

Diseño de experiencia de aprendizaje para la promover el interés por la robótica en colegios de Costa Rica

Raúl Cabezas Gómez

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial

Juan Ignacio Garro León

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial

Informe final del proyecto para optar por el título de
Ingeniería en Diseño Industrial con el Grado Académico
de Bachiller

Raúl Cabezas Gómez, Juan Ignacio Garro León

Asesor Académico:

Yoselyn Walsh Zuniga, Ph. D.

Asesor en la empresa:

Juan Luis Crespo Mariño, Ph. D.

Cartago Noviembre 2023

Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Diseño Industrial
Trabajo Final de Graduación Bachillerato | 2 Semestre 2023

Trabajo Final de Graduación
Bachillerato Ingeniería en Diseño Industrial

Constancia de la Defensa

El Trabajo Final de Graduación presentado por los estudiantes Juan Ignacio Garro León carné 2017170197 y Raúl Cabezas Gómez carné 2016116731 para optar por el Título de Ingeniería en Diseño Industrial con grado académico Bachiller Universitario del Instituto Tecnológico de Costa Rica, titulado:

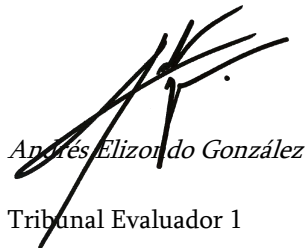
“Diseño de experiencia de aprendizaje para promover el interés por la robótica en los colegios de Costa Rica”

ha sido defendido el día 29 de noviembre del año 2023 ante el Tribunal Evaluador y su Profesor Asesor.

YOSELYN WALSH ZUÑIGA (FIRMA)
PERSONA FISICA, CPF-01-1302-0125.
Fecha declarada: 01/12/2023 04:51:06 PM
Esta es una representación gráfica únicamente,
verifique la validez de la firma.

Yoselyn Walsh Zúñiga

Profesor Tutor



Andrés Elizondo González

Tribunal Evaluador 1

MARIA EUGENIA QUESADA MONTERO (FIRMA)
PERSONA FISICA, CPF-03-0459-0529.
Fecha declarada: 01/12/2023 02:48:51 PM
Esta es una representación gráfica únicamente,
verifique la validez de la firma.

*María Eugenia Quesada
Montero*

Tribunal Evaluador 2

noviembre, 2023

Resumen

Las materias STEM se solicitan cada día más como parte del currículum básico de un mercado laboral que busca más ingenieros y programadores capacitados para continuar desarrollando nuevas tecnologías físicas y digitales. Desde el *diseño de experiencias educativas* se han explorado alternativas de enseñanza para estas disciplinas, buscando apoyo en teorías de *embodied learning* o aprendizaje corporal como un mecanismo para mejorar la comprensión y la retentiva. Este informe aborda el proceso de diseño de una experiencia de aprendizaje para estudiantes de décimo año en colegios públicos y privados de Costa Rica con el objetivo de promover el interés de carreras STEM en estudiantes preuniversitarios, específicamente en la robótica, al darles un primer acercamiento en la forma de una experiencia lúdica facilitada por un docente y con un juego de cartas en combinación con un robot como objeto de aprendizaje.

Al validar resultados, encontramos el valor que existe en utilizar herramientas analógicas en combinación con un objeto de aprendizaje de bajo costo en una metodología de actividades guiadas por docentes que no necesitan tener conocimientos expertos en la materia. La propuesta de diseño final: una experiencia diseñada para ajustarse a dos bloques lectivos de 40 minutos, en donde el estudiante se vuelve el punto de enfoque y el profesor un facilitador, apoyado desde una guía de interacción y el material didáctico diseñado a partir de experiencias de interacción. El resultado final aborda conceptos básicos de la robótica y sus puntos de fricción comunes a la hora de enseñarla.

Palabras clave:

Diseño de experiencias de aprendizaje. Embodied Learning. STEM K-12. Robótica. Aprendizaje lúdico.

Abstract

Interest in STEM fields continues and their inclusion in a professional's CV continues to grow as the labor market is actively seeking for engineers and programmers that are proficient in the development of both digital and physical new technologies. With *education experience design* as a starting point, new alternatives have been explored to find better ways to teach the contents that are part of such fields of knowledge, paying close attention to *embodied learning* as a mechanism to better understand and retain what is taught. This paper tackles the design process that was followed in order to develop an education experience for higher K-12 level students in both public and private highschools in Costa Rica. It was done so with the goal of promoting interest in STEM fields among soon to-be university students, in robotics specifically, by giving them a first contact with the subject in the form of a play-based experience that can be guided by a teacher in combination with a basic robot as a learning object.

We found, while running design validations, that there is much value in implementing analog tools as a low cost learning object in a guided methodology, in which the teacher does not need to have a deep background on the subject at hand. The final design proposal: a learning design experience tailor fitted for 2 class segments of 40 minutes each, in which the student becomes the center of focus and the teacher becomes a guide with the active support of an interaction guide. The final result walks you through the basics of robotics and its common pain points when being taught.

Keywords:

Learning experience design. Embodied learning. K-12 STEM. Robotics. Play-based learning.

Indice

1. Empresa.....	6
2. Problema.....	7
2.2 ¿Por qué se busca una solución de Diseño Industrial para este problema específico?.....	8
3. Objetivos, alcances y limitaciones.....	9
3.1. Objetivo General.....	9
3.2. Objetivos específicos.....	10
3.3. Alcances y limitaciones.....	10
3.3.1 Expectativas.....	10
3.3.2. Limitantes.....	11
3.3.3. Requisitos.....	11
4. Marco Metodológico.....	12
4.1. Metodología.....	12
5. Experiencia de aprendizaje.....	14
5.1. Introducción.....	14
5.2. Dificultades para enseñar el tema.....	15
5.3. Relevancia del proyecto.....	17
5.4. Objetivos de la experiencia de aprendizaje.....	18
5.4.1. Objetivo general de la experiencia:.....	18
5.4.2. Objetivos específicos de la experiencia:.....	18
5.5. Tema y contenidos específicos.....	18
5.6. Teorías de aprendizaje utilizadas.....	22
5.6.1. Embodied learning.....	22
5.6.2. Generar dudas para luego responderlas.....	22
5.6.3. Scaffolding.....	22
5.6.4. Aprendizaje lúdico.....	23
5.6.5. Constructivismo.....	23
5.7. Usuarios.....	23
5.7.1. Estudiantes.....	23
5.7.2. Profesores.....	24
5.8. Contexto.....	25
5.9. Benchmarking.....	26
5.9.1 Resultados del benchmarking.....	27
5.10. Propuesta final de la experiencia.....	28
5.11. Materiales.....	36
5.11.1. Prueba de conocimiento.....	36
5.11.2. Objeto de aprendizaje.....	36
5.12. Descripción de la tecnología usada y prototipado.....	37
5.13. Lista de componentes.....	39
5.13.1. Objetos virtuales:.....	39
5.13.2. Objetos físicos.....	39
5.14. Relación específica entre las variables.....	41
5.15. Guía de interacción.....	49
5.16. Plan piloto.....	51
5.16.1. Participantes.....	51
5.16.2. Contexto.....	51

5.16.3. Diseño experimental.....	53
5.16.4. Análisis de datos.....	78
6. Resultados.....	79
7. Discusión.....	88
8. Conclusiones y trabajo futuro.....	92
9. Referencias.....	93
10. Anexos.....	94

Índice de tablas

Tabla 1. Contenidos de la experiencia
Tabla 2. Pain Points y requisitos de los estudiantes
Tabla 3. Pain Points y requisitos de los profesores
Tabla 4. Mínimos comunes
Tabla 5. Resultados del benchmarking
Tabla 6. Relación entre las variables, el objeto de aprendizaje y su interacción.

Índice de figuras

Fig. 1. Cartas de categoría del juego de componentes
Fig. 2. Cartas de componentes del juego de componentes
Fig. 3. Solución del juego de componentes
Fig. 4. Instructivo del juego de programación
Fig. 5. Cartas de comandos del juego de programación
Fig. 6. Cartas de código del juego de programación
Fig. 7. Solución del juego de programación
Fig. 8. Cartas del juego de teoría vs práctica
Fig. 9. Journey Map de la experiencia
Fig. 10. Objeto de aprendizaje
Fig. 11. Lector RFID/NFC y cartas con “tags” para la interacción con el robot
Fig. 12. Estudiantes en el aula, en grupos de 5 integrantes durante la experiencia
Fig. 13. Estudiantes de Diseño Industrial del ITCR durante la prueba de concepto inicial
Fig. 14. Primera iteración de la guía de interacción
Fig. 15. Cartas de roles
Fig. 16. Primera iteración de las cartas del juego de componentes
Fig. 17. Primera iteración de las cartas del juego de programación
Fig. 18. Primera iteración del robot
Fig. 19. Primera iteración de la prueba de conocimiento
Fig. 20. Estudiantes resolviendo el juego de programación durante la fase experimental
Fig. 21. Segunda iteración de las cartas del juego de componentes

Fig. 22. Primera iteración del instructivo del juego de componentes

Fig. 23. Segunda iteración de las cartas del juego de programación

Fig. 24. Primera iteración del instructivo del juego de programación

Fig. 25. Segunda iteración de la prueba de conocimiento, con error de impresión

Fig. 26. Segunda iteración de la guía de interacción

Fig. 27. Tercera iteración de las cartas del juego de componentes

Fig. 28. Segunda iteración del instructivo del juego de programación

Fig. 29. Carta de secuencia del juego de programación, y la segunda iteración del instructivo

Fig. 30. Segunda iteración de la prueba de conocimiento

Fig. 31. Dibujo en la pizarra durante la actividad inicial del dibujo del robot

Fig. 32. Tercera iteración de la guía de interacción

Fig. 33. Tercera iteración del instructivo del juego de componentes.

Fig. 34. Tercera iteración del instructivo del juego de programación

Fig. 35. Cuarta iteración de la prueba de conocimiento

Fig. 36. Cuarta iteración del instructivo del juego de componentes

Fig. 37. Cuarta iteración del instructivo del juego de programación

Fig. 38. Quinta iteración de la prueba de conocimiento

Fig. 39. Quinta iteración del instructivo del juego de programación

Fig. 40. Segunda iteración del robot

Fig. 41. Estudiantes de mecatrónica programando el robot.

1. Empresa

El Laboratorio de Inteligencia Artificial para las Ciencias Naturales (LIANA), TEC se enfoca en investigación e investigación aplicada en robótica cognitiva e inteligencia artificial. Específicamente para el proyecto se enfoca en la difusión de la investigación y la robótica. Y la expectativa de la empresa con el proyecto es promover el interés por la robótica en estudiantes de secundaria con un primer acercamiento a las bases de la disciplina.

Desde Liana, buscan transmitir y promover las habilidades STEM (por sus siglas en inglés: Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemática) en estudiantes de colegio en Costa Rica. En concreto, se espera promover y visualizar el área el campo de estudio de la robótica e inteligencia artificial como una herramienta que pueda comenzar a ser utilizada como parte básica del proceso de enseñanza a estudiantes.

2. Problema

La Organización de las Naciones Unidas por medio del reporte de Objetivo de Desarrollo Sostenible publicado en 2015, establece objetivos para mejorar la vida en el planeta desde puntos de vista social, ambiental y económico. El objetivo de la Educación de calidad indica:

4.4. De aquí a 2030, aumentar considerablemente el número de jóvenes y adultos que tienen las competencias necesarias, en particular técnicas y profesionales, para acceder al empleo, el trabajo decente y el emprendimiento. [2]

Costa Rica, comprometida con los objetivos de desarrollo sostenible, está lejos de cumplir con el objetivo.

El informe del Estado de la Educación 2023[1] profundiza sobre las grandes carencias de la educación en Costa Rica a nivel de conceptos y habilidades esenciales (ej., comprensión de lectura) así como a nivel de habilidades requeridas para ingresar al campo laboral (tales como programación básica, robótica y conocimientos de sistemas digitales).

El MEP y los colegios privados hacen un gran esfuerzo por llevar programas y actividades de robótica a las aulas de primaria y secundaria. Sin embargo, no todos los profesores cuentan con conocimientos en robótica y carecen de recursos y conocimientos para diseñar actividades de aprendizaje en el área. Esta disparidad en los recursos disponibles para que el docente pueda enseñar robótica o implementarla dentro de sus herramientas, acentúa más las brechas en la educación que afectará al país en los próximos años.

2.2 ¿Por qué se busca una solución de Diseño Industrial para este problema específico?

Este proyecto busca tomar tecnologías que son cada día más implementadas en el campo investigativo, y que en los próximos años pasarán a ser cada vez más solicitadas por el mundo laboral, y colocarlas al alcance de quienes están en vías de comenzar sus carreras profesionales para posicionarlo como algo más familiar y accesible para cada vez más personas.

El impacto social que pueden llegar a tener proyectos como estos es el fortalecimiento de competencias y por tanto la mejora de calidad de vida a futuro de nuestra fuerza laboral. El diseño industrial se encuentra en una posición privilegiada para resolver este tipo de problemas por su metodología siempre enfocada en el usuario, y sobre todo en la persona. Específicamente desde el service design y el LxD, el diseño industrial tiene las herramientas iterativas y de diseño necesarias para poder diseñar un proceso de aprendizaje adecuado.

3. Objetivos, alcances y limitaciones

3.1. Objetivo General

Promover el aprendizaje de robótica por medio de una experiencia de aprendizaje para estudiantes de secundaria, en colegios públicos y privados costarricenses.

3.2. Objetivos específicos

OE1: Relacionar las necesidades de los usuarios con las características de los contenidos y el contexto de enseñanza.

OE2: Elaborar un objeto de aprendizaje de robótica y guías de interacción.

OE3: Validar el objeto de aprendizaje y guías de interacción mediante un plan piloto de evaluación.

3.3. Alcances y limitaciones

Los stakeholders fueron 4 profesionales del área de ingeniería: 2 profesores de mecatrónica, un profesor de computación, y el director del Laboratorio LIANA, quien fue nuestro asesor directo para efectos formales del proyecto. Se trabajó con ellos en conjunto para delimitar los objetivos y alcances del proyecto, así como las expectativas de cada participante para el resultado final. Al tener no a una, sino a varias personas como responsables directos de la dirección que fuera a ser tomada, decidimos realizar una reunión tipo entrevista.

Esta fue facilitada por nosotros como un taller de “alineamiento” en donde pudimos hacer las preguntas que considerábamos más importantes, escuchar las respuestas de cada participante y luego consolidarlas en afirmaciones que servirán como eje de dirección. Lo obtenido, fue lo siguiente:

3.3.1 Expectativas

Desde LIANA, se busca lograr la meta de diseñar una experiencia de aprendizaje introductoria a la robótica, con el fin de:

1. Ayudar a la comunidad nacional, colocando a Liana y el Tecnológico como un referente en robótica e inteligencia artificial
2. Democratizar el conocimiento y la enseñanza de los temas que se perciben como complejos
3. Dar un primer paso para la brecha que existe como barrera para el aprendizaje de temas STEM para estudiantes de recursos limitados

3.3.2. Limitantes

1. Hay pocas personas capacitadas en el área de robótica, con educadores que aún tienen cierto “miedo” por su nivel técnico.
2. Los temas STEM siguen estando poco estructurados para ser enseñados.
3. Existe una disparidad económica para el acceso al material necesario para aprender, y esto ha hecho que el área pública no tenga mucho contacto.

3.3.3. Requisitos

1. Que la actividad esté estructurada en cuanto a tiempo y roles.
2. Iniciar con materiales sencillos, de bajo costo para que podamos multiplicarlo y que sea de más fácil acceso.
3. Que los docentes no tengan que ser expertos en los temas, y que puedan sentirse cómodos liderando la experiencia.
4. Llegar a crear un material que tiene que verlo el docente y saber hacerlo suyo.
5. En un formato que pueda ser imprimible en papel o editable en digital.
6. ¿Cómo podemos suavizar la introducción a la experiencia?
7. Explicar el por qué de las cosas, aparte de qué enseñó, explico el por qué. Así se facilita mucho el que lo puedan adaptar.

4. Marco Metodológico

4.1. Metodología

La metodología se compone de 6 partes esenciales para cumplir con los objetivos del proyecto. Segmentadas en 3 etapas que responden a los objetivos del proyecto. A continuación se detallan:

1. Etapa de partida

Responde al objetivo específico #1. Es aquí en donde fundamentamos el proyecto, comenzando por la investigación de teoría de aprendizaje, de embodied learning y de sus aplicaciones en la enseñanza. En paralelo, por medio de entrevistas con los stakeholders, definimos los puntos clave de la experiencia y la situamos en un contexto esperado.

Investigación

1. Investigación de teorías de aprendizaje relacionadas a robótica
2. Benchmarking de referenciales y mínimos comunes
3. Definición de Usuarios (características, retos y necesidades, pain points y requisitos)
4. Definición los conceptos y variables por aprender (contenido)
5. Definición y caracterización del contexto de uso

2. Etapa de desarrollo.

Responde al objetivo específico #2. En esta etapa finalizamos la definición de la experiencia (sus objetivos y elementos) y construimos el material complementario necesario (guías de uso), así como el Journey Map que se debería cumplir.

Generación de ideas

1. Ideación inicial

2. Evaluación del concepto
3. Iteración
4. Selección de la propuesta

Experiencia de aprendizaje

1. Definición de objetivos de la experiencia
2. Elementos de la experiencia
3. Guías de interacción
4. Journey Map del producto final.

Prototipado

1. Se prototipa el material didáctico en físico.

3. Etapa de testeo.

Responde al objetivo específico #3. Una vez prototipado, la experiencia está lista para implementarse en salones de clase en la forma de un plan piloto, que va a poder ser testeado por medio de un pretest y un posttest que validen si el aprendizaje fue o no efectivo en la adquisición de conocimientos STEM. El proyecto finaliza con la documentación de los resultados y sus recomendaciones correspondientes.

Implementación

1. Diseño de pruebas
2. Colocación y testeo
3. Plan piloto para la evaluación del aprendizaje, resultados y conclusiones

Documentación

1. Informe y resumen ejecutivo
2. Anexos

5. Experiencia de aprendizaje

5.1. Introducción

Las habilidades STEM, son cada día más necesarias para entrar al mercado laboral existente. Sin embargo, existen prejuicios que hacen a las personas jóvenes creer que son difíciles y complejos. Además, existen diversas dificultades para enseñar el tema de robótica. Debido a esto, en conjunto con el laboratorio LIANA se planteó la posibilidad de desarrollar un kit de introducción a la robótica que fuese sencillo y que pudiera ayudar a “suavizar” este primer acercamiento a la robótica para personas jóvenes que han tenido poco o nulo contacto con el tema. Pero sobre todo, el propósito sería el de generar interés, que para efectos de este proyecto entendimos como el hacerles ver que lo que creían complejo, puede solucionarse y puede ser de utilidad. Luego de plantear el problema y hacer las preguntas correctas, se decidió que el camino a seguir en conjunto con la construcción del kit, sería el de diseñar una experiencia de aprendizaje.

5.2. Dificultades para enseñar el tema

Como primer paso, se conversó con los profesores asesores del proyecto acerca de las dificultades que han encontrado para enseñar el tema de robótica en sus clases. Esta sesión tipo entrevista se hizo con el fin de alinear a todas las partes y crear un *brief* de proyecto que pudiera servir como hoja de ruta de ese punto en adelante. Tuvimos además conversaciones individuales de manera periódica con cada uno de los stakeholders asesores, quienes en la conversación mencionaron que

los estudiantes piensan que el robot puede hacer todo lo que se imaginan “como en las películas” sin tomar en cuenta las limitaciones que presenta. Según uno de los profesores “si uno no le dice al robot qué hacer no lo va hacer.” Además expresaron que los estudiantes que han armado el kit prefieren materiales que se perciban como fuertes, porque siempre existe el miedo a romper o dañar algún componente o pieza, por lo que manipular el robot suele ser uno de los mayores desafíos.

A continuación exponemos los puntos principales de retroalimentación obtenido en estas conversaciones:

Uno de los problemas se presenta cuando el profesor no es del campo. Si tienen conocimientos de electrónica o incluso bases de informática y computación, comprenden los conceptos rápidamente, pero cuando un profesor viene de ciencias básicas, como física, matemáticas o biología, y nunca han interactuado con componentes electrónicos, tecnologías modernas, o robótica cómo tal, se sienten intimidados. Esto sucede porque lo perciben como algo complejo, puede manifestarse como un sentimiento de desactualización tecnológica.

Según el feedback que recibimos, el *pain point* principal para enseñar robótica es lograr que el estudiante entienda las diferencias entre la teoría y la práctica. Es común encontrar estudiantes frustrados que resolvieron una programación o construcción de robot de manera teóricamente correcta, pero que luego van a ver ese trabajo retado por situaciones del mundo real. — “Puedo explicarle cómo funciona: dónde están los motores, cómo se mueve y una programación básica para que vaya en línea recta por ejemplo. Pero no siempre sale a la primera. Sea por el suelo, por diferencias de potencias de cada motor, porque una tiene más adherencia, y muchos más factores que pueden influir” —.

El aprendizaje de la robótica sustentado en la programación es necesario para introducir a los alumnos en la comprensión de las interacciones entre el mundo físico y el virtual. [3] Deben ir de la mano, por lo que es necesario que tengan conocimientos básicos de las dos ramas. Es necesario que los estudiantes comprendan la arquitectura del robot, y además la programación que corresponde al lenguaje por el cuál el robot va a recibir comandos, y realizar las diferentes tareas que se le asignen.

En un experimento para la enseñanza de robótica en niños, una dificultad relacionada con el funcionamiento del robot es el manejo y dominio del mismo. [4]

El robot tiene características que deben conocerse para su buen manejo. Por ejemplo, hay que borrar una programación previa para poner la nueva, y lo cual no es conocido por las niñas y los niños previamente. Esto significa que cuando el robot no funciona como se esperaba los participantes no conocen que hacer, y este proceso de prueba y error es difícil de enseñar. ¿Qué está fallando? ¿Cómo lo soluciono? ¿Que tanto debo retroceder para encontrar el error? ¿Es un error de arquitectura o de programación?

Otras dificultades encontradas para la enseñanza o aprendizaje de robótica son:

- I. La dificultad para ensamblar el robot: muchas veces las instrucciones no son claras, y algunos estudiantes se saltan pasos importantes, mientras que otros los construyen de forma incorrecta.
- II. La dificultad de los estudiantes para comunicarse efectivamente acerca de sus proyectos de robótica. Algunos no sabían cómo explicar lo que habían hecho o por qué era importante, mientras que otros no sabían cómo responder preguntas sobre sus robots.

5.3. Relevancia del proyecto

Este proyecto busca tomar tecnologías que son cada día más implementadas en el campo investigativo, y que en los próximos años pasarán a ser cada vez más solicitadas por el mundo laboral. Esto con el fin de colocarlas al alcance de quienes están en vías de comenzar sus carreras profesionales para posicionarlo como algo más familiar y accesible para cada vez más personas.

El impacto social que pueden llegar a tener proyectos de este tipo es el fortalecimiento de competencias, y por tanto, la mejora de calidad de vida a futuro de nuestra

fuerza laboral. El diseño industrial se encuentra en una posición privilegiada para resolver este tipo de problemas por su metodología siempre enfocada en el usuario y sobre todo en la persona. Específicamente desde el service design y el LxD (*learning experience design*), el diseño industrial tiene las herramientas de diseño iterativas y de cocreación necesarias para poder diseñar un proceso de aprendizaje adecuado.

Todas las dificultades mencionadas anteriormente se toman en cuenta a la hora de diseñar material didáctico para facilitar estos conceptos y garantizar que su comprensión sea efectiva. Es por esto que por medio de una experiencia de aprendizaje con bases lúdicas que se sustente en teorías de aprendizaje y técnicas pedagógicas se puede tener una introducción a la disciplina que despierte el interés en los estudiantes.

5.4. Objetivos de la experiencia de aprendizaje

5.4.1. Objetivo general de la experiencia:

Diseñar una experiencia de aprendizaje para promover el interés por la robótica en estudiantes de secundaria por medio de un primer contacto con las bases de la disciplina.

5.4.2. Objetivos específicos de la experiencia:

OE1: Enseñar los componentes, nombres y funciones, por medio de un juego basado en aprendizaje corporal que les permita formar analogías entre los componentes y las funciones del cuerpo humano.

OE2: Enseñar el concepto de programación y autonomía, por medio de un juego que les permita identificar los errores más comunes en la lógica de programación de un robot.

OE3: Enseñar que la teoría difiere de la práctica, por medio de preguntas conceptuales y feedback inmediato del robot realizando los ejercicios planteados en las preguntas.

5.5. Tema y contenidos específicos

Contenido didáctico en el que se va a centrar el tema de la experiencia de aprendizaje, Para las partes del robot se tomaron en cuenta solo las que incluye el kit con el que se va a trabajar en la experiencia. Estos contenidos fueron facilitados por uno de los profesores asesores del proyecto al inicio del mismo.

Variable	Definición	Por considerar	Relación con otras variables
CONCEPTOS			
Concepto de robot	Es una máquina que se puede programar para hacer distintas tareas. Se usan en tareas peligrosas, difíciles o aburridas para los humanos.	El humano debe darle un comando para funcionar. Necesita una fuente de poder. Puede ser móvil o inmóvil.	El concepto de robot se relaciona con el modelo mental que ya tienen los estudiantes acerca de qué es un robot.
programación	Conjunto de datos ordenados correspondientes a las Instrucciones necesarias para que el robot desempeñe las tareas para las que ha sido diseñado.	Para esta fase, los estudiantes no deben tener contacto directo con el código pero sí comprender qué es y para qué sirve.	Sin la programación los componentes del robot no funcionan.
autonomía	Un robot no es autónomo. Necesita de la programación e instrucciones del usuario para poder tomar decisiones.	Los estudiantes deben entender que el robot necesita de una programación para ejecutar las tareas para las que fue diseñado, por lo que no tiene vida propia.	El robot no es autónomo, las decisiones que toma y los movimientos que hace dependen de la programación.
PARTES DEL ROBOT			
<i>actuadores</i>			
¿para que sirven?	Ejercen cambios sobre el estado del robot o sobre el mundo.	Por ejemplo, mover el robot a través del piso, mover una parte de un brazo robot, tomar un objeto.	El microcontrolador les indica que hacer.
motores	Son componentes que pueden impulsar el funcionamiento de una	Uno o más motores pueden utilizarse. Dos motores pueden	Generan movimiento, algunos

	máquina, y generar movimiento.	realizar funciones idénticas o distintas. Necesitan estar conectados al microcontrolador y a la energía.	componentes no pueden moverse sin motores.
ruedas	Elementos circulares que giran alrededor de un eje y le permiten la movilidad al robot.	Hay de diversos tipos, lo que limita dirección, velocidad y terreno por el cuál puede transitar.	Pueden o no tener motores.
interruptores	Dispositivo que permite desviar o interrumpir el curso de una corriente eléctrica.	La corriente se interrumpe cuando el dispositivo está accionado, y no viceversa.	Sin interruptores el robot seguirá consumiendo energía hasta acabarse.
<i>sensores</i>			
¿para qué sirven?	Son los dispositivos electrónicos que permiten saber información de obstáculos y evitar choques, también conocer cómo se mueve el robot para poder desplazarse correctamente.		Sin sensores el robot no puede conocer su estado interno (propiocepción), ni percibir el entorno (exterocepción).
sensor ultrasónico	Miden la distancia mediante el uso de ondas ultrasónicas. Emite una onda ultrasónica y recibe la onda reflejada que retorna desde el objeto. Miden la distancia al objeto contando el tiempo entre la emisión y la recepción.	La altura a la que se encuentra afecta lo que perciben o no. No detecta luz, solo distancia. Funciona en una línea recta. Tiene un pequeño delay (retorno de la onda).	Sin el sensor ultrasónico, al encontrar un obstáculo, los motores no se detienen.
Lector RFID	Sensor capaz de transmitir y recibir señales, convirtiendo las ondas de radio de los tags en un formato legible para las computadoras.	Es un sensor porque recibe información del entorno.	Permite la interacción con el usuario sin tener contacto directo con la programación, pero la interpreta, y el arduino ejecuta la acción que tiene la programación

			para un “tag” en específico.
<i>controladores</i>			
¿qué son?	Recibe toda la información que se obtiene de los sensores. Se programan reglas y se toman decisiones (Por ejemplo, si hay un obstáculo, hay que detener el robot). Los actuadores reciben órdenes del controlador. Usar la analogía con el cerebro de un animal o persona.	El más utilizado es el Arduino, que tiene un lenguaje de programación fácil.	Está relacionado con todos los componentes del robot.
microcontrolador	Circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria.	Se debe tener conocimiento previo y conocer el lenguaje de programación para utilizarlo.	Está relacionado con todos los componentes del robot.
<i>energía</i>			
Fuente de energía de un robot	El robot necesita energía eléctrica para funcionar.		Está relacionada con todos los componentes del robot.
baterías	Fuente de energía eléctrica necesaria para el funcionamiento.	Puede transmitirse a través de cables o baterías.	Los componentes necesitan energía eléctrica para funcionar.
cables	Los cables se utilizan para transmitir señales y energía al robot.		Los cables conectan todos los componentes entre sí.
<i>Teoría vs práctica</i>			
Identificación de errores	La teoría difiere de la práctica. La programación puede estar perfecta, pero muchas veces factores externos provocan que el robot falle.	Es importante que los estudiantes logren identificar errores, para luego poder solucionarlos.	La programación funciona junto a los componentes y viceversa.

Propiocepción	Conocer el estado interno del robot.	Por ejemplo, si está en movimiento o detenido, a qué velocidad va, si se está quedando sin batería.	La propiocepción del robot depende de los sensores.
Exterocepción	Percibir el mundo alrededor del robot.	Por ejemplo, identificar obstáculos.	La propiocepción del robot depende de los sensores.

Tabla 1. Contenidos de la experiencia

5.6. Teorías de aprendizaje utilizadas

5.6.1. Embodied learning

“Es una teoría con orientaciones pedagógicas basadas en la interacción cuerpo – mente. Se basa principalmente en experiencias o vivencias en las cuales se capta la información a través de sensaciones y movimientos” [5]
Se decidió incorporar esta teoría, ya que los estudiantes en su mayoría le atribuyen características de humanos a los robots. Por medio de analogías y movimientos se plantea que pueda mejorar la comprensión y retención del aprendizaje al hacer una conexión directa entre las funciones de los componentes y su aproximación al cuerpo humano.

5.6.2. Generar dudas para luego responderlas

Se utilizó también la técnica pedagógica de generar dudas para luego responderlas. Esta responde a que si se generan dudas al inicio de la experiencia, los estudiantes intentarán responderlas durante el aprendizaje. Esto se logra a través de la prueba de conocimiento que se hace al inicio de la experiencia, no solo para evaluar el conocimiento previo, si no también para enfocar el aprendizaje. Más adelante mencionaremos un poco más acerca de este método y su fundamento, en el apartado de discusión.

5.6.3. Scaffolding

La técnica de *scaffolding*, es por tanto “aquellas estructuras, actividades o estrategias de apoyo que el profesor aporta para que el alumno construya el conocimiento” [6]. En otras palabras, esta técnica procura que los procesos de aprendizaje construyan uno sobre el otro, de manera que el ejercicio hipotético #2 regresa a lo aprendido en el ejercicio #1 y lo implementa en una escala sucesiva. Esto permite reforzar conocimientos al mismo tiempo al que se aprenden nuevos.

5.6.4. Aprendizaje lúdico

El método lúdico, es un conjunto de estrategias diseñadas para crear un ambiente de armonía en los estudiantes que están inmersos en el proceso de aprendizaje. Este método busca que los estudiantes se apropien de los temas, impartidos por los docentes utilizando el juego. [7]

Se diseñaron 3 juegos de cartas, con los que el estudiante va aprendiendo los temas, de una manera más amigable para un tema que se percibe como complejo. Decidimos tomar este camino luego de una conversación con uno de nuestros profesores de carrera, quien nos dijo que “el motor del aprendizaje es la diversión”.

5.6.5. Constructivismo

El aprendizaje constructivista a diferencia del sistema tradicional, que se basa en la memorización y repetición, busca que el mismo alumno construya su propio conocimiento a partir de enseñanzas previas. Gracias a este método de enseñanza, y por medio de un dibujo se logró que los estudiantes creen relaciones a partir de un modelo mental del robot muy fuerte que predomina y luego solo se deban reforzar durante la experiencia.

5.7. Usuarios

5.7.1. Estudiantes

Corresponden a estudiantes de secundaria cursando décimo año de colegios públicos y privados. La experiencia se pensó para ser implementada en las lecciones de informática, computación o materias afines a tecnología, en dos lecciones de 40 minutos cada una (el estándar a nivel colegial en el país). No deben tener conocimientos previos ya que la experiencia corresponde a una introducción del tema. Las necesidades identificadas en los estudiantes, corresponden a:

- Adquirir conceptos y habilidades para ingresar al campo laboral actual.
- Tener una introducción amigable a conceptos STEM.
- Poder interiorizar y poner en práctica los conocimientos adquiridos con la experiencia.

Y los retos identificados son:

- Población de muy baja tolerancia a la frustración.
- Tienen la expectativa de un aprendizaje inmediato.

Se identificaron problemas comunes y dificultades para enseñar el tema en los estudiantes que responden a un requisito de diseño, y se detallan a continuación.

Pain point	Requisito
Percepción de autonomía del robot.	Abordar en etapas tempranas de la experiencia los conceptos de robot, propiocepción y exterocepción.
Percepción del material: delicado y costoso.	La percepción de los materiales y componentes debe ser robusta.
Adquisición del conocimiento de robótica (conocimiento abstracto).	Utilizar técnicas de scaffolding y exploración en los componentes de la actividad de aprendizaje.
Adquisición del conocimientos de programación y estructurales del robot.	Relacionar la programación con los componentes. No funcionan uno sin el otro.
Dificultad en la identificación de errores.	Implementar procesos para la identificación y análisis de errores.
Dificultad para el ensamblaje del robot.	Incluir instrucciones para armar y desarmar el robot, así como los alcances de la actividad.

Tabla 2. Pain points y requisitos de los estudiantes

5.7.2. Profesores

Corresponden a los facilitadores de la experiencia. Son del área de ciencias informáticas o tecnología, estén o no familiarizados con la robótica.

Las necesidades identificadas en los profesores, corresponden a:

- Lograr hacer una introducción efectiva a la temática para sus estudiantes.
- Poder tomar la experiencia de base, sentirse en dominio del tema, y modificarla según su estilo de enseñanza.

Y los retos identificados son:

- En su mayoría, no tienen el conocimiento previo necesario para impartir los temas.
- Hay una resistencia por su desactualización y percepción de “algo sumamente complejo”.

Se identificaron problemas comunes y dificultades para enseñar el tema por parte de los profesores que responden a un requisito de diseño, y se detallan a continuación.

Pain point	Requisito
No tienen conocimientos de robótica. Problemas de implementación en la clase.	Diseñar guías para que el profesor implemente y guíe la actividad en la clase.
Se sienten intimidados por el tema de robótica.	Diseñar actividades que comprendan desde lo más sencillo y general a lo específico, para ir adquiriendo conceptos progresivamente.

Tabla 3. Pain points y requisitos de los profesores

5.8. Contexto

El contexto físico donde se lleva a cabo la experiencia corresponde a las aulas de los centros educativos de

colegios públicos y privados del país, donde se encuentran los elementos comunes como pupitres, pizarra, marcadores, hojas de papel, estanterías, los cuáles son acomodables y reorganizables, además se pueden disponer de ellos para usarlos o removerlos para la actividad. Además se tomó en cuenta que se busca abarcar a la mayor población posible para estrechar la brecha existente entre colegios públicos y privados por lo que la experiencia no requiere de accesibilidad a recursos como internet, celulares, computadoras, solamente un proyector para la presentación del profesor facilitador.

Para la experiencia, solamente necesitan de los pupitres o sillas que puedan reacomodar para hacer grupos de 5 personas, y un lápiz y papel para la primera actividad de la experiencia. Además el profesor necesita del proyector para la presentación guía de la experiencia.

5.9. Benchmarking

Se analizaron 10 referenciales por medio de una variación de la técnica de identificación de mínimos comunes. En una tabla tradicional, se habrían contrastado las funcionalidades y elementos de interacción presentes en herramientas y diseños previamente implementados. En cambio, optamos por una tabla de doble entrada que indicara el tipo de elemento que se analizaba y el valor agregado que brindaba. Lo hicimos de esta manera al encontrar que el grueso de elementos analizables eran textos como artículos y tan solo unos pocos productos comerciales.

mínimos comunes

	Value Stories	Cozmo	Tale-Bot	Dash Class Connect	ZeroRobot
descripción	HERRAMIENTA	ROBOT SOCIAL	ROBOT DIDÁCTICO	ROBOT VIRTUAL	ROBOT
valor	Definen las principales áreas de valor de manera tangible, visible, comprensible.	Cambio de interfaz: programación sin pantalla, diseñado para el aprendizaje de robótica específicamente	Robot para educación infantil (de 3 a 5 años), con el propósito que aprendan conceptos básicos de programación y secuenciación sin uso de pantallas y sin necesidad de saber leer.	Acceso a un "test run" del código en un entorno virtual, con un modelo virtual del robot físico, antes de pasar a implementarlo en el objeto tangible.	Robot para niños controlado por medio de un app de realidad aumentada. Implementa la gamificación.
	AdaClassroom	RVR	Sphero Blueprint	Lu Kang Lego Robotics	TouchMe
descripción	EXPERIENCIAS DE APRENDIZAJE	KIT LEGO	KIT LEGO	EMBODIED LEARNING EXPERIENCE	INTERFAZ DE RA
valor	Empresa dedicada a diseñar experiencias de aprendizaje significativas en Programación y Tecnología. Experiencia para aprender sobre alimentación saludable y reciclaje utilizando robótica y realidad aumentada.	Kit Lego EV3 Education. Se compone de conectores, espaciadores, ruedas, vigas, ejes, sensores, engranajes y motores.	Una herramienta que puedan armar y usar rápidamente para enseñar varios conceptos. Así, se concentra más tiempo de la clase haciendo, aprendiendo y haciendo preguntas.	Aprendizaje a través de un agente, implementando 2 formas de aprendizaje corporal: 1. direct embodiment 2. imaginary embodiment	Interfaz que permite controlar un robot por medio de realidad aumentada. Permite ver con anterioridad los movimientos del robot.

Tabla 4. Mínimos comunes

Una vez identificadas completada la tabla, definimos 6 preguntas generadoras, en donde cada una respondía a requisitos que debía tener la propuesta final de diseño. Esto nos permitió además conocer los proyectos análogos existentes y así como el estado de la enseñanza del tema en la actualidad.

5.9.1 Resultados del benchmarking

¿Qué buscamos en los referenciales?	¿Qué obtuvimos?
¿Se utiliza un robot físico?	Sí, pero se utiliza no solo para enseñar robótica, si no también como herramienta para enseñar otras materias, usualmente en la forma de asistentes humanoides. En contraste, existen también robots modulares especializados para la enseñanza de robótica, pero son altamente complejos y costosos. Para nuestros propósitos definimos como importante poder combinar las bondades técnicas del robot especializado con la usabilidad y factor amigable presente en los asistentes de clase.
¿Qué material complementario suele estar presente?	Se necesita de información adicional y recursos complementarios. En su mayoría los robots y programas educativos que encontramos cuentan con material virtual como un app, software web, un manual de instrucciones digitales e incluso librerías de recursos didácticos. El poder generar este tipo de recursos como trabajo futuro daría mucho valor a la experiencia si se logra la motivación en los participantes.
¿Qué tecnologías o dispositivos se implementan?	Se utiliza tecnología complementaria como celulares, tablets, internet, computadoras y proyectores. Ante esto, encontramos una oportunidad de diferenciación. ¿Podríamos prescindir del aspecto tecnológico para cerrar brechas con comunidades de baja capacidad adquisitiva?
¿Las experiencias son guiadas?	La guías de experiencias son variadas, con docentes, manuales de usuario, instrucciones o como un juego con storytelling. Ante esto, entendemos que

	contamos con la flexibilidad para adecuarnos al contexto, pero existe la limitante del conocimiento previo por parte del docente.
¿Con qué controles interactúan los usuarios?	Dimos con una fotografía de tres niñas usando una misma computadora. Cada una tenía un mouse que controlaba una parte del programa que estaban usando, y necesitaban de cada una para poder avanzar. Al ver esto, entendimos que de ser viable y dependiendo de la propuesta a diseñar, podríamos segmentar los controles o materiales para buscar que un solo objeto de aprendizaje pueda ser usado por más personas sin la necesidad de utilizar más recursos.
¿Qué contacto tienen con el código?	No hay contacto directo con código, se utilizan modalidades como “drag and drop”, bloques arrastrables con funciones pregrabadas, interfaz con botones. El código o programación es un lenguaje y su aprendizaje toma tiempo, pero el primer acercamiento es conocer el concepto y entender que corresponde a las instrucciones del robot.

Tabla 5. Resultados del benchmarking

5.10. Propuesta final de la experiencia

La propuesta final de la experiencia de aprendizaje para la introducción a la robótica consiste en una sesión de 80 minutos (dos lecciones escolares) facilitada por un docente. Se definió de esta manera luego de haber validado los tiempos estimados durante la etapa de *testeo* y para ajustarlo al estándar de lección de 40 minutos utilizado en el sistema educativo del país. El resultado fue una dinámica muy centrada en los estudiantes y no tanto así en la figura del docente. De esta manera se garantiza un ambiente de clase mucho más invertido en las actividades, ya que se introduce una manera de aprender en donde son partícipes y no solo espectadores. Son ellos mismos quienes avanzan cada uno de los juegos al organizarse en grupos y ellos mismos también tienen la posibilidad de reforzar su aprendizaje por medio de espacios de discusión y presentación a la clase.

La experiencia consta de 4 secciones detalladas a continuación, en las que se implementan teorías de aprendizaje como el “embodied learning” y el aprendizaje lúdico, así como técnicas pedagógicas como el “*scaffolding*”. Además, lo aprendido en cada sección, toma relevancia en la siguiente, formando así un hilo conductor, todo a partir de un aprendizaje constructivista.

Antes de iniciar la experiencia se hace una prueba de conocimiento, que ayuda no solo a evaluar los conocimientos previos que tienen los estudiantes acerca del tema, si no también a enfocar el aprendizaje, utilizando la técnica pedagógica de generar dudas para luego resolverlas. Al generarse una duda desde el inicio de la experiencia, los estudiantes estarán buscando como encontrar la solución durante el aprendizaje. (ver anexo 1)

Sección 1. ¿Qué es un robot?

Se inicia con lo más general, el modelo mental que tienen los estudiantes de un robot. La primera actividad consiste en que deben dibujar en un papel en blanco, un robot, con libertad de hacer lo que tengan en mente. Seguido de esto el facilitador dibuja en la pizarra el modelo mental de robot, que tiene características de humano, que corresponde a lo que hizo la mayoría. Esto empatiza con ellos y de este dibujo se derivan las siguientes dos actividades. Luego de que terminan el dibujo el profesor facilita el concepto de robot, y les introduce al robot y el “kit” que van estar utilizando durante la experiencia.

Sección 2. Componentes. ¿Cuáles son los componentes electrónicos que conforman el robot?

Esta sección comprende la segunda actividad de la experiencia en la que los estudiantes conocen los componentes electrónicos del robot, y sus tipos. En el dibujo que hicieron, se les pide que señalen los componentes del robot, como la mayoría hicieron un robot humanoide y aún no saben el nombre real de los componentes, la mayoría escriben “ojos, brazos, cerebro...” asociándolos con el cuerpo humano. Esta relación, nos permite utilizar la teoría de aprendizaje de “embodied learning” para reforzar estas relaciones por medio de analogías donde asocien el componente del robot con una parte del cuerpo humano y haya mejor éxito en el aprendizaje.

Los componentes y tipos de componentes del robot los aprenden a través de un juego de cartas, que consiste en 4 cartas de categoría, y 8 cartas de componentes. Las cartas de categoría corresponden a: 1) controlador, 2) sensores, 3) actuadores y 4) energía.

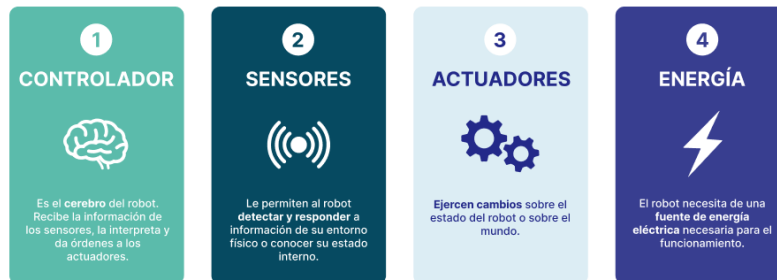


Fig. 1. Cartas de categoría del juego de componentes

Las cartas de los componentes corresponden a cables, ruedas, motores, interruptor, Arduino, lector RFID, sensor ultrasónico y baterías. Las cartas de componentes en su reverso tienen una acción, que responde a la analogía de “parte del robot/parte del cuerpo humano”. Esta acción la deben realizar los 5 miembros del grupo y es donde se aplica el embodied learning.



Fig. 2. Cartas de componentes. Juego de componentes

El juego de componentes no posee un folleto de instrucciones, si no que el profesor las da apoyándose en la guía de interacción, para asegurarse que el juego se lleve a cabo en el orden lógico necesario. Los estudiantes primero leen las 4 cartas de categoría y las ponen sobre la

mesa. Las cartas de componentes se ponen apiladas hacia abajo, con la cara de la acción hacia arriba.

Seguido de esto, tomando turnos, un estudiante toma una carta de componente, la lee en voz alta y todos los miembros realizan la acción. Seguido de esto, gira la carta, lee el componente asociado y lo debe categorizar en las 4 cartas iniciales. Por ejemplo: Un estudiante toma una carta y lee la acción que debe realizar: “Estire los brazos hacia el frente, cierre las manos y luego ábralas, ¿qué órgano de su cuerpo da estas órdenes?” La respuesta es cerebro. Luego gira la carta, que corresponde al arduino, lee la definición para los demás y la debe colocar en la categoría de controlador. Y así sucesivamente.



Fig. 3. Solución del juego de componentes

Una vez todas las cartas de componentes categorizadas, se les entrega un componente individual por grupo. Los estudiantes deben analizar el componente en sus grupos y luego escoger a un miembro que pase al frente a decir la definición del componente y en qué categoría está ante toda la clase.

Sección 3. Funcionamiento. ¿Cómo le doy una instrucción al robot?

Una vez que saben qué es un robot, y sus partes, ¿cómo lo hacemos funcionar?. En esta sección se introducen los conceptos de autonomía, y programación del robot. Se les pide que le den una función al robot que dibujaron, y aunque no hayan pensado en una, deben inventarla. Las funciones que predominan son asistente, niñera, mayordomo y ayudante, por lo que inician a relacionar el robot con un sistema que recibe instrucciones. Gracias a esta relación se implementa el juego donde comprenden el concepto de programación, autonomía del robot y que deben darle instrucciones o una orden para que funcione. El profesor facilita los conceptos de autonomía del robot, y de programación, para luego entregarles el juego de cartas de programación.

Este posee un folleto de instrucciones que los estudiantes leen y se les da una cantidad de tiempo para que lo resuelvan.

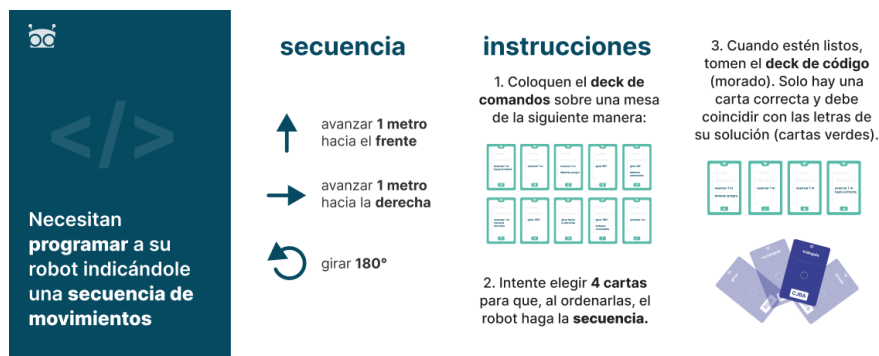


Fig. 4. Instructivo del juego de programación.

Incluye 10 cartas de “comandos” y 4 cartas de “código”, y es necesario el robot para verificar la respuesta correcta.



Fig. 5. Cartas de comandos del juego de programación



Fig. 6. Cartas de código del juego de programación.

El juego consiste en que los estudiantes con las cartas de “comandos” deben crear una secuencia, que se encuentra en el folleto de instrucciones y verificarla con las 4 cartas de “código”, ya que solo hay una correcta. Una vez que encontraron la carta correcta, se pueden acercar con la misma y ponerla en el lector del robot y este va a realizar la figura geométrica que indique la carta, solo si es la correcta. Al acercar la carta al robot, y que este realice una acción, comprenden que uno debe darle una instrucción al robot.



Fig. 7. Solución del juego de programación.

Sección 4. Teoría vs Práctica. ¿Qué pasa si el robot falla?

Esta sección comprende la identificación de errores y problemas en el funcionamiento del robot en la vida real. Además, los conceptos de propiocepción y exterocepción. Una vez que los estudiantes saben qué es un robot, cómo está ensamblado, y cómo la programación son las instrucciones para que funcione, ¿qué sucede si el robot

falla? Este juego es guiado y facilitado por el profesor, donde apoyándose en la guía de interacción, los lleva a través de dos escenarios. Para esto, el juego incluye 4 cartas, dos para cada escenario, una con una programación “correcta” y una “incorrecta”.



Fig. 8. Cartas del juego de teoría vs práctica

El primer escenario corresponde a “El robot avanza en una línea recta”. El profesor les dice que el robot está ensamblado correctamente y la programación está correcta, por lo que debería funcionar bien. El profesor acerca la carta de programación “incorrecta” al lector RFID, y el robot avanza sin control, y en un patrón desordenado. Se les hace la pregunta de ¿qué puede estar fallando? La carta con la programación incorrecta, en el reverso tiene la respuesta, una vez que la acierten, el profesor acerca al lector RFID del robot la carta correcta, y el robot avanza en línea recta.

Para el segundo escenario, sigue la misma dinámica, pero el escenario corresponde a “El robot recorre libremente, y se detiene ante un obstáculo”. En este caso, en la carta con programación “incorrecta” falla el sensor ultrasónico. Una vez que acierten la respuesta, el profesor utiliza la carta correcta y el robot se detiene ante un obstáculo.

Una vez que los estudiantes pasaron por ambos escenarios, el profesor facilita los conceptos de propiocepción, ¿cómo el robot reconoce su estado

interno? y exterocepción, ¿cómo el robot percibe su entorno?, ya que los estudiantes vieron al robot funcionar en un ambiente y escenario real. Estos conceptos se facilitan, cada uno, por medio de una analogía, en la guía de interacción digital.

Por último se hace la misma prueba de conocimiento, (ver anexo 1) para así poder evaluar lo que aprendieron los estudiantes. Toda la experiencia se encuentra facilitada por el profesor, que cuenta con una guía de interacción que corresponde a una presentación interactiva digital, que proyecta en la clase para ir llevando a cabo la experiencia. Para el cierre, el profesor incita a los estudiantes a buscar más información de las carreras de esta disciplina que ofrece el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

journey map

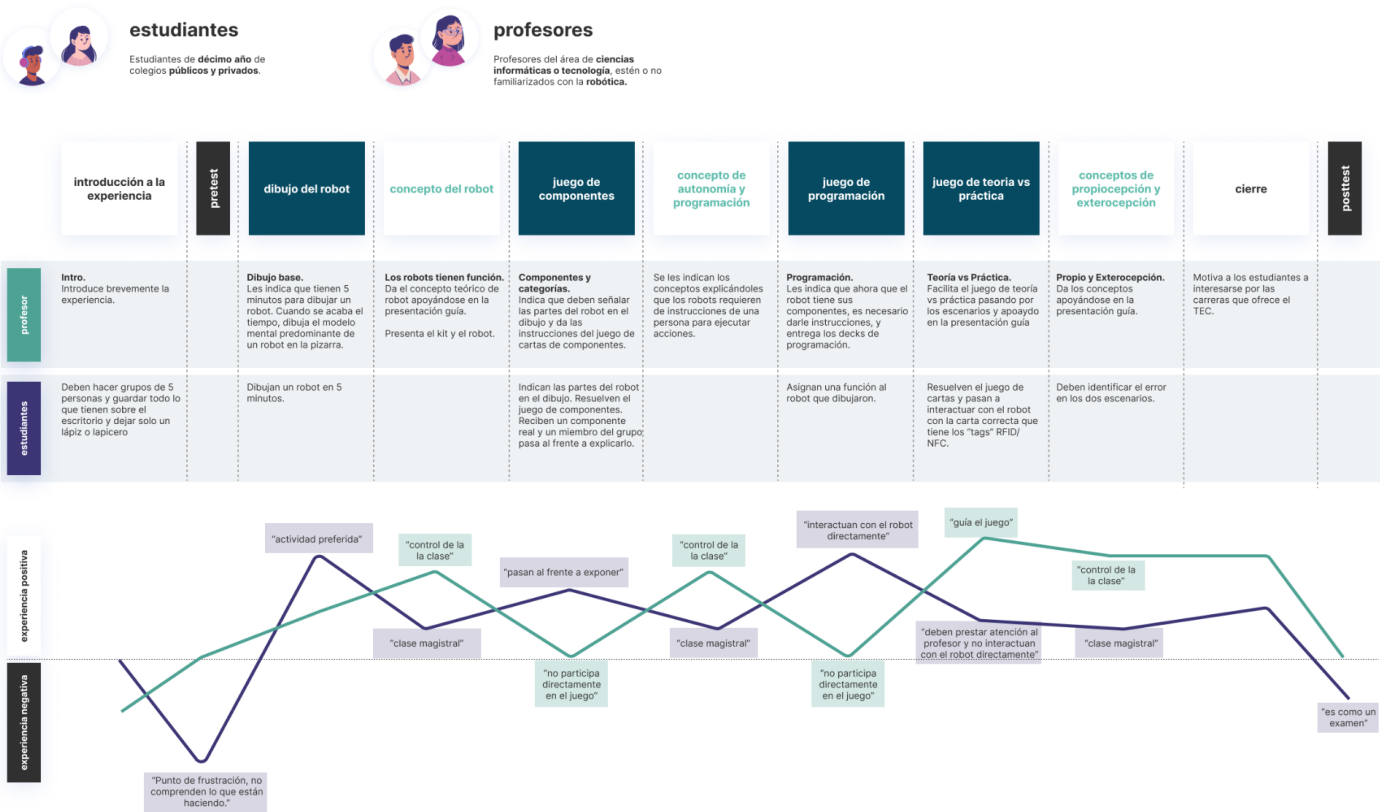


Fig. 9. Journey map de la experiencia (Ver anexo 4)

5.11. Materiales

5.11.1. Prueba de conocimiento

La prueba de conocimiento desarrollada tuvo varios cambios durante las pruebas de usuarios. Es importante destacar que encontramos necesario hacerla al inicio de la experiencia para enfocar el aprendizaje. Generar las dudas para que luego los estudiantes busquen cómo contestarlas ayudó a que retuvieran mejor los conceptos, según pudimos comprobar al contrastar los datos de los días en los que se hizo *pretest* respecto a los que no lo incluyeron. Además debe hacerse al final de la experiencia de nuevo como instrumento de evaluación para el profesor. La prueba consiste en 3 secciones, siendo la primera de 12 preguntas de respuesta breve acerca de los conceptos generales y partes del robot. La segunda sección es un ejercicio de asociación para que los estudiantes categoricen los componentes del robot. La sección 1 y 2, investigan el conocimiento general de los estudiantes y el dominio que tienen del tema antes y después de la experiencia. La sección 3 consiste en una pregunta de desarrollo, que comprende lo aprendido en el juego de teoría vs práctica, la cuál tiene una relación directa con el objeto de aprendizaje.

(Ver anexo 1)

5.11.2. Objeto de aprendizaje

El objeto de aprendizaje corresponde a un “kit” de introducción a la robótica que incluye:

- 1 Robot uni-cli droid, ya ensamblado y programado para que los estudiantes interactúen con él por medio de tarjetas de comandos (RFID/NFC).
- 3 decks de cartas con sus respectivos manuales de instrucciones, y tags RFID/NFC:
 - Juego de componentes
 - Juego de programación
 - Juego de identificación de errores (teoría vs práctica)
- 6 componentes del robot individuales para que los estudiantes interactúen con ellos y los reconozcan.

- Guía de interacción digital, que corresponde a la presentación que utiliza el facilitador para guiar la experiencia en un proyector.
- Prueba de conocimiento: se aplica al inicio de la experiencia para enfocar el aprendizaje, y al final de la experiencia para evaluar lo aprendido. En formato digital para imprimir.

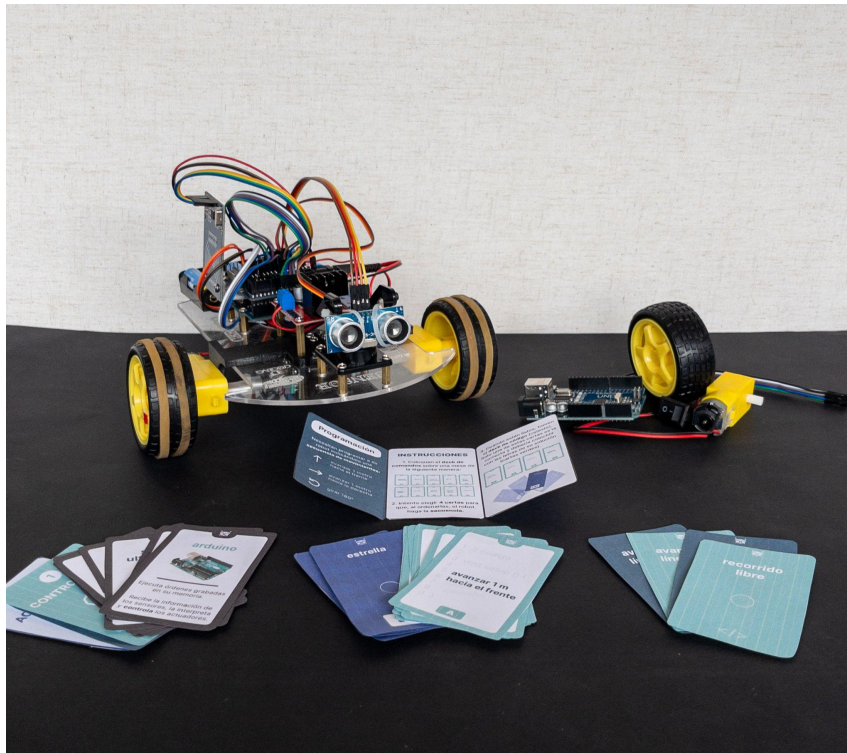


Fig.10. Objeto de aprendizaje

5.12. Descripción de la tecnología usada y prototipado

Para la experiencia, la escuela de Ingeniería en mecatrónica facilitó un robot que los stakeholders solicitaron que fuera parte del objeto de aprendizaje, con el fin de hacer un “kit” para llevar a los colegios. Este robot es utilizado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica en los cursos de robótica y robótica móvil de la carrera de mecatrónica. El robot está diseñado para niños de 13 años en adelante, y se entrega desarmado para que sean ellos quienes se encarguen de configurarlo. No tiene un control externo, por lo que se debe programar desde la computadora, cargando el código en el Arduino.

El propósito del robot es avanzar en modalidad de recorrido libre para luego cambiar de dirección al detectar un obstáculo, y también puede programarse para hacer recorridos de figuras geométricas como círculos, cuadrados y triángulos. Tiene un costo de aproximadamente \$30 y se nos facilitaron 2 unidades, uno armado para experimentar e implementar en la prueba piloto de la experiencia y otro desarmado, para poder examinar cada componente de manera independiente.

Una vez en la etapa de pruebas, comenzamos a testear distintas programaciones básicas para incluir en nuestras pruebas piloto en centros educativos, pero el robot presentaba fallos en su versión base. Aunque los motores son idénticos en sus especificaciones y del mismo fabricante, giraban a diferentes velocidades y esto dificultaba que avanzara en línea recta por lo que fue necesario agregar un sensor o encoder en cada motor para poder controlar el recorrido. Para agregar estos componentes fue necesario diseñar e imprimir piezas en 3D para su sujeción. Además se reemplazó la rueda trasera que incluye el kit por una “caster ball”.

Por otro lado, se diseñaron decks de cartas, para hacer 3 juegos didácticos donde los estudiantes aprendieran los conceptos. Algunas de estas cartas incorporan tecnología RFID/NFC para que al acercarla al robot durante las actividades, este realice una acción. Esto debido a que se definió que para la experiencia, los estudiantes no tenían que tener contacto directo con código, pero si necesitaban adquirir los conceptos de autonomía, programación y que es necesario darle al robot una “orden” o instrucción para que este realice una acción. Se optó por agregar el lector al Uni-CLi droid, para así poder controlar las diferentes acciones del robot por medio de un “tag” emisor que se incorporó en las cartas, para que cuando el estudiante acerque la tarjeta al lector, el robot lo reconozca y realice la acción correspondiente a la actividad.

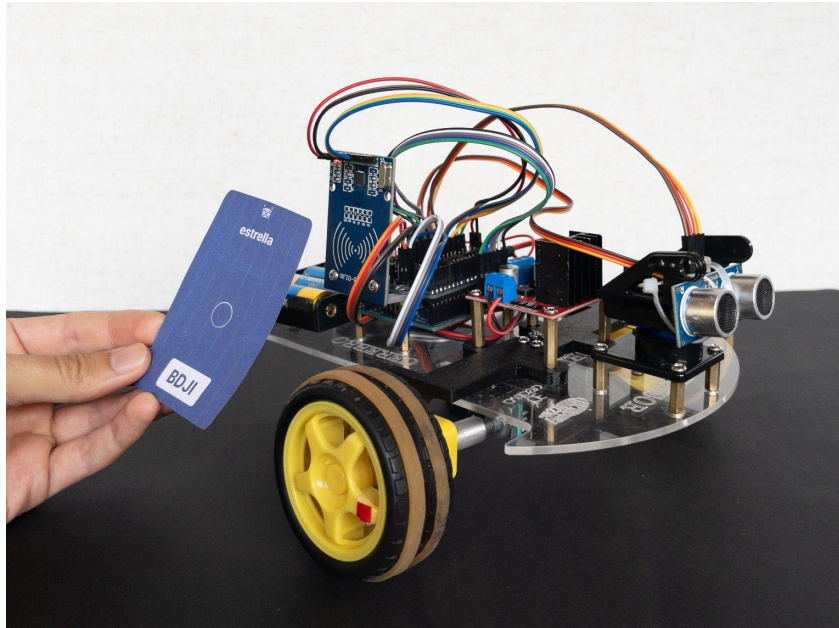


Figura 11. Lector RFID/NFC y cartas con “tags” para la interacción con el robot

5.13. Lista de componentes

5.13.1. Objetos virtuales:

- Guía de interacción: Corresponde a la presentación guía digital que le permite al facilitador guiar la experiencia. (ver anexo 2)
- Cuestionario previo: corresponde a la prueba de conocimiento. Se aplica al inicio de la experiencia para enfocar el aprendizaje, y al final de la experiencia para evaluar lo aprendido. En formato digital para imprimir. (ver anexo 1)

5.13.2. Objetos físicos

- Hoja de papel en blanco, lápiz/lapicero: es el único recurso que los estudiantes deben de tener para hacer el pretest, y el dibujo del robot.

- Decks de cartas:
 - Juego de componentes: deck de cartas para el juego donde los estudiantes aprenden los componentes por medio de embodied learning y sus categorías. Contiene 8 cartas de componentes y acciones, 4 cartas de categoría y el manual de instrucciones.
 - Juego de programación: deck de cartas para el juego donde los estudiantes tienen un primer contacto con la lógica de programación, formando una secuencia y luego probando en el robot. Contiene 10 cartas de comandos, manual de instrucciones y 4 cartas con la secuencia correcta. Estas 4 cartas de la secuencia tienen el “tag” RFID/NFC, para poder interactuar con el robot.
 - Juego teoría vs práctica: 4 cartas con “tag” NFC/RFID, para poder darle al comando al robot de las programaciones necesarias para el juego.

(ver anexo 5)

- Robot: kit de robótica uni-cli droid. La programación cargada al Arduino le permite recorrer en línea recta y en modo recorrido libre deteniéndose al detectar un obstáculo y hacer figuras geométricas según se le indique por medio de las tarjetas NFC/RFID. Se agregaron encoders en los motores para poder controlar la velocidad, se reemplazó la rueda trasera que trae el kit por una “caster ball”, y fue necesario imprimir piezas en 3D para ensamblar los nuevos componentes. Además, se le incorporó un lector RFID/NFC para poder darle los comandos por medio de los “tags” en las tarjetas.
- Componentes del robot individuales, sin ensamblar: se incluyen componentes individuales para darles a los estudiantes después del juego de componentes para que interactúen con ellos, los analicen y den su definición y categoría cuando se les pregunte. Incluye un sensor ultrasónico, un arduino, cables, un interruptor, un motor, y una rueda.

5.14. Relación específica entre las variables

Variable	Componente relacionado con el OA	Interacción	Preguntas relacionadas
CONCEPTOS			
Concepto de robot	· Dibujo de un robot · Presentación guía	El estudiante debe dibujar en 5 minutos lo primero que se le viene a la mente con la palabra "robot", y el facilitador da el concepto teórico de "robot", con el apoyo de la presentación guía. Además introduce el kit y el robot con el que se va a estar trabajando. El grupo asigna un nombre al robot que van a programar.	¿Qué es un robot? ¿Con cuáles robots convivimos diariamente? ¿Cómo se ve un robot? ¿Un robot necesita tener una forma física o puede ser un software?
Autonomía	· Dibujo de un robot · Presentación guía · Deck de cartas juego de programación	El estudiante le asigna una función al robot que dibujó. En caso de haber dibujado al robot sin una función en mente, se les pide que lo indiquen en el papel.	¿Puede un robot ejecutar una acción sin que una persona se lo indique?
Programación	· Dibujo de un robot · Presentación guía · Deck de cartas juego de programación	El facilitador relaciona la función que le dieron al robot que dibujaron (la mayoría son asistentes, niños, meseros, ayudantes, etc) con la programación, haciéndoles comprender que deben darle una instrucción al robot. Los estudiantes resuelven el juego de programación en el que deben hacer una secuencia y encontrar una carta correcta. El facilitador da el concepto de programación	¿Cómo le doy instrucciones al robot? ¿Cómo le doy una orden al robot?

		apoyándose en la presentación guía y los estudiantes se acercan al robot con las tarjetas correctas para darle el comando de hacer una figura geométrica.	
PARTES DEL ROBOT			
<i>actuadores</i>			
¿Para qué sirven?	· Deck de cartas juego de componentes	El concepto está en una de las 4 categorías del deck de cartas. Los estudiantes leen en voz alta la definición, y luego categorizan el componente como actuador, sensor, controlador o energía.	¿Qué es un actuador?
motores	· Dibujo de un robot · Deck de cartas juego de componentes · Componentes individuales	El facilitador le solicita a los estudiantes que señalen los componentes y que hacen en el dibujo que realizaron. Los asocian con el cuerpo humano, lo que fortalece la relación que hacen para las analogías de embodied learning. El concepto está en una de las 8 cartas de componentes, que a su vez tienen una acción en el reverso. El estudiante lee el concepto y seguidamente realiza la acción correspondiente, para luego poner la carta del componente en una de las 4 categorías. El motor está relacionado con los músculos del cuerpo y la acción que deben	¿Cómo nos vemos? ¿Cómo movemos las partes de nuestro cuerpo? ¿Cómo se mueve el robot? ¿Cómo giran las ruedas del robot?

		hacer corresponde a girar la cabeza hacia ambos lados y percibir cómo al rotar la cabeza, los músculos se tensan o relajan y generan el movimiento.	
ruedas	· Dibujo de un robot · Deck de cartas juego de componentes · Componentes individuales	El facilitador le solicita a los estudiantes que señalen los componentes y que hacen en el dibujo que realizaron. Los asocian con el cuerpo humano, lo que fortalece la relación que hacen para las analogías de embodied learning. El concepto está en una de las 8 cartas de componentes, que a su vez tienen una acción en el reverso. El estudiante lee el concepto y luego pone la carta del componente en una de las 4 categorías.	¿Cómo el robot se mueve por diferentes terrenos y lugares?
interruptores	· Dibujo de un robot · Deck de cartas juego de componentes · Componentes individuales	El facilitador le solicita a los estudiantes que señalen los componentes y que hacen en el dibujo que realizaron. Los asocian con el cuerpo humano, lo que fortalece la relación que hacen para las analogías de embodied learning. El concepto está en una de las 8 cartas de componentes, que a su vez tienen una acción en el reverso. El estudiante lee el concepto y seguidamente realiza la acción correspondiente, para luego poner la	¿Podemos interrumpir algunas funciones en nuestro cuerpo, como respirar o ver?

		carta del componente en una de las 4 categorías. El interruptor es relacionado con la interrupción de funciones del cuerpo humano y la acción que deben realizar corresponde a subir los brazos estirados, hasta que estén horizontales al suelo, y dejarlos caer. Como si un switch apagara los músculos en sus brazos y en sus hombros.	
<i>sensores</i>			
¿para qué sirven?	· Deck de cartas juego de componentes	El concepto está en una de las 4 categorías del deck de cartas. Los estudiantes leen en voz alta la definición, y luego categorizan el componente como actuador, sensor, controlador o energía.	¿Cómo el robot reconoce su entorno?
sensor ultrasónico	· Dibujo de un robot · Deck de cartas juego de componentes · Componentes individuales	El facilitador le solicita a los estudiantes que señalen los componentes y que hacen en el dibujo que realizaron. Los asocian con el cuerpo humano, lo que fortalece la relación que hacen para las analogías de embodied learning. El concepto está en una de las 8 cartas de componentes, que a su vez tienen una acción en el reverso. El estudiante lee el concepto y seguidamente realiza la acción correspondiente,	¿Si no tuviéramos ojos, cómo podríamos saber que vamos a chocar contra un obstáculo?

		para luego poner la carta del componente en una de las 4 categorías. El sensor ultrasónico está relacionado a los ojos del cuerpo humano, y la acción que deben realizar corresponde a cerrar los ojos, estirar y retraer el brazo.	
Lector RFID	· Dibujo de un robot · Deck de cartas juego de componentes	El facilitador le solicita a los estudiantes que señalen los componentes y que hacen en el dibujo que realizaron. Los asocian con el cuerpo humano, lo que fortalece la relación que hacen para las analogías de embodied learning. El concepto está en una de las 8 cartas de componentes, que a su vez tienen una acción en el reverso. El estudiante lee el concepto y luego pone la carta del componente en una de las 4 categorías. El lector RFID, está relacionado con nuestro lenguaje.	¿Cómo podemos darle una instrucción al robot? ¿Cómo podemos comunicarnos con el robot?
<i>controladores</i>			
¿qué son?	· Juego de componentes	El concepto está en una de las 4 categorías del deck de cartas. Los estudiantes leen en voz alta la definición, y luego categorizan el componente como actuador, sensor, controlador o energía.	¿Cuál componente recibe la programación del robot? ¿Cuál componente ejecuta las instrucciones del robot?

microcontrolador	· Dibujo de un robot · Deck de cartas juego de componentes · Componentes individuales	El facilitador le solicita a los estudiantes que señalen los componentes y que hacen en el dibujo que realizaron. Los asocian con el cuerpo humano, lo que fortalece la relación que hacen para las analogías de embodied learning. El concepto está en una de las 8 cartas de componentes, que a su vez tienen una acción en el reverso. El estudiante lee el concepto y seguidamente realiza la acción correspondiente, para luego poner la carta del componente en una de las 4 categorías. El Arduino está relacionado con el cerebro en el cuerpo humano y la acción que deben realizar corresponde a estirar las manos hacia el frente, cerrarlas y luego abrirlas, y pensar que órgano del cuerpo da esas órdenes.	¿Cómo el robot procesa y ejecuta instrucciones? ¿Qué órgano de nuestro cuerpo da las órdenes a los demás sistemas?
<i>energía</i>			
energía de un robot	· Deck de cartas de juego de componentes	El concepto está en una de las 4 categorías del deck de cartas. Los estudiantes leen en voz alta la definición, y luego categorizan el componente como actuador, sensor, controlador o energía.	¿Cómo se alimenta el robot? ¿Que le da la energía al robot?
baterías	· Dibujo de un robot · Deck de cartas de	El facilitador le solicita a los estudiantes que señalen los	¿Cómo nos sentimos cuando

	juego de componentes	componentes y que hacen en el dibujo que realizaron. Los asocian con el cuerpo humano, lo que fortalece la relación que hacen para las analogías de embodied learning. El concepto está en una de las 8 cartas de componentes, que a su vez tienen una acción en el reverso. El estudiante lee el concepto y seguidamente realiza la acción correspondiente, para luego poner la carta del componente en una de las 4 categorías. Las baterías del robot están relacionadas con la energía del cuerpo humano.	estamos cansados? ¿De donde proviene la energía del robot?
cables	· Dibujo de un robot · Deck de cartas juego de componentes · Componentes individuales	El facilitador le solicita a los estudiantes que señalen los componentes y que hacen en el dibujo que realizaron. Los asocian con el cuerpo humano, lo que fortalece la relación que hacen para las analogías de embodied learning. El concepto está en una de las 8 cartas de componentes, que a su vez tienen una acción en el reverso. El estudiante lee el concepto y luego pone la carta del componente en una de las 4 categorías. Los cables están	¿Cómo hace el controlador para comunicarse con el resto de los componentes ? ¿Por donde fluye la energía del robot?

		relacionados con el cuerpo humano.	
<i>Teoría vs práctica</i>			
Identificación de errores	· Deck de cartas juego de teoría vs práctica · Presentación guía	El facilitador hace el storytelling de los 2 escenarios del juego y pone a prueba las programaciones de las tarjetas. Los estudiantes solo observan, no interactúan con el robot.	¿Qué pasa si la programación es perfecta y el robot no hace lo que debería de hacer? ¿Cómo identificamos qué está sucediendo con el robot?
Propiocepción	· Presentación guía	Después del juego de teoría vs práctica cuando vieron al robot funcionar, el facilitador da el concepto de propiocepción apoyándose en la guía de interacción, con la analogía de las baterías del robot, y el sueño y descanso en los humanos.	¿Cómo el robot reconoce su estado interno? ¿Cómo el robot actúa y “percibe” que se está quedando sin batería? ¿Cómo nos sentimos cuando estamos cansados y necesitamos dormir o alimentarnos?
Exterocepción	· Presentación guía	Después del juego de teoría vs práctica cuando vieron al robot funcionar, y chocar contra obstáculos o detenerse el facilitador da el concepto de exterocepción apoyándose en la guía de interacción, con la analogía del sensor ultrasónico y los ojos de los humanos.	¿Cómo el robot reconoce su entorno? ¿Cómo el robot sabe si va a chocar? ¿Cómo vemos nuestro entorno los humanos?

Tabla 6. Relación entre las variables, el objeto de aprendizaje y la interacción

5.15. Guía de interacción

La guía de interacción corresponde a una presentación guía que utiliza el facilitador en un proyector, en este caso el profesor para llevar a cabo la experiencia.

(ver anexo 2)

Consta de 11 partes detalladas a continuación:

1. Introducción

Inicio de la experiencia donde el profesor les explica brevemente qué se va a hacer, deben hacer grupos de 5 personas y guardar todo lo que tienen sobre el pupitre, solo van a ocupar un lápiz o lapicero durante toda la experiencia.

2. Prueba de conocimiento

Se aplica la prueba de conocimiento, para conocer el dominio previo que tienen del tema y es importante para enfocar el aprendizaje. Se generan dudas que el estudiante va a intentar responder durante la experiencia.

3. Dibujo del robot

El facilitador le entrega a cada estudiante una hoja en blanco y les indica que deben dibujar en 5 minutos lo que se les viene a la mente cuando se les dice la palabra robot. Seguido de esto, el facilitador, apoyándose en la presentación les muestra que la mayoría dibujan lo mismo, y les presenta el modelo mental de robot predominante.

4. Concepto de robot

Se introduce el concepto teórico de robot, apoyándose en la presentación. Seguido de esto les presenta el Uni-Cli Droid, robot que utilizarán durante la experiencia y les indica que entre todos, deben asignarle un nombre.

5. Juego de componentes

Se les indica que en el robot que dibujaron, deben identificar sus partes/componentes, y su función. Seguidamente, se les indica que van a iniciar con el primer juego, donde van a conocer los componentes del robot, se entrega el deck de cartas y se leen las instrucciones en conjunto. Una vez que terminaron todas las cartas, se les entrega un componente individual a cada grupo y se les indica que lo analicen. El facilitador apoyándose en la presentación hace un repaso de las categorías principales de los componentes y le indica a un miembro de cada grupo que pase al frente con el componente, diga la definición y en qué categoría se encuentra.

6. Conceptos de autonomía y programación

Se les indica que en el robot que dibujaron, deben asignarle una función principal. Se dan los conceptos teóricos de autonomía del robot y programación apoyándose en la presentación.

7. Juego de programación

Luego se les entrega el deck de cartas del juego de programación, y se les indica que una vez que finalicen y tengan la respuesta deben esperar para pasar a probar la respuesta. Una vez que tienen la carta correcta, un miembro por grupo pasa con la carta al frente, la acerca al lector RFID del robot y el robot hace una figura geométrica.

8. Juego de Teoría vs Práctica

Finalizado el juego de programación, se presenta la última actividad, en la que se fomenta la identificación de errores por medio de dos escenarios. El facilitador tiene 2 cartas por escenario, una con una programación correcta y una con una incorrecta. En cada escenario, les indica a los estudiantes que la programación está perfecta, pero el robot presenta un fallo cuando pone la carta incorrecta en el lector RFID. Deben identificar el error, y una vez que lo identifican el facilitador pone la carta correcta en el lector RFID para que el robot funcione bien.

9. Conceptos de propiocepción y exterocepción

Apoyándose en la presentación, el facilitador presenta los conceptos de propiocepción y exterocepción por medio de dos analogías, con el cuerpo humano.

10. Cierre

Finalización de la experiencia, y se les invita a los estudiantes a seguir buscando información e interesarse por las carreras de esta disciplina que ofrece el TEC.

11. Prueba de conocimiento

Se aplica al final de la experiencia como instrumento de evaluación de lo aprendido por los estudiantes.

(ver anexo 3)

5.16. Plan piloto

5.16.1. Participantes

Para los participantes se contó con estudiantes de la carrera de Ingeniería en Diseño Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica, y 3 colegios, uno privado, uno semi-privado y uno público. La primera prueba de concepto inicial, se realizó con estudiantes de Diseño Industrial lo que permitió obtener retroalimentación y hacer los cambios necesarios antes de ir a colegios a probar la experiencia. Para la fase de experimentación y la prueba del concepto final se contó estudiantes de décimo año de 3 grupos distintos del colegio privado Calasanz, ubicado en San Pedro San José, dos grupos de décimo año del colegio semi-privado Sagrado Corazón de Jesús ubicado en El Molino, Cartago, y por último dos grupos del décimo año del colegio público Mario Quirós Sasso, ubicado en Tres Ríos, Cartago.

Para el plan piloto, el profesor también participó. En algunos casos fue parte de los estudiantes, y realizó las actividades pero en algunos casos solo observó y ayudó con el orden de la lección, al pedirles orden y silencio para escuchar las instrucciones. El profesor no tuvo el rol de facilitador debido a las pruebas y cambios que se debían realizar y porque para el plan piloto no contaba con una capacitación previa a la experiencia. Sin embargo muchas veces se mostraron interesados por las actividades y participaron en los juegos. En total se realizaron 7 pruebas en colegios, y una con los estudiantes de Diseño Industrial.

5.16.2. Contexto

La prueba para los estudiantes de Diseño Industrial se realizó en el Tecnológico de Costa Rica, en el lobby de la Escuela de Diseño, se realizó con 5 estudiantes donde se encontraban en una mesa redonda donde realizaron las actividades.

Las pruebas a los colegios se realizaron en aulas del colegio, se contó con el espacio de 2 lecciones para un tiempo total de 80 minutos, y solo para 3 grupos se

probaron hipótesis específicas en una lección de 40 minutos. Para el Colegio Calasanz, se contó con aulas tradicionales, pupitres que pudieron organizar para hacer los grupos de 5 personas necesarios para la actividad y una pantalla digital, necesaria para la actividad del dibujo del robot. Los estudiantes tardan un poco en organizar los pupitres en grupos, y luego al final volver a ordenar el aula.

En el Colegio del Sagrado Corazón las pruebas se realizaron en el aula de Artes Plásticas por lo que tenían mesas largas donde solo necesitaban moverse de espacio para hacer grupos de 5 personas, lo que facilitó el orden. Además se contó con una pizarra tradicional para dibujar el robot. Las lecciones eran de 40 minutos por lo que segmentó la experiencia.

En el CTP Mario Quirós, se realizaron las pruebas en un aula de informática, que contaba con computadoras individuales para cada estudiante, y mesas fijas, lo que dificultó el orden para hacer los grupos de 5 personas. Además a la hora de hacer los juegos de cartas necesitaban donde ponerlas y al no poder mover las mesas de lugar, tuvieron que mover las sillas y hacer un círculo para poder poner un cuaderno en el centro, que uno de los estudiantes lo sostuviera y poner las cartas encima. También se contaba con una pizarra tradicional para la actividad del dibujo del robot.



Fig. 12. Estudiantes en el aula, en grupos de 5 integrantes durante la experiencia

5.16.3. Diseño experimental

Durante el proceso para recolectar datos y probar las hipótesis los materiales usados fueron una guía de interacción, una prueba de conocimiento, decks de cartas en papel, un robot, y componentes electrónicos del robot individuales. Estos materiales fueron cambiando, introducidos para probar otra hipótesis o eliminados de la experiencia conforme avanzaban las pruebas. En todas las pruebas hubo un facilitador que contaba con la guía de interacción de la experiencia, y con los estudiantes organizados en grupos de 5 personas.

Etapas 1 - Prueba de concepto inicial

La prueba del concepto inicial se realizó con estudiantes de la carrera de Ingeniería en Diseño Industrial, el Lunes 23 de Octubre de 2023.

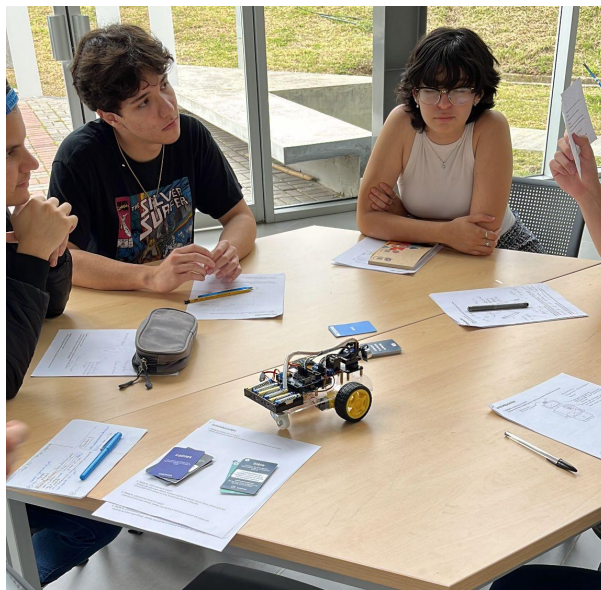


Fig. 13. Estudiantes de Diseño Industrial del ITCR durante la prueba de concepto inicial.

Materiales usados

- Guía de interacción (cartas)



Fig. 14. Primera iteración de la guía de interacción.

- Cartas de roles para asignar a cada miembro de los grupos de 5 integrantes



Fig. 15. Cartas de roles.

- Deck de cartas para el juego de componentes



Fig. 16. Primera iteración de las cartas del juego de componentes

- Deck de cartas para el juego de programación



Fig. 17. Primera iteración de las cartas del juego de programación

- Robot

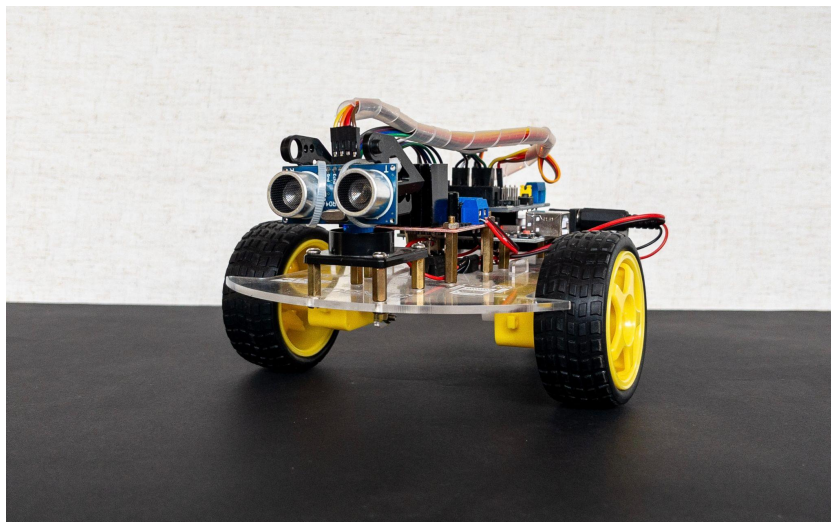


Fig. 18. Primera iteración del robot.

[illegible]

Se realizó la prueba de conocimiento, la cuál incluía el dibujo del robot, el cuál era sólo para conocer el modelo mental que tenían acerca de un robot. La prueba de conocimiento además incluía un esquema para ver si los estudiantes asociaban los componentes del robot correctamente y una serie de preguntas de respuesta corta.

CONCLUSIONS

Observaciones

- Les tomó tiempo hacer el esquema del pretest, lo hicieron por lógica y pusieron palabras al azar.
- El juego de componentes no tenía instrucciones claras, ya que fueron facilitadas por nosotros y muchas de las analogías no las asociaron bien. No supieron categorizar las tarjetas de propiocepción y autopercepción.
- Hubo errores en las instrucciones del juego de programación y les tomó más tiempo de lo esperado realizarlo.
- En las cartas de componentes no comprendieron por qué en la parte de abajo decía actuador, controlador, sensor, o energía. Las cartas de componentes tenían demasiado texto y no vectores, por lo que no las comprendieron bien.

Retroalimentación de los estudiantes

Para el componente de las baterías se planteó una analogía con comer y dormir en los humanos, y no lo asociaron bien con la energía del robot. Las tarjetas tenían demasiado lenguaje técnico y necesitaban una guía visual (ver el componente). Para los juegos necesitan las instrucciones escritas, facilitadas por nosotros no comprendieron bien y les causó confusión. Necesitan más tiempo para la primera actividad de dibujar el robot, no les dio tiempo de terminar de dibujar, poner la función y señalar componentes.

Conclusiones de la prueba

- Se debían agregar vectores a las cartas de componentes.
- Hacer 4 cartas nuevas con las categorías de los componentes (actuador, energía, sensor y controlador y agregar un ícono y su definición.
- Eliminar la categoría en la parte de abajo de las cartas de componentes.
- Hacer un folleto de instrucciones para cada juego.
- Revisar y corregir analogías y actividades de embodied learning.
- Las cartas con actividades de embodied tenían pregunta, actividad y respuesta, y tenían mucho

texto y causaban confusión por lo que se reemplazaron por acción y analogía.

- Para la primera actividad de dibujar el robot, se observó que el modelo mental es muy fuerte y les gusta ver cómo los demás tienen algo parecido en el papel y se puede sacar provecho de la situación para empatizar y crear una actividad más llamativa.
- Agregar una carta en la guía de interacción que indique donde se da la definición del concepto de robot y se presenta el kit.

Etapas 2 - Fase de experimentación

Para la fase de experimentación se contó con 5 grupos de décimo, de los colegios Sagrado Corazón de Jesús, CTP Mario Quirós y Calasanz.

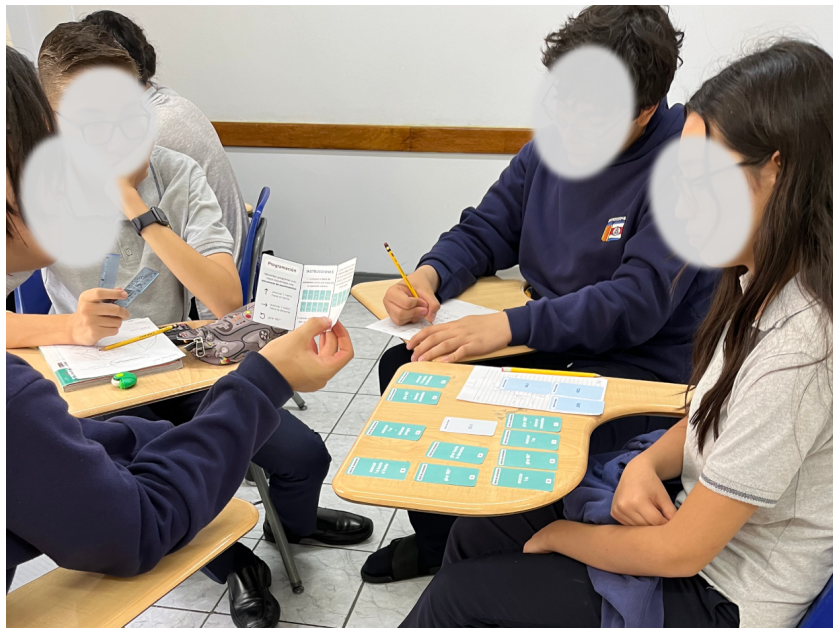


Fig. 20. Estudiantes resolviendo el juego de programación en la fase experimental.

Grupo de décimo, 10-B colegio Calasanz - Martes 24 de Octubre

Materiales usados

- Guía de interacción (cartas)
- Cartas de roles para asignar a cada miembro de los grupos de 5 integrantes.
- Segunda iteración del Deck de cartas para el juego de componentes, con su instructivo



Fig. 21. Segunda iteración de las cartas del juego de componentes.

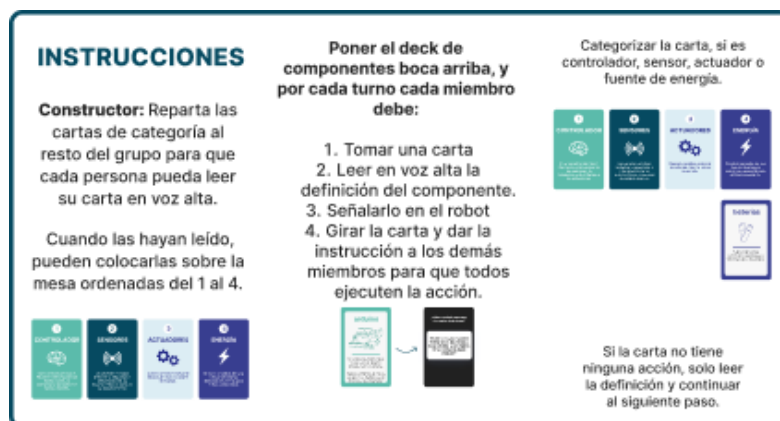


Fig. 22. Primera iteración del instructivo del juego de componentes.

- Segunda iteración del Deck de cartas para el juego de programación, con su instructivo



Fig. 23. Segunda iteración de las cartas del juego de programación

Instrucciones de programación

1. Coloquen el deck de comandos en una superficie, sin ver el reverso, de la siguiente manera:



2. En grupo, intenten ordenar 4 cartas que le permitan al robot hacer la secuencia indicada.
3. Una vez que tengan las 4 cartas seleccionadas, tomen el **deck de progra** y verifiquen si hay una carta con el mismo orden de letras que aparecen en las cartas de **comandos**. Si la hay prueben su respuesta.
4. Para probar su respuesta, acerquen la carta de progra al lector del robot.
 - Si el robot no hace nada, significa que la solución es incorrecta. Para corregirla, pueden ver el reverso de sus 4 cartas, e intentar de nuevo.
 - Si el robot hace un movimiento, la solución es correcta.
5. Cuando lo hayan logrado, indíquenlo a gerencia.

Fig. 24. Primera iteración del instructivo del juego de programación.

- Robot
- Componentes individuales

- Prueba de conocimiento

Dibuje la primera imagen que viene a su mente al pensar en un robot.	Nombre: _____ Grupo: _____ ID: _____ pretest/posttest Esta hoja contiene preguntas y ejercicios solicitando información relacionada a la robótica, y su objetivo es conocer si los participantes tienen conocimientos previos del tema. 1. ¿Qué es un robot? 2. ¿Qué es la propriocepción de un robot? 3. ¿Qué es la exterocepción de un robot? 4. ¿Los robots tienen vida propia? 5. ¿Un robot puede ejecutar acciones sin que un humano se lo indique? 6. ¿Qué es el código de un robot?	7. Utilice el siguiente banco de palabras para completar los espacios en blanco del siguiente esquema de los componentes de un robot. <table border="1"><tr><td>programación</td><td>sensores</td><td>controladores</td><td>actuadores</td><td>interruptores</td><td>energía</td></tr></table> 8. Un robot impulsado por dos ruedas fue programado para ir en línea recta. Al revisar su código se comprueba que no tiene ningún error. ¿Sería posible que al avanzar, el robot se desvíe hacia un lado? ¿Por qué? Considere que: • Todos los componentes están ensamblados correctamente. • Ambas ruedas son exactamente iguales y tienen el mismo nivel de agarre en el suelo.	programación	sensores	controladores	actuadores	interruptores	energía
programación	sensores	controladores	actuadores	interruptores	energía			

Fig. 25. Segunda iteración de la prueba de conocimiento, con error de impresión.

Para la primera prueba de la fase experimental, se utilizó la misma guía de interacción de la prueba de concepto inicial correspondiente a cartas. Se aplicaron los cambios que surgieron gracias a la prueba del concepto inicial y se realizó la prueba de conocimiento. Se realizaron grupos de 5 estudiantes.

En las tarjetas de componentes se hicieron las 4 categorías de componentes, se le agregó vectores a las tarjetas de componentes y se hicieron nuevas analogías para probar el “embodied learning”. Además se incluyó un folleto de instrucciones, el cuál se puso a los estudiantes a leerlo por su cuenta.

Para el juego de programación, se incluyó un folleto de instrucciones el cuál los estudiantes leyeron por su cuenta, y se unificó el color de las cartas de comandos.

Observaciones

- No se hizo el esquema de componentes en el pretest porque no estaba en la hoja, debido a un fallo de impresión.
- Les gustó la primera actividad de dibujar el robot, se probó la hipótesis de dibujar el robot en la

pizarra para que vieran como todos dibujaron algo parecido.

- Hubo errores en las instrucciones del juego de componentes. No había un orden lógico. No tomaron turnos.
- En el juego de programación faltó una carta para la secuencia que debían realizar.
- En equipos de 5 cada equipo le puso un nombre a su robot, pero no tenían el robot físico por lo que no fue de valor.
- Las cartas de roles generaron confusión.
- Hicieron las actividades de embodied y dieron ideas para las próximas.
- Se les dieron componentes individuales para que los vieran e interactuaran con ellos.
- Hay que ver qué hacer con los estudiantes que terminan un juego antes que los demás y se quedan sin hacer nada

Retroalimentación de los estudiantes

No comprendieron por qué hacían el pretest y fue un punto de frustración. Al terminar la actividad, se dio un espacio para preguntas específicas y lograron contestarlas bien.

Conclusiones de la prueba

- Se debe realizar una carta con la secuencia para el juego de programación y mejorar las instrucciones.
- Eliminar las cartas de roles.
- Para las instrucciones del juego de componentes mejorar que tengan más distinción entre categorías y componentes, y reestructurar el orden lógico de las instrucciones.
- Probar que le pongan un nombre entre todo el grupo al robot.
- Valorar que solo haya un robot por clase y no uno por grupo de 5 personas.

Grupo de décimo, 10-C colegio Calasanz - Miércoles 25 de Octubre

Materiales usados

- Segunda iteración guía de interacción (cartas)



Fig. 26. Segunda iteración de la guía de interacción.

- Tercer iteración del Deck de cartas para el juego de componentes, con la segunda iteración de su instructivo



Fig. 27. Tercera iteración de las cartas del juego de componentes.

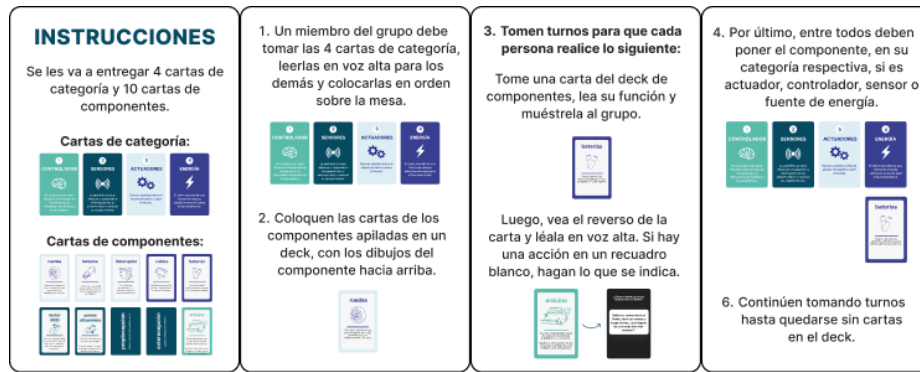


Fig. 28. Segunda iteración del instructivo del juego de componentes.

- Segunda iteración del Deck de cartas para el juego de programación, con su segunda iteración del instructivo, y la carta de secuencia faltante



Fig. 29. Carta de secuencia del juego de programación, y la segunda iteración del instructivo.

- Robot
- Componentes individuales
- Prueba de conocimiento

Dibuje la primera imagen que viene a su mente al pensar en un robot.

Nombre: _____ Grupo: _____ ID: _____

pretest/posttest

Esta hoja contiene preguntas y ejercicios solicitando información relacionada a la robótica, y su objetivo es conocer si los participantes tienen conocimientos previos del tema.

1. ¿Qué es un robot?
2. ¿Qué es la propriocepción de un robot?
3. ¿Qué es la exterocepción de un robot?
4. ¿Los robots tienen vida propia?
5. ¿Un robot puede ejecutar acciones sin que un humano se lo indique?
6. ¿Qué es el código de un robot?

7. Utilice el siguiente banco de palabras para completar los espacios en blanco del siguiente esquema de los componentes de un robot.

programación	sensores	controladores	actuadores	interruptores	energía
--------------	----------	---------------	------------	---------------	---------

8. Un robot impulsado por dos ruedas fue programado para ir en línea recta. Al revisar su código se comprobó que no tiene ningún error. ¿Sería posible que al avanzar, el robot se desvíe hacia un lado? ¿Por qué?

Considere que:

- Todos los componentes están ensamblados correctamente.
- Ambas ruedas son exactamente iguales y tienen el mismo nivel de agarre en el suelo.

Fig. 30. Segunda iteración de la prueba de conocimiento.

Para la segunda prueba, se agregó una carta a la guía de interacción para que le pusieran un nombre al robot, ya que se decidió que sólo se iba a utilizar un robot por clase, en esta fase de la experiencia, ya que tenía más valor que se concentran en comprender y aprender bien las bases y con un robot era suficiente. Lo necesitan solo como un apoyo visual. Se planteó la hipótesis de incluir un “cuento” con la historia de la vida del robot que iban a utilizar para intentar generar una apropiación emocional con el robot.

Se hicieron los cambios para mejorar las instrucciones de ambos juegos y se agregó la carta de la secuencia en el juego de programación.

Se realizó la prueba de conocimiento sólo al final de la experiencia, para evaluar lo aprendido. Esta aún incluía el dibujo, como parte de la prueba.

Observaciones

- Les gusta mucho la actividad inicial de dibujar el robot y luego que se dibuje en la pizarra para ver cómo se parece a lo que dibujaron todos.
- Logran ponerle un nombre al robot entre todos y es de más valor.
- La historia de la vida del robot no suma tanto como se esperaba a la experiencia.
- Hizo falta la carta correcta en el juego de programación, debido a un error de impresión, por lo que no lo pudieron terminar.
- En el juego de componentes las instrucciones estuvieron bien, pero aun no entienden por completo el orden de los turnos. No saben aún para que sirven las piezas, solo tienen su definición. Se debe valorar cambiar la forma de presentar los conceptos de propiocepción y exterocepción para que los comprendan mejor. No los reconocen ni los asocian con sensores.
- Algunos estudiantes asocian los componentes por color y no por categoría o definición.
- Se probó la actividad de darles un componente a cada grupo y que un miembro le diga al aula su definición y se valora la posibilidad de que ya no deban armar al robot, si no interactuar con uno ya armado y tener componentes individuales para mejorar su comprensión.
- Se probaron tiempos de duración de las actividades

Retroalimentación de los estudiantes

La actividad que más les gustó fue la de dibujar al robot, y una gran parte de las actividades de embodied son los brazos y manos lo que puede generar confusión. Valorar usar otras partes del cuerpo.

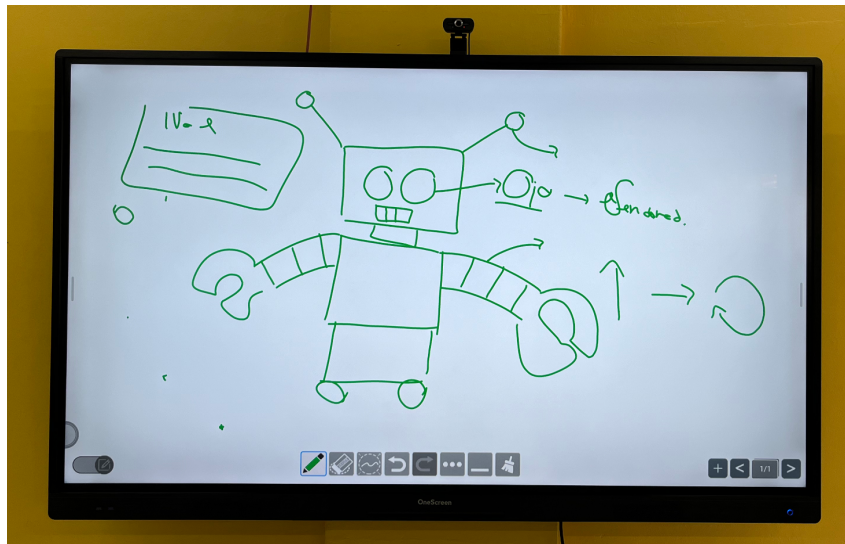


Fig. 29. Dibujo en la pizarra durante la actividad inicial del dibujo del robot.

Conclusiones de la prueba

- Se va a agregar la actividad de darles un componente individual por grupo, que lo analicen y un miembro lo exponga ante la clase.
- No van a armar el robot. (para el alcance de la primera fase del proyecto)
- Van a tener un robot listo y funcionando por clase, no por grupo de 5 y le van a poner un nombre entre toda la clase. (para el alcance de la primera fase del proyecto).
- Se debe generar la guía visual para el profesor y que pueda facilitar la actividad, y se deben quitar algunas cartas de la guía de interacción, que deben ir de la mano con la guía visual.
- Falta la información donde indique el concepto de programación, ¿qué es una programación o código del robot?
- En las instrucciones de programación hay que agregar que solo hay UNA carta celeste correcta.

- Después del juego de programación, un estudiante va a pasar y probar la programación en el robot, cada carta va a tener un “tag NFC” que le da la instrucción al robot de hacer una figura geométrica. Esta figura es diferente por grupo.
- La actividad inicial de dibujar un robot tiene mucho valor, porque los ayuda a ir desde lo más general que es el modelo mental que tienen de un robot, a lo más específico como lo es ya darle una función, ya que en un gran porcentaje los dibujan humanoides y con funciones como asistentes, ayudantes, y así inician asociando que se les debe dar una instrucción lo que ayuda a luego relacionarlo con el concepto de autonomía y que se les debe dar una instrucción. Luego señalar los componentes los ayuda a ir relacionandolo con las partes del cuerpo, lo que refuerza lo que van a hacer en la siguiente actividad del juego de componentes.
- Este grupo tenía menos energía en comparación con los del día anterior, y hubo menos comprensión que el primer grupo.
- Se les hizo la actividad con la prueba de conocimiento sólo al final. Los resultados terminaron siendo menos efectivos que los del día anterior. Una teoría es que esto sucedió porque al hacer el pretest, este enfoca el aprendizaje.

Grupos de décimo, 10-4 y 10-3, colegio Sagrado Corazón de Jesús - Lunes 30 de Octubre

Materiales usados

- Tercera iteración guía de interacción (cartas)



Fig. 32. Tercera iteración de la guía de interacción.

- Tercer iteración del Deck de cartas para el juego de componentes, con la tercera iteración de su instructivo

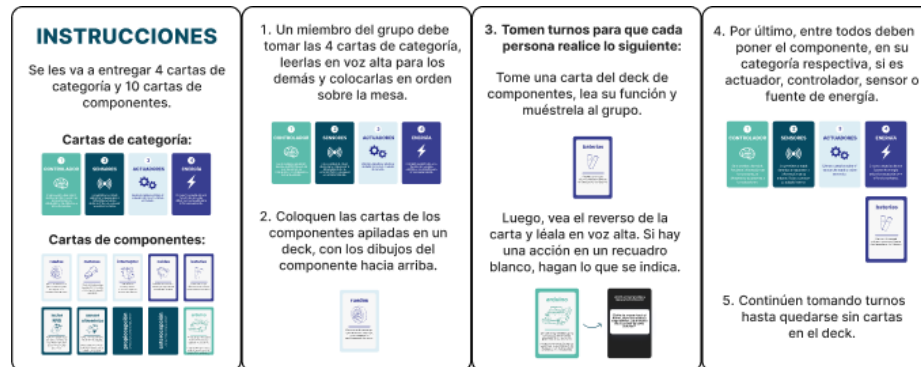


Fig. 33. Tercera iteración del instructivo del juego de componentes.

- Segunda iteración del Deck de cartas para el juego de programación, con su tercera iteración del instructivo

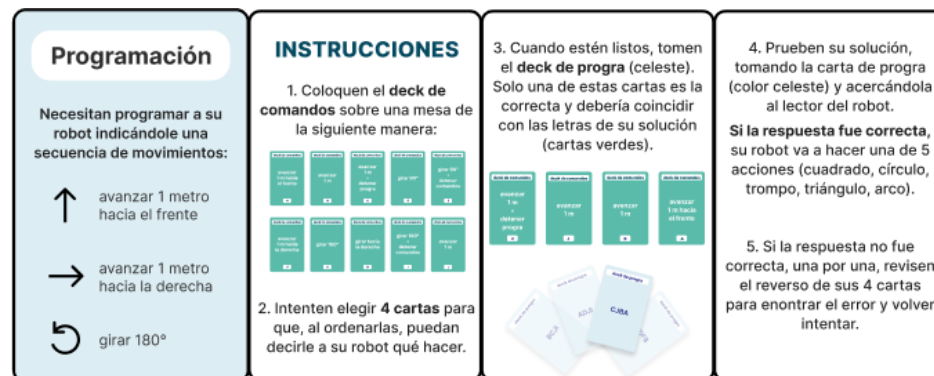


Fig. 34. Tercera iteración del instructivo del juego de programación.

- Robot
- Componentes individuales

- Prueba de conocimiento

Nombre: _____ Grupo: _____ ID: _____	
pretest/posttest Esta hoja contiene preguntas y ejercicios solicitando información relacionada a la robótica, y su objetivo es conocer si los participantes tienen conocimientos previos del tema. 1. ¿Qué es un robot? 2. ¿Qué es la propiocepción de un robot? 3. ¿Qué es la exterocepción de un robot? 4. ¿Los robots tienen vida propia? 5. ¿Un robot puede ejecutar acciones sin que un humano se lo indique? 6. ¿Qué es el código/programación de un robot? 8. ¿Cuál es la función de un controlador?	9. ¿Qué hace un actuador? 10. ¿Cómo funciona un sensor ultrasónico? 11. ¿Cuál es el componente que le permite al robot generar movimiento? ¿Es un controlador, un sensor o un actuador? 12. ¿Cuál es la función de un Arduino? ¿Es un controlador, un sensor o un actuador? 1. ¿Cuál es el componente que le permite al robot interrumpir el paso de corriente eléctrica? ¿Es un controlador, un sensor o un actuador? 8. Un robot impulsado por dos ruedas fue programado para ir en línea recta. Al revisar su código se comprueba que no tiene ningún error. ¿Sería posible que al avanzar, el robot se desvíe hacia un lado? ¿Por qué? Considere que: - Todos los componentes están ensamblados correctamente. - Ambas ruedas son exactamente iguales y tienen el mismo nivel de agarre en el suelo. - No hay ningún obstáculo con el que vaya a chocar.

Fig. 35. Cuarta iteración de la prueba de conocimiento.

Para estas pruebas, solo se contaba con una lección por grupo por lo que se segmentó la experiencia. El dibujo del robot pasó a ser una actividad y no ser parte de la prueba de conocimiento ya que estaba dando resultados muy positivos. Los estudiantes estaban haciendo las relaciones por sí mismos, que se estaban planteando en los juegos de componentes y de programación, por lo que luego solo hacía falta reforzarlas.

En un grupo se realizó la actividad del dibujo del robot y el juego de componentes, y en el otro la actividad del dibujo del robot y el juego de programación. Para la prueba de conocimiento, se eliminó el esquema y se quitó el dibujo del robot, por lo que se dejaron solo preguntas de respuesta corta y se aplicó a ambos grupos. Además del juego de componentes se eliminaron las cartas de propiocepción y exterocepción ya que generaban confusión. En el juego de programación se eliminó la carta de la secuencia y se incluyó en el folleto de instrucciones.

Observaciones

- No siguen bien las instrucciones de los juegos al leerlas por su cuenta.
- Se debe valorar usar imágenes reales de los componentes y no vectores.
- Se elimina la carta de la pregunta inicial en la guía de interacción.

- Lograron hacer bien la actividad de programación.
- No comprenden las instrucciones del juego de componentes en específico lo de tomar turnos.
- Están terminando el juego de componentes muy rápido, sin interiorizar las analogías debido a que aún no comprenden el orden lógico de las instrucciones.

Retroalimentación de los estudiantes

Hay personas que no les interesa la materia entonces no le ponen el mismo empeño.

Conclusiones de la prueba

- Quitar la carta de la pregunta inicial en la guía de interacción
- En el juego de componentes dar las instrucciones guiadas apoyándose en la guía digital que se va a diseñar para el profesor y hacer el folleto más puntual.
- Ayuda mucho poder cuestionarles repetidamente lo que han estado aprendiendo.
- Cuando se le pide a una persona de cada grupo (escogida por el facilitador) que pase al frente a explicarle al resto de la clase, se vuelve más efectivo.
- En la presentación que el profesor o guía digital proyectada, deben ir: la teoría (definiciones de qué es un robot y que es la programación/código) y las reglas de los juegos para ir a un mismo ritmo.
- Hay que seguir usando el momento en la pizarra para relacionar los conceptos. Estos son: el robot siempre tiene una función y el robot tiene partes y cada parte tiene su función. La función suele ser algo que no queremos hacer las personas, ya sea por aburrido o peligroso (como ama de casa, ayudante personal, asistente...)

Grupo de décimo, 10-2 CTP Mario Quirós - Martes 31 de Octubre

Materiales usados

- Presentación guía (guía de interacción digital)

- Tercer iteración del Deck de cartas para el juego de componentes, con la cuarta iteración de su instructivo



Fig. 36. Cuarta iteración del instructivo del juego de componentes.

- Segunda iteración del Deck de cartas para el juego de programación, con su cuarta iteración del instructivo

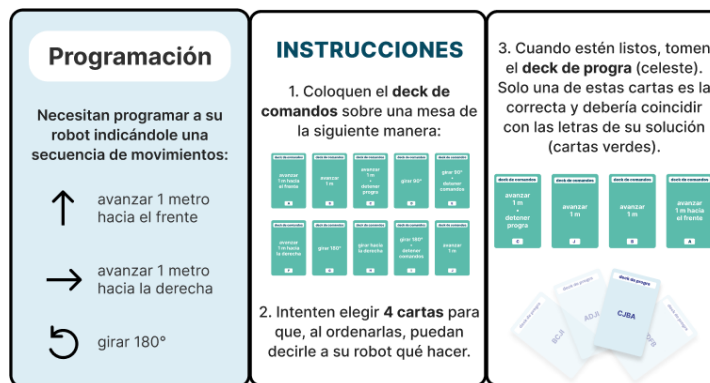


Fig. 37. Cuarta iteración del instructivo del juego de programación.

- Robot
- Componentes individuales

- Prueba de conocimiento

Nombre:	Grupo:	ID:
pretest/posttest Esta hoja contiene preguntas y ejercicios solicitando información relacionada a la robótica, y su objetivo es conocer si los participantes tienen conocimientos previos del tema.		
1. ¿Qué es un robot?		
2. ¿Qué es la propiocepción de un robot?		
3. ¿Qué es la exterocepción de un robot?		
4. ¿Los robots tienen vida propia?		
5. ¿Un robot puede ejecutar acciones sin que un humano se lo indique?		
6. ¿Qué es el código/programación de un robot?		
7. ¿Cuál es la función de un controlador?		
8. ¿Qué hace un actuador?		
9. ¿Cómo funciona un sensor ultrasónico?		
10. ¿Cuál es el componente que le permite al robot generar movimiento? ¿Es un controlador, un sensor o un actuador?		
11. ¿Cuál es la función de un Arduino? ¿Es un controlador, un sensor o un actuador?		
12. ¿Cuál es el componente que le permite al robot interrumpir el paso de corriente eléctrica? ¿Es un controlador, un sensor o un actuador?		
13. Un robot impulsado por dos ruedas fue programado para ir en línea recta. Al revisar su código se comprueba que no tiene ningún error. ¿Sería posible que al avanzar, el robot se desvíe hacia un lado? ¿Por qué?		
Considere que: • Todos los componentes están ensamblados correctamente. • Ambas ruedas son exactamente iguales y tienen el mismo nivel de agarre en el suelo. • No hay ningún obstáculo con el que vaya a chocar.		

Fig. 38. Quinta iteración de la prueba de conocimiento.

Para esta prueba se eliminaron las cartas de introducción a la experiencia de la guía de interacción, y se definió que la guía de interacción iba a ser una presentación o guía visual que el facilitador iba proyectar para guiar la experiencia. La que va a incluir todos los conceptos teóricos y las instrucciones del juego de componentes para leerlas en conjunto con los estudiantes y que el juego se pueda llevar a cabo en el orden lógico necesario para el éxito del mismo. Las instrucciones de ambos juegos se hicieron más puntuales.

La prueba de conocimiento no tuvo cambios, y se realizó al inicio de la experiencia y al final de la misma.

Observaciones

- Siguió bien las instrucciones de ambos juegos y los terminaron en menos tiempo.
- Había una estudiante extranjera que no comprendía instrucciones en español.
- Era un aula de informática donde no tenían pupitres, aún así se lograron organizar en los grupos de 5 y hacer las actividades.
- Los estudiantes están aprendiendo a programar y ya tienen un contexto.

- No se dieron los conceptos de propiocepción y exterocepción, pero los estudiantes los preguntaron al final de la experiencia, antes de hacer la prueba de conocimiento nuevamente, lo que indica que hacer la prueba al inicio de la lección es importante para enfocar el aprendizaje.
- Se probó por primera vez ponerlos a contestar las preguntas de la actividad teoría vs práctica.
- Se reforzaron las relaciones “función/progra”, “partes del cuerpo/componentes”, luego de que realizaran el dibujo y al hacer los juegos de cartas.

Retroalimentación de los estudiantes

- Las categorías aún son muy ambiguas, los estudiantes perciben que los componentes pueden estar en varias categorías no solo en una.
- Les gustó la primera parte (alcance del proyecto), y preguntaron si íbamos a volver con otra parte.
- La profesora preguntó si había una continuación también.

Conclusiones de la prueba

- Es importante estar reiterándoles las relaciones para que vayan haciendo la transición a los nuevos conceptos.
- Hay que escribir mejor las definiciones de los componentes, no tan técnicos y con palabras clave que los ayuden a saber a qué categoría pertenecen.
- Es más efectivo que la tarjeta del componente tenga una foto real y no un vector, ya que cuando se les da el componente real no lo están reconociendo.
- Al mejorar las instrucciones mejoran los tiempos en que realizan los juegos.
- Hay que reestructurar las preguntas de la prueba de conocimiento porque tienen más de una respuesta.
- En la prueba de conocimiento, separar la definición del componente con la categorización, sólo contestan la categorización y según

retroalimentación de los estudiantes, el componente podrían colocarlo en varias categorías.

Grupo de décimo, 10-A colegio Calasanz - Miércoles 8 de Noviembre

Materiales usados

- Segunda iteración del Deck de cartas para el juego de programación, con la quinta iteración del instructivo

Programación

Necesitan programar a su robot indicándole una **secuencia de movimientos**:

- ↑ avanzar 1 metro hacia el frente
- avanzar 1 metro hacia la derecha
- ↻ girar 180°

INSTRUCCIONES

1. Coloquen el **deck de comandos** sobre una mesa de la siguiente manera:

avanzar 1m hacia el frente	avanzar 1m	avanzar 1m hacia la derecha	girar 180°	avanzar 1m hacia el frente
avanzar 1m hacia la derecha	avanzar 1m	avanzar 1m hacia la izquierda	girar 180°	avanzar 1m

2. Intenten elegir **4 cartas** para que, al ordenarlas, el robot haga la **secuencia**.

3. Cuando estén listos, tomen el **deck de progra** (celeste). Solo una de estas cartas es la correcta y debería coincidir con las letras de su solución (cartas verdes).

avanzar 1m hacia el frente	avanzar 1m	avanzar 1m	avanzar 1m hacia el frente
avanzar 1m	avanzar 1m	avanzar 1m	avanzar 1m

Fig. 39. Quinta iteración del instructivo del juego de programación.

- Deck de cartas juego teoría vs práctica
- Iteración 2 del robot

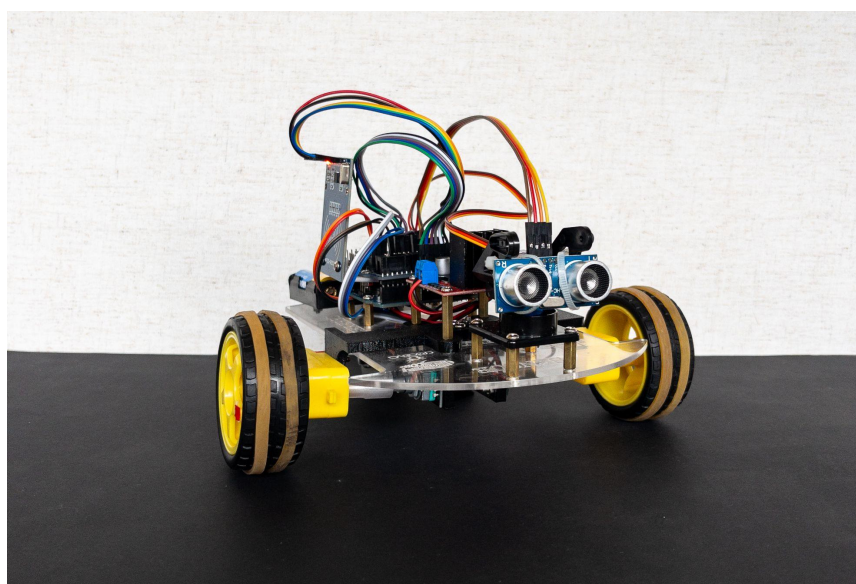


Fig. 40. Segunda iteración del robot

- Componentes individuales

Para esta prueba, se contó con una lección de 40 minutos en la que se probó el robot ya funcionando a la perfección que era necesario para el juego de teoría vs práctica, y además para probar las cartas correctas del juego de programación. No se hizo prueba de conocimiento, y se contó con 3 estudiantes de mecatrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica por cualquier problema técnico que existiera a la hora de hacer uso del robot. Se probaron las diferentes cartas que incluían el “tag” NFC/RFID para dar las instrucciones del robot.

Observaciones

- Al final, los estudiantes estaban muy interesados, y les hicieron preguntas a los estudiantes de mecatrónica que nos acompañaron.
- Siguieron las instrucciones del juego de programación bien, pero no están viendo el reverso de las cartas cuando se equivocan.
- Los conceptos de propiocepción y exterocepción, se deben incluir una vez que ya vieron al robot funcionar en un escenario de la vida real.

Retroalimentación de los estudiantes

- Se interesaron bastante por el tema e hicieron preguntas técnicas acerca del robot a los estudiantes de meca, e incluso se les mostró el código.
- Preguntaron qué se estudia en la carrera de mecatrónica del TEC.

-

Conclusiones de la prueba

- Los tags de NFC funcionan bien, entienden que deben “darle una orden al robot”.
- No ven el reverso de las cartas del juego de progra cuando se equivocan a pesar de que las instrucciones estén bien.
- En las instrucciones del juego de programación se debe incluir la instrucción de ver el reverso de las cartas para corroborar la solución antes de probar la carta en el robot.

- Los conceptos de propiocepción y exterocepción, se van a incluir en la guía de interacción digital por medio de dos analogías con el cuerpo humano, una vez que finaliza el juego de teoría vs práctica y vieron al robot funcionando en un contexto real.

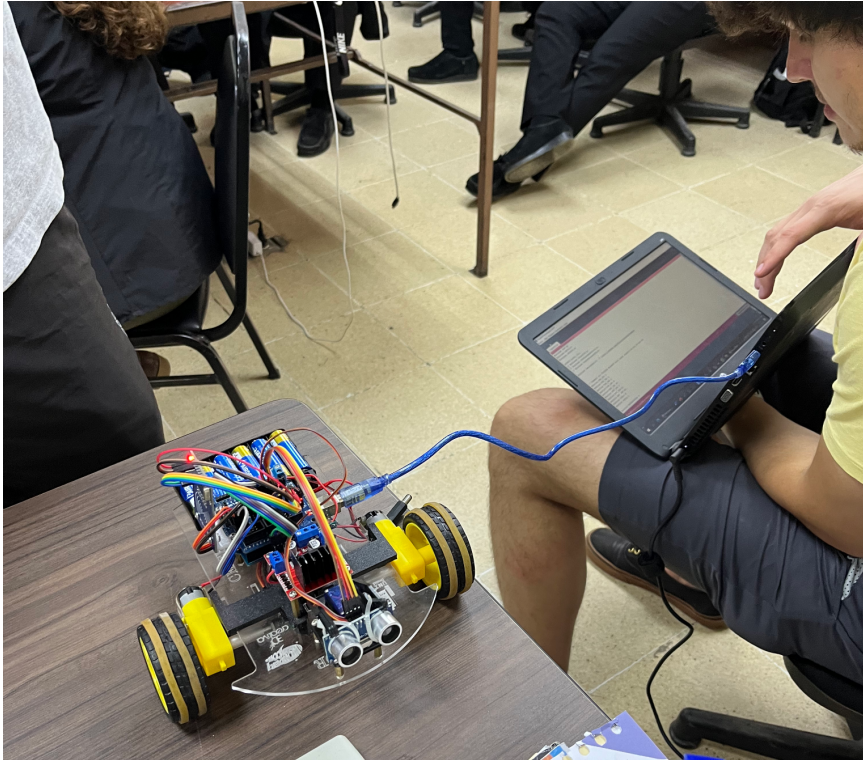


Fig. 41. Estudiante de mecatrónica programando el robot.

Etapas 3 - Prueba de concepto final

Grupo de décimo, 10-1 CTP Mario Quirós - Miércoles 8 de Noviembre
(ver anexo 3)

Materiales usados, ya en su versión final

- Presentación guía (guía de interacción digital)
- Deck de cartas para el juego de componentes
- Deck de cartas para el juego de programación, con su instructivo
- Deck de cartas juego teoría vs práctica
- El robot
- Componentes individuales
- Prueba de conocimiento

Para la prueba del concepto final, se probó la experiencia completa. Ambas pruebas de conocimiento al inicio y al final de la experiencia, la guía digital para el facilitador, y el robot funcionando. Para el juego de componentes, se decidió dar las instrucciones de manera guiada en la guía digital, para que se cumpliera el orden lógico del juego por lo que se eliminó el folleto. Para las cartas de categoría se utilizaron palabras clave para mejorar las descripciones y se hicieron más puntuales. En las cartas de componentes se cambiaron los vectores por imágenes reales, y se reescribieron las definiciones de los componentes, agregando palabras clave que les ayudarían a los estudiantes a categorizarlas. Además se eliminó el color de las mismas, para que la categorización fuera por definición y no solo por color.

Durante la fase experimental, los estudiantes leían el componente y luego realizaban la acción de embodied learning, sin embargo, se decidió empezar por las analogías y acciones y que luego leyera el componente y lo categorizaran para hacer el “cambio” de partes del cuerpo humano a partes del robot, lo que dio resultados positivos.

Para el juego de programación los estudiantes pudieron resolver el juego y probar las cartas correctas con el robot, y comprendieron que siempre se le debe dar una orden o instrucción. Además en el juego de teoría vs práctica contestaron correctamente y pudieron ver al robot funcionar en un escenario de la vida real.

La prueba de conocimiento incluyó 12 preguntas de respuesta breve, un asocie para que los estudiantes categorizaran los componentes y una pregunta de desarrollo.

Observaciones

- Uno de los grupos tenía a dos integrantes muy distraídos, pero interactuando con ellos e involucrándolos en la dinámica se pudo seguir sin ningún problema.
- Los estudiantes tienen preguntas técnicas y quieren poder ver la utilidad de este tipo de carreras en la vida real. Hoy preguntaron por las posibilidades de trabajo si se estudia robótica, y si

es una carrera complicada. Muestran bastante interés en este tipo de carreras y al contar con los estudiantes de mecatrónica en el aula, estos pudieron resolverles las dudas y contarles más acerca de esta carrera en el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Conclusiones de la prueba

- El traerlos al frente para que puedan explicar qué componente tienen en sus manos es de mucho valor, y es el momento perfecto para que, en grupo, podamos repasar las 4 categorías de componentes antes de clasificarlas.
- Cuando pueden ver el código y todo lo que hay detrás, se entusiasman todavía más. Cómo nos acompañaron de mecatrónica y tenían el código fuente, algunos pudieron verlo y fue un momento “wow”.

5.16.4. Análisis de datos

Los datos se analizaron por medio de las pruebas con usuarios, utilizando la prueba de conocimiento, el método de observación y además prueba y error para ir identificando mejoras en cada iteración hasta llegar a un concepto final.

Cada día de validación creó para nosotros al menos un juego de datos cualitativos, ya sea en la forma de la prueba de conocimiento previo (pretest), la prueba de aprendizaje (posttest) o la prueba de modelo mental (dibujo del robot). En algunos casos, la validación arrojó los tres datos, pero esto dependió de los objetivos de validación que se tuvieran para cada día. Iniciando con una evaluación segmentada, pudimos construir de manera progresiva sobre cada elemento validado. De esta manera, el primer paso fue evaluar la semántica y redacción de las preguntas con usuarios no representativos, así como la lógica secuencial de la experiencia. Una vez logrado, pudimos obtener datos de cada iteración que fueron tabulados a mano en una tabla sencilla. Para cada una de las preguntas, se definieron tres parámetros en la mayoría de las preguntas: correcto, incorrecto y respuesta ambigua. Se hizo de esta manera

por la naturaleza de nuestras pruebas, que fueron en todos los casos de carácter abierto con el fin de no facilitar la posibilidad de hacer una respuesta atinada al azar o por descarte por parte de los participantes.

Para preguntas agrupadas como en el caso de los conceptos de propiocepción y exterocepción, se plantearon como dos preguntas en la prueba pero se tabularon como una sola respuesta, bajo los criterios de: “ambas correctas”, “una correcta” y “ninguna correcta”.

6. Resultados

Recordemos que el proceso de validación del plan piloto se desarrolló a lo largo de 7 pruebas en 3 colegios de Costa Rica: uno público, uno privado y uno semi privado. A continuación presentamos los datos obtenidos a partir de la tabulación de los resultados de *pretests* y *posttests* realizados en cada una de las sesiones de prueba. En los gráficos de resultados, los gráficos a color representan *posttests*, mientras que los que se presentan en escala de grises corresponden a *pretests*.

I. **Escuela de ingeniería en diseño industrial**
(23 oct. 2023) 5 participantes.

Este día se evaluó la lógica y redacción de las instrucciones, por lo que no se tabularon los datos.

II. **Colegio Calasanz Hispanocostarricense**
(24 oct. 2023). 19 participantes.

pretest únicamente

¿Qué es un robot?



Conceptos de propio y exterocepción



¿Un robot tiene vida propia?



¿Un robot puede ejecutar acciones sin que un humano se lo indique?



¿Qué es el código de un robot?



Teoría vs Práctica



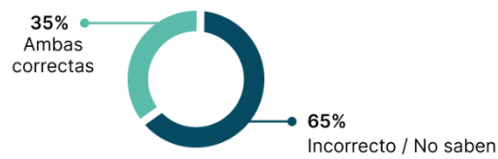
III. Colegio Calasanz Hispanocostarricense (25 oct. 2023). 20 participantes.

posttest únicamente

¿Qué es un robot?



Conceptos de propio y exterocepción



¿Un robot tiene vida propia?



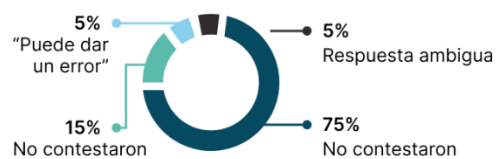
¿Un robot puede ejecutar acciones sin la instrucción de una persona?



¿Qué es el código del robot?



Teoría vs Práctica



IV. Colegio Sagrado Corazón de Jesús (30 oct. 2023). 28 participantes.

posttest únicamente

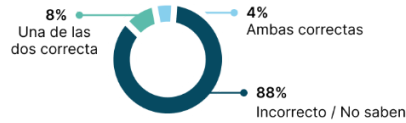
¿Qué es un robot?



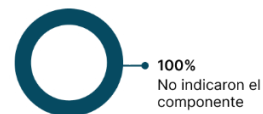
¿Cómo funciona un sensor ultrasónico?



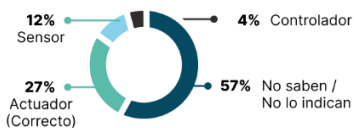
Conceptos de propio y exterocepción



¿Cuál es el componente que le permite al robot generar movimiento? ¿Es un controlador, un sensor o un actuador?



¿Un robot tiene vida propia?



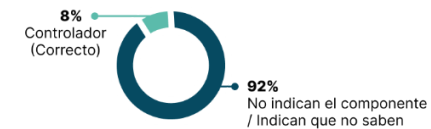
¿Un robot puede ejecutar acciones sin la instrucción de una persona?



¿Cuál es la función de un Arduino? ¿Es un controlador, un sensor o un actuador?



¿Qué es el código/programación del robot?



¿Cuál es la función de un controlador?



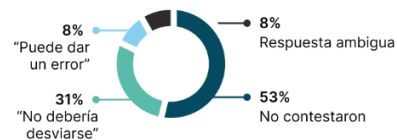
¿Cuál es el componente que le permite al robot interrumpir el paso de corriente eléctrica? ¿Es un controlador, un sensor o un actuador?



¿Qué hace un actuador?



Teoría vs Práctica



V. CTP Mario Quirós Sasso (31 oct.)

pretest 20 participantes

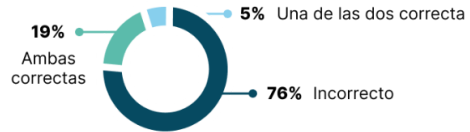
¿Qué es un robot?



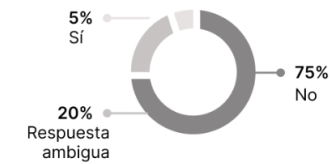
posttest 21 participantes



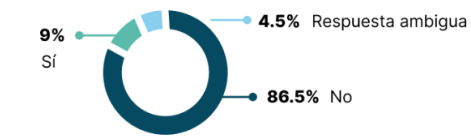
Conceptos de propio y exterocepción



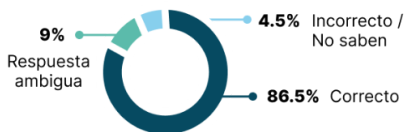
¿Un robot tiene vida propia?



¿Un robot puede ejecutar acciones sin la instrucción de una persona?



¿Qué es el código/programación del robot?



¿Cuál es la función de un controlador?



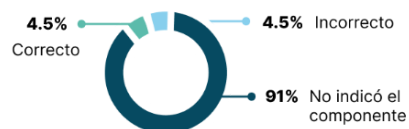
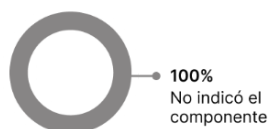
¿Qué hace un actuador?



¿Cómo funciona un sensor ultrasónico?



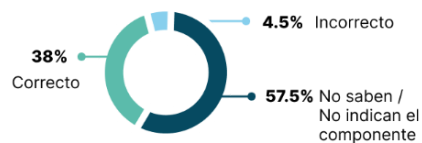
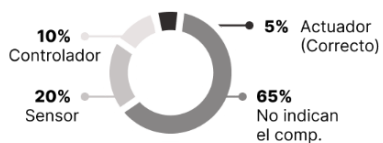
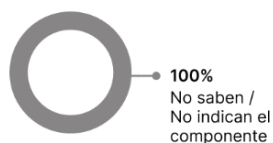
¿Cuál es el componente que le permite al robot generar movimiento? ¿Es un controlador, un sensor o un actuador?



¿Cuál es la función de un Arduino? ¿Es un controlador, un sensor o un actuador?



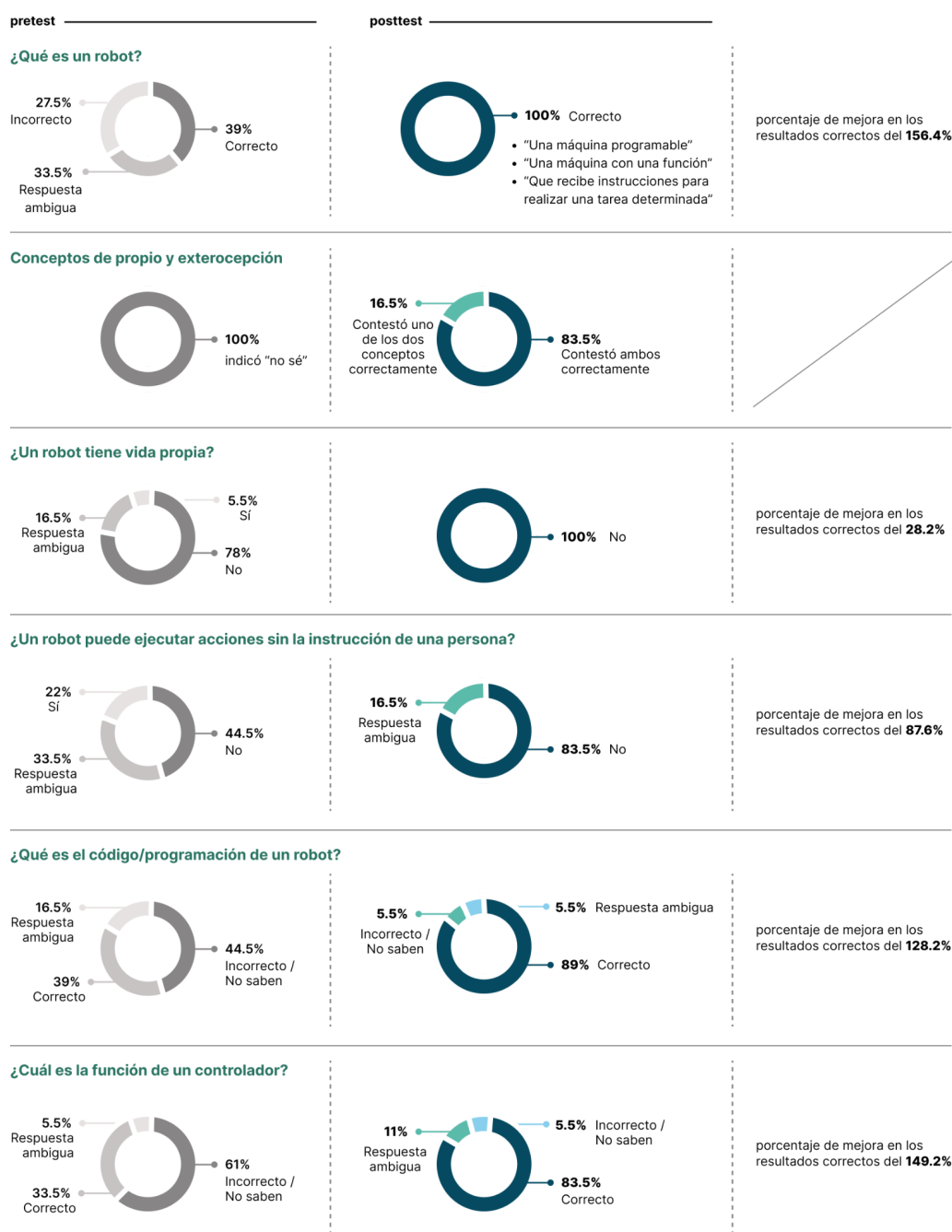
¿Cuál es el componente que le permite al robot interrumpir el paso de corriente eléctrica? ¿Es un controlador, un sensor o un actuador?



VI. Colegio Calasanz Hispanocostarricense (08 nov. 2023). 20 participantes.

En estas pruebas no se realizó pretest ni posttest, ya que el colegio nos solicitó usar solo 40 minutos. Por esto, decidimos omitir la prueba de conocimientos previos y posteriores, ya que era de nuestro interés probar el guión para el ejercicio de Teoría vs Práctica por ser le primer día en que contábamos con las disponibilidad completa del robot funcional.

VII. CTP Mario Quirós Sasso (08 nov. 2023). 18 participantes.



¿Cuál es la función de un actuador?



porcentaje de mejora en los resultados correctos del **909%**

¿Cómo funciona un sensor ultrasónico?



porcentaje de mejora en los resultados correctos del **909%**

¿Qué es e Arduino en un robot?



porcentaje de mejora en los resultados correctos del **1618%**

Explique muy brevemente cómo funciona un interruptor.

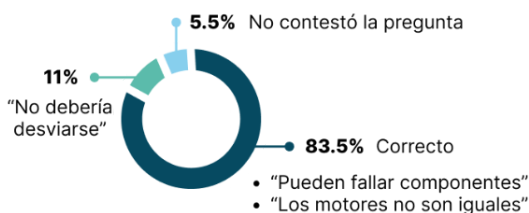


porcentaje de mejora en los resultados correctos del **1109%**

Escriba los componentes del robot en su categoría respectiva.



Teoría vs Práctica



porcentaje de mejora en los resultados correctos del **659%**

7. Discusión

Algunas notas de los días de validación. Cada una de las notas referencia por el número de prueba los resultados expuestos en el apartado anterior.

03 Colegio Calasanz Hispanocostarricense (25 oct.)

A la hora de contestar si un robot puede o no ejecutar funciones sin la instrucción de una persona, se tomaron como correctas las respuestas que indican que “podría, pero solo si programó previamente” o “podría hacerlo si tiene una función automática dada por un humano”.

El apartado de Teoría vs Práctica fue contestado en condición de pretest, pues la hoja que se les entregó contenía la pregunta, a pesar de que ese día no estábamos testeando el ejercicio correspondiente. Por lo que los datos representan conocimientos previos a la actividad.

En esa misma pregunta (Teoría vs Práctica) encontramos que las respuestas dadas hacían referencia a la posibilidad de que el robot se desviara a causa de irregularidades en el terreno, un obstáculo en el camino o algún otro factor externo. Por esto, a partir del día que comenzamos a testear este ejercicio, se especificó en el enunciado que las condiciones son las ideales.

04 Colegio Sagrado Corazón de Jesús (30 oct.)

Luego de este set de pruebas con usuarios, pudimos observar una disociación importante

todavía presente en el contenido. Específicamente, en la identificación de los componentes que estaban estudiando. Los participantes tenían en sus manos cartas con ilustraciones pero al nunca antes haber visto los componentes físicos, las ilustraciones no fueron un método de representación efectiva, aún luego de tener las piezas físicas en sus manos una vez terminado el juego. Estaba sucediendo entonces que no tenían nada con lo que pudieran asociar las analogías que estaban haciendo. Al entender esto, pasamos a incluir imágenes reales de los componentes buscando una asociación más directa y efectiva.

El apartado de Teoría vs Práctica fue contestado en condición de pretest, pues la hoja que se les entregó contenía la pregunta, a pesar de que ese día no estábamos testeando el ejercicio correspondiente. Por lo que los datos representan conocimientos previos a la actividad.

05 CTP Mario Quirós Sasso (31 oct.)

Los participantes que tenían fallos en las respuestas de propio y exterocepción durante el posttest sí tenían una noción mucho más cercana que en el pretest, pero sus respuestas se categorizaron como incorrectas. Por ejemplo, algunos contestaron que eran los estímulos internos y del entorno.

Las preguntas 10, 11 y 12 necesitan revisarse porque están contestando solo una de las dos premisas que se les plantea. Esto podría solucionarse con una simple redacción de partes “a” y “b” de la pregunta.

07 CTP Mario Quirós Sasso (08 Nov.)

En el apartado de teoría vs práctica se planteó un robot impulsado por dos ruedas (como el UniCli) programado para ir en línea recta y se preguntó si era posible que el robot se desviara. ¿El objetivo? Validar si tomaban en cuenta factores del mundo real dentro de sus consideraciones.

Se consideraron correctas las respuestas del funcionamiento del sensor ultrasónico cuando siguieron una de dos direcciones: a) explicar cómo envía una onda y recibe la onda reflejada, o b) indicar que su función es la de escanear el entorno para detectar objetos cercanos. Se hizo de esta manera por su contraste con el pretest, en donde del todo no sabían la respuesta o intentaban aproximarse por el nombre del componente, indicando que tenía que ver con la percepción del sonido.

En el ejercicio de componentes y categorías, a pesar de no poder saberlo con exactitud, es muy probable que los participantes hayan intentado colocar las categorías aún sin saber si sus respuestas eran correctas, solo por completar el test. Incluso podríamos considerar como un indicador de esto el hecho de que la mayoría tuvo un porcentaje de acierto de entre 50% y 60% en el pretest.

Si bien la pregunta del interruptor no fue la que obtuvo el porcentaje de mejora más elevado, fue la que los participantes retuvieron mejor a nivel de explicación del concepto respecto a sus respuestas del pretest. Esta pregunta la contestaron luego de que uno de los participantes clasificara al frente de la clase el switch del robot dentro de su respectiva categoría. En este momento y desde el rol de facilitadores, nos acercamos al interruptor de luz de la clase y les preguntamos si conocían la lógica detrás del interruptor, explicándoles que el interruptor se acciona cuando la luz se apaga, ya que está activamente interrumpiendo el paso de la corriente eléctrica. Desde nuestro punto de vista, esto nos ayuda a confirmar la efectividad de la técnica de enseñanza que encontramos en "Range", libro de David Epstein sobre la generalización y su impacto en un mundo de especialistas. Epstein argumenta que luego de observaciones de clases de matemática, puede asegurar que el aprendizaje de un estudiante es más efectivo cuando este sustituye información errónea. En este caso, la idea de que un interruptor se activa cuando la luz está encendida.

Algunos de los resultados obtenidos pueden ser revisados y mejorados con el fin de conectar no solo con la analogía sino con la respuesta correcta. A pesar de ello, los resultados cualitativos son prometedores y nos muestran que el reto de generar un “enganche” con los estudiantes y motivarlos a invertirse en una actividad que rompe el esquema de una clase magistral, fue logrado. Deliberadamente decidimos hacer al estudiante el centro de la experiencia. ¿Pero por qué? El elemento más fuerte de una clase magistral es el profesor que toma el mando de sus lecciones. Es algo a lo que estamos acostumbrados. Nuestra propuesta busca lograr que los estudiantes puedan tomar el material y avanzar en grupos sin la necesidad de que los contenidos sean dados por el docente, que después de todo cumple su mejor rol al facilitar del aprendizaje, no al exponer teoría. Además, al tener el input del docente de manera más esporádica, la atención aumenta.

Se logró observar el impacto de los espacios de discusión con el facilitador luego del juego de componentes, en el que buscamos hacer que fueran los mismos estudiantes quienes se encargaran del aprendizaje de sus compañeros al hacerlos pasar al frente. Al preguntarles en bajo qué categoría se ubicaba alguna de las piezas del robot, pocos asociaban las cuatro categorías con lo que se pedía como respuesta, y fue este el momento perfecto para reforzar conceptos preguntando de manera abierta por las categorías que habían visto en las tarjetas. Usando este tipo de intervenciones, el rol del docente no pierde validez, sino que dicta los puntos de importancia de una experiencia de aprendizaje.

Decidimos utilizar el embodied learning como vehículo para una experiencia de aprendizaje de una temática que no es habitual para los estudiantes preuniversitarios y que además es muy abstracta para ellos, según hemos podido aprender al hacer validaciones. En conjunto con la premisa de “darles dudas” que luego van a buscar contestar durante la actividad, son técnicas que consideramos tienen un gran potencial para el desarrollo lectivo con enfoque lúdico en las aulas de colegios tanto públicos como privados.

8. Conclusiones y trabajo futuro

Por último, concluimos haber logrado nuestros objetivos de proyecto, en donde relacionamos las necesidades de nuestros usuarios con las características del contenido en nuestra etapa de investigación y contacto con stakeholders. Luego, logramos elaborar un objeto de aprendizaje que existe ahora como un complemento para el robot que se utilizó a partir de un requisito solicitado por el cliente. Este objeto de aprendizaje diseñado logró además ser completamente analógico, buscando hacerlo accesible a los diversos contextos socioeconómicos del país. Y por último, logramos validar la propuesta de diseño en un proceso iterativo garantizando los principios de user centered design. Nuestra conclusión general del proceso de diseño y su resultado, es haber logrado motivar a los estudiantes a través de un proyecto que a futuro podría continuar desarrollándose como una propuesta de impacto muy positivo para la población estudiantil del país.

- La prueba de conocimiento debe ser parte de la experiencia al inicio de la misma, ya que ayuda a enfocar el aprendizaje.
- La prueba de conocimiento debe ser parte de la experiencia al final de la misma, ya que sirve como instrumento de evaluación para la materia del profesor donde se implementa el aprendizaje.
- Como trabajo futuro, debe diseñarse un animatic para capacitar a los profesores a facilitar la experiencia. Para efectos del proyecto, nosotros facilitamos la experiencia.

9. Referencias

[1] Noveno Informe Estado de la Educación, 2023. [Fecha de acceso: Set. 6, 2023]

[2] United Nations, “Objetivos de Desarrollo Sostenible”, 2015. [Online]. Disponible en:
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/education/>
[Fecha de acceso: Jun. 8, 2023]

[3] J. Chale, “El desafío de la enseñanza de robótica en las instituciones educativas”. Revista Latinoamericana en Comunicación, Educación e Historia, N° 1. Año 1. pp.29 - 35, 2019.

[Fecha de acceso: Ago. 28, 2023]

[4] A. Berciano, M. Salgado, C. Jiménez, “Alfabetización computacional en educación infantil: Dificultades y beneficios en el aula de 3 años”. Revista Electrónica Educare, 2022.

[Online]. Disponible en:
<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/EDUCARE/article/view/13677/26355#info> [Fecha de acceso: Set. 1, 2023]

[5] S. Gil, “Aprendizaje cognitivo corporal (embodied learning) aplicado a la asignatura de Tecnología en Secundaria”, Tesis, Universidad de Valladolid, Valladolid, España. 2020.

[6] S. Mejía, “Método Scaffolding aplicado a la enseñanza-aprendizaje de la lengua extranjera (inglés) en el grado quinto de primaria.”, Tesis, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín. 2020.

10. Anexos

Anexo 1. Prueba de conocimiento

https://drive.google.com/file/d/11T2SoKpcRKYvZnPrOA-ijjNwempYaN30/view?usp=drive_link

Anexo 2. Guía de interacción

https://drive.google.com/drive/folders/1IEFqiJTzQQztOT515lkTKG6FeiSH7szm?usp=drive_link

Anexo 3. Videos de interacción con el robot

https://drive.google.com/drive/folders/1rrJiQwyj-j86l6ZwBYH7snFh7oM0kjh?usp=drive_link

Anexo 4. Journey map de la experiencia

https://drive.google.com/file/d/1vQ-9TZh7s5Qo-bCBKTV5Q8wwbNWbAD51/view?usp=drive_link

Anexo 5. Tiro y retiro, decks de cartas

https://drive.google.com/file/d/1bA_paAYeGTr4Pro7fwnqM4XMfq2zVRXW/view?usp=drive_link

Anexo 6. Instructivo juego de programación

https://drive.google.com/file/d/1NJMtfUDFTZyO0D70h9zPuAppxmeA7afl/view?usp=drive_link