Lo anterior tendrá como punto de partida las órdenes, especificaciones y hoja de puntajes descritos en el *rulebook* de la liga *@home* de *RoboCup* del 2019 [4], con lo cual se establecen requisitos de hardware y software necesarios, además que se tendrán en cuenta las variables de entrada y salida del sistema software a desarrollar. En esta fase se contempla la definición y construcción del índice o índices de desempeño (tiempo de respuesta, tasas de éxito, número de bloqueos, lógica de la toma de decisiones, etc.) con las cuales se valide y evalúe el algoritmo propuesto en este proyecto.
- FASE 3: la fase 3 contempla el modelamiento del sistema completo como un juego. A partir de diferentes estrategias de teoría de juegos como juegos no colaborativos, juegos colaborativos, de información perfecta, imperfecta, juegos evolutivos, con información completa, incompleta, entre otros, se realiza el modelo de toma de decisiones entre las diferentes tareas que debe llevar a cabo la plataforma robótica desde las perspectivas de alto y bajo nivel. Como resultado de esta fase se desarrollan algoritmos y simulaciones para validar el modelo propuesto. Aquí se considera un proceso de realimentación para puesta a punta con respecto al modelo esperado. Al finalizar esta fase se espera contar con especificaciones para la implementación en el hardware (plataforma robótica *Pepper*). Con lo anterior, se obtienen las mediciones de los parámetros necesarios para los índices de desempeño definidos y que apoyarán la estrategia basada en teoría de juegos.
- FASE 4: esta fase es la primera de implementación en hardware, para la cual se cuenta con diferentes instrumentos, materiales, y herramientas computacionales como paquetes matemáticos y de ingeniería, algunos de los cuales están disponibles en la Universidad y otros que son de uso libre, como: MATLAB, Labview, Python y ROS. El principal interés en esta fase es el comportamiento de la plataforma robótica *Pepper* en comunicación con el software de adquisición de datos y la ejecución de algunas tareas de interacción definidas manualmente. En este punto se volverá a realizar una realimentación respecto a los índices de desempeño, el modelo basado en teoría de juegos y la estrategia planteada logrando pruebas necesarias para la interacción.
- FASE 5: con el objetivo de realizar las pruebas sobre el escenario seleccionado, se realiza la integración del sistema hardware (plataforma robótica, sistema de adquisición de datos), con el sistema software (algoritmo basado en teoría de juegos) con lo cual se valide el modelo en teoría de juegos y se pueda realizar una medición inicial del índice o índices de desempeño del sistema completo. Los resultados de esta fase realimentarán a los obtenidos en las fases anteriores, principalmente en la cual se incluye el diseño de las otras estrategias basada en teoría de juegos.
- FASE 6: la última fase del proyecto está dedicada a las pruebas de funcionamiento y optimización del sistema de acuerdo a los índices de desempeño propuestos y seleccionados en las anteriores fases, así como a la finalización del reporte final y artículo asociado a los resultados esperados de esta propuesta. El trabajo desarrollado permite generar nuevos proyectos de investigación en el área, propuesta de tesis de grado y registros de software de simulación.

Producto	Cantidad	Descripción
Nuevo conocimiento	1	Artículo Q3 o Q4
Desarrollo tecnológico	1	Registro de software
Producto de apropiación social del conocimiento	1	Participación en evento científico
Producto de formación de recurso humano	2	Dirección de tesis de pregrado

Horas nómina

Concepto	Nombre	Escalafón	Horas mes	Sede / Seccional o Externo	Total (\$)
Horas Nomina (Investigador Principal)	Sindy Paola Amaya	2	50	Sede Principal	12.065.937,50
Horas Nomina (Co-Investigadores)	Armando Mateus Rojas	2	25	Sede Principal	6.032.968,75

[illegible]

[illegible]



FINANCIACIÓN	RECURSO	DESCRIPCIÓN	Valor partida	Valor contrapartida (Externa)	Total (\$)
RUBROS	Servicios Técnicos	NA			\$ 0
	Salidas de campo	NA			\$ 0
	Equipos	NA			\$ 0
	Materiales, insumos y software	Costos asociados a los materiales, insumos y software que se serán usados para el desarrollo y la implementación del proyecto propuesto			\$ 10.000.000
BOLSAS	Papelería	NA			\$ 0
	Fotocopias	NA			\$ 0
	Material bibliográfico	NA			\$ 0
	Auxilio de transporte	NA			\$ 0
	Movilidad	Costos relacionados con la participación en evento académico con el objetivo de generar el espacio para la apropiación social del conocimiento.			\$ 6.000.000
	Publicaciones (Artículos, proceso editorial y traducción)	NA			\$ 0
TOTAL DEL PROYECTO:					16.000.000

Referencias bibliográficas

- [1] G.-Z. Yang, J. Bellingham, P. E. Dupont, P. Fischer, L. Floridi, R. Full, N. Jacobstein, V. Kumar, M. McNutt, R. Merrifield, B. J. Nelson, B. Scassellati, M. Taddeo, R. Taylor, M. Veloso, Z. L. Wang, and R. Wood, “The grand challenges of science robotics,” *Science Robotics*, vol. 3, no. 14, 2018.
- [2] T. B. Sheridan, “Human–robot interaction: status and challenges,” *Human factors*, vol. 58, no. 4, pp. 525–532, 2016.
- [3] S. J. Russell and P. Norvig, *Artificial intelligence: a modern approach*. Malaysia; Pearson Education Limited,, 2016.
- [4] M. Matamoros, C. Rascon, S. Wachsmuth, A. W. Moriarty, J. Kummert, J. Hart, S. Pfeiffer, M. van der Brugh, and M. St-Pierre, *RoboCup at Home 2019: Rules and Regulations (draft)*. 2019.
- [5] S. Almanasra, K. Suwais, and M. Mohd Arshad, *The Applications of Automata in Game Theory*, pp. 204 – 217. 05 2013.
- [6] M. Foukarakis, A. Leonidis, M. Antona, and C. Stephanidis, “Combining finite state machine and decision-making tools for adaptable robot behavior,” in *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*, pp. 625–635, Springer, 2014.
- [7] A. Mitrevski and P. G. Plöger, “Reusable specification of state machines for rapid robot functionality prototyping,” 2019.
- [8] A. Turnwald and D. Wollherr, “Human-like motion planning based on game theoretic decision making,” *International Journal of Social Robotics*, vol. 11, pp. 151–170, Jan 2019.
- [9] F. de Lucca Siqueira, P. D. M. Plentz, and E. R. De Pieri, “Semantic trajectory applied to the navigation of autonomous mobile robots,” in *2016 IEEE/ACS 13th International Conference of Computer Systems and Applications (AICCSA)*, pp. 1–8, IEEE, 2016.
- [10] Y. Mohammad and T. Nishida, *Data mining for social robotics*. Springer, 2015.
- [11] S. A. Green, M. Billingham, X. Chen, and J. G. Chase, “Human-robot collaboration: A literature review and augmented reality approach in design,” *International journal of advanced robotic systems*, vol. 5, no. 1, p. 1, 2008.
- [12] D. Feil-Seifer and M. J. Matarić, “Human robot interaction,” *Encyclopedia of complexity and systems science*, pp. 4643–4659, 2009.
- [13] V. Robotics, “A roadmap for us robotics: from internet to robotics,” *Robotics Virtual Organization*, 2016.
- [14] S. Robotics, “Robotics 2020 multi-annual roadmap for robotics in europe,” *SPARC Robotics, EU-Robotics AISBL*, The Hague, The Netherlands, accessed 2019, vol. 5, p. 2019, 2016.



- [15] S. Almanasra and M. Rafie, “Comprehensive survey on automata-based game theory,” in Proceedings of the 1st International Symposium on Computing in Science & Engineering, pp. 643–647, 2010.
- [16] K. C. Clarke, “Cellular automata and agent-based models,” Handbook of regional science, pp. 1–16, 2018.
- [17] A. Kelly, Decision making using game theory: an introduction for managers. Cambridge University Press, 2003.
- [18] S. Parsons and M. Wooldridge, “Game theory and decision theory in multi-agent systems,” Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, vol. 5, no. 3, pp. 243–254, 2002.
- [19] L. Hofer, Decision-making algorithms for autonomous robots. PhD thesis, 2017.