

Desarrollo de un robot móvil interactivo para el aprendizaje lúdico y la enseñanza de una lengua

Manuel Alejandro Ojeda-Misses

Abstract—This paper presents a mobile robot for development of interactive games and language learning purposes based on the Kinect v2. The game uses interface seeks to take advantage of human computer interaction in a playful way through gesture recognition. This work combines robotics and games, games and language learning, and some recent developments about robotics and language learning. The hardware used to build the mobile robot is described as well as the ludic game for language teaching by an interface human-robot. Performance of the platform is assessed by means of real-time experiments by students using a non-linear control based on a trajectory tracking during various practices. The experiment proves the platform potential for supporting ludic game and tested successfully and then discuss the results and mention future perspectives.

Index Terms—Playful game, mobile robot, non-linear control, trajectory tracking, language learning, Kinect v2.

I. INTRODUCCIÓN

EL desarrollo acelerado y las constantes transformaciones que ha experimentado la sociedad en las últimas décadas, debido a los múltiples avances tecnológicos y científicos aplicados para un ámbito laboral, personal y educativo, en un aspecto cada vez más exigente. La incorporación de las tecnologías en nuestra vida diaria ha resultado ser un complemento para abordar y facilitar las tareas anteriormente impensables o demasiado complejas de llevar a cabo por nosotros mismos. Muchas de ellas son realizadas por dispositivos tecnológicos con cierta inteligencia o robots que, sin la menor apariencia humana, nos facilitan muchas de nuestras labores en la industria, en el hogar, en la escuela, entre otros.

En los últimos años, el fenómeno de la robótica ha ido implementándose cada vez más en escuelas como herramientas que permiten el aprendizaje y la enseñanza, entendiéndose como tal, un avance revolucionario y progresista que posibilita y mejora la realización de múltiples tareas mediante una máquina reprogramable, y considerando como eje primordial la educación. La robótica se ha

convertido en una disciplina que ha permitido incidir en nuevos enfoques de aprendizaje bajo enfoques y principios de aprendizaje del siglo XIX [1], [2], [3] y nuevas literacidades mediáticas multimodales [4].

Los orígenes de la robótica aplicada a juegos lúdicos se originan a finales del siglo XVIII, cuando Wolfgang von Kempel desarrolló una máquina autónoma capaz de desafiar en el ajedrez a un jugador humano. Hoy en día, los robots en general y los robots móviles en particular siguen generando amplio interés como dispositivos lúdicos. Ejemplo de ello son los desarrollos propuestos por Ohashi *et al.* [5], Galán *et al.* [6] y Su *et al.* [7], entre otros.

Las herramientas basadas en robots permiten la interacción jugando un papel importante en el desarrollo del aprendizaje. Esto permite optar por el desarrollo de la infraestructura experimental basada en robots. Sin embargo, una alternativa, para el aprendizaje ha sido desarrollada mediante herramientas que utilizan programas de cómputo para la realización de aplicaciones [8], pero estas no generan las necesidades asociadas a una plataforma experimental. Sin embargo, aplicaciones basadas en las simulaciones no son suficientes para un caso de estudio, ya que es necesario realizar un análisis práctico, donde los aprendientes complementen los aspectos teóricos y permitan una interacción directa con experiencias para comprender conceptos abstractos y ponerlos en práctica. Por lo tanto, una solución es el desarrollo de plataformas con fines educativos que sean fáciles de construir y estén al alcance de los aprendientes mediante un diseño ergonómico que permitan obtener y realizar experimentos cuantificables, mediante interacciones con aplicaciones en computadoras.

II. APORTES DEL ROBOT MÓVIL INTERACTIVO

En el caso de herramientas para el aprendizaje de una lengua existen algunos trabajos [8],[9],[10], que se basan en aplicaciones para el aprendizaje de lenguas que van acompañados de robots educativos. Dichos robots son desarrollados para juegos, entre los que se encuentran el robot de Steels [11][12], que combina inteligencia artificial y juegos de lengua a través de secuencias de interacción verbal entre dos agentes situados en un entorno dado. Otras aplicaciones para el aprendizaje de lenguas con robots han sido concebidas mediante aplicaciones con el robot Nao [13][14]. Estos trabajos de investigación han sido concebidos mediante aplicaciones de robótica educativa que apuestan por prácticas unidireccionales de aprendizaje y que son apuntaladas por un enfoque

conductista, en la medida en que la interacción humano-robot consiste solamente en repetir palabras.

Sin embargo, en este artículo se busca el desarrollo de un robot móvil interactivo programable destinado al desarrollo de aplicaciones lúdicas con fines de aprendizaje y constituida por una computadora, además de sensores, actuadores y/o cámaras, así como un sistema de control.

Dicha robot emplea una interfaz humano-máquina que permite una comunicación específica con el usuario y puede hacer uso de sonidos expresivos, símbolos, figuras, entre otros. El robot es capaz de percibir tanto las características del entorno como los movimientos realizados por el usuario. El propósito principal del robot es promover un aprendizaje más efectivo, al tomar en consideración variables tales como el entorno de aprendizaje, la participación en grupo, la interacción frecuente, la retroalimentación y las conexiones con el contexto del mundo real [2][3] mediante aplicaciones usando el cognoscitivismo, constructivismo e interaccionismo [15]. Cuyo objetivo es concebir, diseñar y desarrollar aplicaciones lúdicas que promuevan el aprendizaje mediante el uso de un robot capaz de desempeñar tareas específicas, movimientos, reconocimiento y procesamiento de datos mediante el uso de sistemas de control, la computadora y lenguajes de programación. Contribuye a complementar el proceso de aprendizaje/enseñanza gracias al uso de las tecnologías aplicadas en situaciones formales, semiformales o informales de aprendizaje, mediante la introducción de nuevas dinámicas y actitudes, recurriendo a y promoviendo el uso de la literacidad mediática multimodal y de las competencias del siglo XXI.

En suma, se ha comprobado que los robots han sido aplicados para diversos enfoques, en el caso particular, los robots móviles han tenido un auge importante, trátase de robots guías [16] [17], de robots de apoyo a la rehabilitación [18]-[20], de robots para la navegación [21] y el mapeo simultáneo [19],[22] de robots multiagentes [23] y/o de robots aplicados a juegos [5],[6],[7],[8],[9],[10]. Lo que permite, el desarrollo de un robot móvil interactivo para el aprendizaje lúdico de una lengua, donde los aprendientes no solo tengan conceptos teóricos, sino también aplicarlos en aplicaciones prácticas mediante un robot móvil interactivo que permita relacionar los conceptos abstractos bajo su propia experiencia a través de la infraestructura y el equipamiento y el movimiento del robot.

Para el desarrollo del robot móvil interactivo es primordial el acondicionamiento y la programación de sensores capaces de medir las variables de interés –relativas al entorno, al usuario y/o al robot– como de actuadores capaces de poner en movimiento las extremidades, los eslabones o las ruedas del dispositivo. Algunos dispositivos comúnmente usados con ese fin son las palancas de mando o *joysticks* [24], los dispositivos hápticos [25], las cámaras [26], [27], los teléfonos inteligentes [27] o los relojes inteligentes [28].

Entre los dispositivos que permiten obtener datos útiles para el desarrollo y la implementación de interfaces humano-máquina en tiempo real destaca el Kinect v2. Que permite medir los parámetros del cuerpo humano, el Kinect v2 integra

tres tipos de sensores: una cámara a color, un sensor infrarrojo y un conjunto de micrófonos. En comparación con otros dispositivos, presenta especial interés por su accesibilidad y su bajo costo [29], [30]. El Kinect v2 ha sido aprovechado en diversas disciplinas corporales y/o artísticas: artes marciales [31], yoga [32], danza [33] o música [34], entre otras.

En el marco de esta investigación, se busca combinar a la robótica, las ciencias del juego y la didáctica de lenguas, se ha dado prioridad a las propuestas de uso del sensor Kinect v2 relacionadas con robótica y juegos. En el campo de la robótica, el Kinect v2 ha sido principalmente utilizado en asociación con robots articulares y con robots móviles, para realizar aplicaciones e interfaces. La mayoría de las aplicaciones han sido implementadas para los robots móviles, mientras que las interfaces han sido desarrolladas sólo para robots articulares.

Entre las aplicaciones más notables están el sistema articular de validación de dispositivos RGBD para medir el equilibrio de pacientes en terapia [35]; la aplicación para la captura automática de posturas corporales con fines de análisis para el aprendizaje [36] y el robot móvil compacto bajo ROS para la navegación y la localización en ambientes no estructurados [37].

En cuanto a las interfaces humano-robot, resultan pertinentes en el marco de este proyecto cinco de ellas: el sistema de reconocimiento de gestos desarrollado por Baron *et al.* [38] para mover un brazo robótico; la interfaz creada por Grazia *et al.* [39] para reconocer posturas estáticas del cuerpo humano; la interfaz diseñada por Dardan *et al.* [40] para el reconocimiento de gestos gracias a un robot tipo Lego que identifica las acciones ejecutadas por un grupo de niños mientras bailan; las librerías de desarrollo de software para el Kinect v2 (SDK) elegidas por Cueva *et al.* [41] para controlar a un robot industrial de siete grados de libertad; y, finalmente, la interfaz generada por Benabdallah *et al.*[42] para mover un robot industrial, basada en LabVIEW.

Durante la revisión de la literatura, no fue posible identificar trabajos que integrasen robótica, ciencias del juego y didáctica de idiomas. Ahora bien, entre los juegos programados con el Kinect v2 que coinciden en mayor o menor grado con el enfoque de tipo ludopedagógico, se pueden mencionar, entre otros, la propuesta de Fernández & von Lucken [43], cuyo objetivo es propiciar el acercamiento lúdico a las matemáticas de niños en edad preescolar, así como los juegos diseñados por Qingtang *et al.* [44] y por Grammatikopoulou *et al.* [45], en los cuales el usuario dirige un avatar mediante movimientos del cuerpo. El trabajo de Iturrate *et al.* [46] combina el Kinect v2 con juegos de video y robots móviles remotos, en el marco de un entorno interactivo donde los participantes son invitados a cooperar o combatir entre sí mediante la resolución de retos de cultura general.

En el presente artículo, tras efectuar un breve balance de los antecedentes relativos a los robots móviles en general y a los robots móviles que incluyen un sensor Kinect v2 en particular,

se presenta una aplicación lúdica para el aprendizaje de un conjunto de ocho partes del cuerpo en francés mediante el robot móvil, que tiene como propósito combinar de manera equilibrada los aportes de la robótica, las ciencias del juego y la didáctica de lenguas.

El producto obtenido consiste en una propuesta de un juego lúdico basada en reconocimiento de gestos para fortalecer el aprendizaje de vocabulario relacionado con las partes del cuerpo. La aplicación, desarrollado por ahora en francés, puede ser implementado en diferentes idiomas.

La interfaz aprovecha la comunicación no verbal para un aprendizaje activo y significativo. Con miras a fomentar la autonomía, incluye un menú que permite al usuario descubrir de manera independiente el funcionamiento del robot, practicar el vocabulario por adquirir y, finalmente, jugar. El juego lúdico tiene como objetivo ser empujado en el proceso de aprendizaje de lenguas desde la adquisición, la conceptualización y/o la sistematización del vocabulario relativo a las partes del cuerpo.

Se describen los principales elementos que integran al robot móvil, se expone el control no lineal empleado para el seguimiento de trayectorias y se presentan resultados de control para la aplicación lúdica llamada *De la tête aux pieds* (De la cabeza a los pies), diseñada para favorecer el aprendizaje de vocabulario para aprendices de francés, se discuten los resultados obtenidos y se esbozan las perspectivas a futuro.

III. COMPONENTES DEL ROBOT MÓVIL INTERACTIVO

El robot móvil interactivo posee una configuración diferencial con una rueda de apoyo.

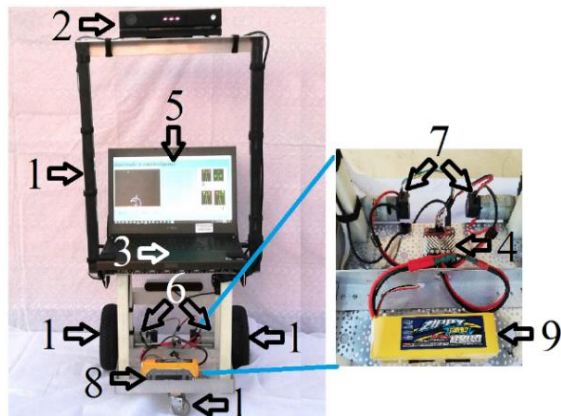


Figura 1. Conexión de los componentes del robot móvil

El prototipo, mostrado en la Figura 1, incluye una estructura mecánica (1), un sensor Kinect v2 (2), una computadora portátil (3), un controlador de motores de corriente directa (CD) RoboClaw (4), se utiliza un entorno Matlab-Simulink (5) [47], un núcleo de tiempo real QUARC [48] y Visual Studio (5) [49], dos motores de corriente directa (6) con

decodificadores ópticos incrementales (7), una bocina (8) y una batería de litio (9).

A. Estructura mecánica

Se utilizó una construcción sencilla para la estructura mecánica del robot móvil que permitiera acomodar tanto el sensor Kinect como la computadora de control usando una configuración diferencial para el robot móvil. Esta estructura permite colocar los demás componentes en la parte inferior: el controlador RoboClaw, los motores de CD, los decodificadores ópticos incrementales y la batería. Se utilizaron llantas neumáticas porque dan una mejor tracción en superficies irregulares y contribuyen en el amortiguamiento del equipo, mientras que la rueda rígida permite al robot reorientarse hacia cualquier ángulo y posición.

B. Kinect v2

El sensor Kinect v2 permite el seguimiento de 26 articulaciones del cuerpo humano y detecta tres estados de las manos (mano abierta, mano cerrada y lazo). El Kinect v2 usa un sensor infrarrojo para estimar la distancia, calculando el tiempo que tarda ese haz en ir y en regresar. La identificación del usuario y la medición de los parámetros se lleva a cabo mediante las herramientas del kit de desarrollo de software (SDK) de Kinect v2 [50], mismas que proporcionan una representación de las articulaciones del cuerpo y sus posiciones en el espacio tridimensional [51].

C. Computadora

Se emplea una computadora Dell Precisión m4700 para ejecutar los programas necesarios para su operación. Se tienen instalados los programas Matlab2012b-Simulink-QuaRC 2.3, Visual Studio V.12 (C#) y Kinect Studio Software Development Kit (SDK v2). En general, el procesador ejecuta dos programas: una interfaz gráfica de Kinect y el control en tiempo real mediante el entorno Matlab2012b-Simulink-QuaRC.

D. Controlador RoboClaw

Para el control de motores se utiliza RoboClaw [52], diseñado específicamente para ese fin. Este controlador brinda una interfaz de lectura de los decodificadores ópticos incrementales, una estimación de velocidad, lazos internos de velocidad, la configuración de voltajes mínimos y máximos, la configuración de corrientes y el manejo de errores, facilitando así la implementación. Desde luego, existen otras alternativas, tales como Raspberry Pi o Arduino. Sin embargo, éstas exigen un puente H externo, además de un dispositivo de comunicación USB a USART TTL 3.3V en el caso de Raspberry Pi. Arduino es una opción interesante para proyectos que no requieren altas prestaciones, pero resulta una opción inadecuada cuando los requerimientos de tiempo son demandantes, como es el caso de sistemas en tiempo real.

E. Matlab-Simulink y Visual Studio

Matlab-Simulink es empleado para llevar a cabo el diagrama de bloques de la estrategia de control, además se

lleva a cabo una comunicación TCP/IP que permite la conexión con la interfaz programada en el lenguaje C# utilizando Visual Studio bajo el entorno .NET y el SDK Kinect. Estas herramientas permiten utilizar plenamente el potencial del SDK Kinect. El reconocimiento del cuerpo se lleva a cabo mediante dos funciones incluidas en el SDK, *Body Tracking* y *Body Frame Ready*. Éstas sirven para medir parámetros específicos de las partes del cuerpo, tales como longitudes, ángulos y distancias, entre otros. Dichos parámetros son empleados en Matlab-Simulink para mover y controlar al robot móvil en tiempo real.

F. Motores eléctricos

Los motores son los principales actuadores del robot móvil, pues permiten llevar a cabo su locomoción. El robot posee dos motores de corriente directa de 12 V con un arreglo de engranes planetarios, cada uno tiene acoplados a su eje una rueda [53].

G. Decodificadores ópticos incrementales

Para medir y retroalimentar la posición angular, cada motor tiene incorporado un decodificador incremental de 5000 ciclos por revolución, con dos canales en cuadratura, las conexiones se realizan a través de un conector estándar de 5 terminales dadas por una conexión de tierra, un índice, un canal A, una alimentación de 5V y un canal B [54].

H. Batería de litio

La batería eléctrica permite llevar a cabo el funcionamiento y energizar al robot móvil. La batería de litio usada es de marca Zippy y ofrece un voltaje de 14.5 V a 3200 mA [55].

La arquitectura del sistema se muestra en la Figura 2.

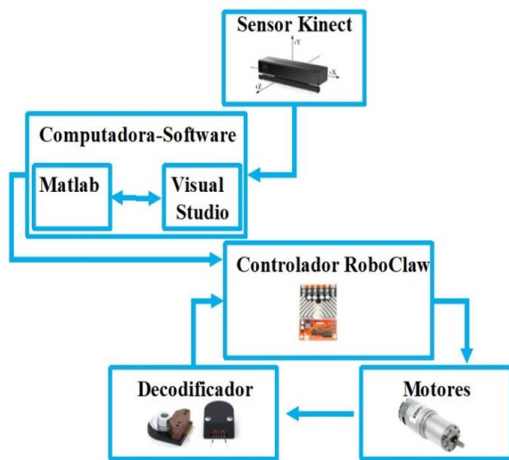


Figura 2. Arquitectura de conexión de los componentes del robot móvil.

I. Modelado cinemático y estrategia de control

La cinemática de movimiento del robot móvil es representada como:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= v(t) \cos(\theta) \\ \dot{y}(t) &= v(t) \sin(\theta) \\ \dot{\theta}(t) &= \omega(t)\end{aligned}\quad (1)$$

donde (\dot{x}, \dot{y}) son las velocidades con respecto a la posición en el plano, el vector de posición (x, y, θ) del robot es medido con base en el marco de referencia de Kinect v2, v representa la velocidad lineal y ω representa la velocidad angular del robot. Las velocidades lineal y angular son definidas como:

$$\begin{aligned}v(t) &= \frac{r(\omega_d + \omega_i)}{2} \\ \omega(t) &= \frac{r(\omega_d - \omega_i)}{L}\end{aligned}\quad (2)$$

donde ω_d representa la velocidad angular de la llanta derecha, ω_i representa la velocidad angular de la llanta izquierda, r es determina el radio de las llantas y L es definida como la distancia entre las llantas.

El problema para el seguimiento de trayectorias es diseñado con una estrategia de control $u = (u_d \ u_i)^T$ tal que el error sea:

$$e = \lim_{t \rightarrow \infty} [p(t) - p_{ref}(t)] = 0. \quad (4)$$

Usando la ecuación de la dinámica del error (4) y empleando un cambio de coordenadas se tiene que:

$$\begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{ref} - x \\ y_{ref} - y \\ \theta_{ref} - \theta \end{pmatrix} \quad (5)$$

donde e_1, e_2 son los errores de posición en el marco de referencia del robot móvil, e_3 es el error en orientación y $q_r = [x_{ref}, y_{ref}, \theta_{ref}]^T$ es la trayectoria de referencia. El controlador para el seguimiento de trayectoria está dado por:

$$\begin{aligned}u_d &= -k_1(v_{ref}, \omega_{ref})e_1 \\ u_i &= -k_2 v_{ref} \frac{\sin(e_3)}{e_3} e_2 - k_3(v_{ref}, \omega_{ref})e_3\end{aligned}\quad (6)$$

donde k_2 es una constante positiva y $k_1(\square), k_3(\square)$ son funciones continuas estrictamente positivas en $\square \times \square - (0,0)$. La función es definida como

$$k_1(v_{ref}, \omega_{ref}) = k_3(v_{ref}, \omega_{ref}) = 2\zeta \sqrt{\sigma v_{ref}^2 + \omega_{ref}^2} \quad (7)$$

donde $k_2 = \sigma$, cabe mencionarse que ζ, σ son ganancias reales y positivas. Las estrategias de control son aplicadas a las velocidades angulares de cada motor del robot. Ahora, es primordial comprobar la estabilidad del sistema mediante la estrategia de control. Para esto, se considera la dinámica del error y un punto de equilibrio estable para el sistema dado por $e = 0$. Considerando la siguiente función candidata de Lyapunov se valida la estabilidad del controlador:

$$V(e) = \frac{k_2}{2} (e_1^2 + e_2^2) + \frac{e_3^2}{2} \quad (8)$$

derivando (8) con respecto al tiempo t a lo largo de las trayectorias del sistema se tiene:

$$\dot{V}(e) = k_2 e_1 \dot{e}_1 + k_2 e_2 \dot{e}_2 + e_3 \dot{e}_3 \quad (9)$$

$$\dot{V}(e) = k_2 e_1 (u_1 + \omega_{ref} e_2) + k_2 e_2 (v_{ref} \sin(e_3) - \omega_{ref} e_1) + e_3 u_2 \quad (10)$$

obteniéndose

$$\dot{V}(e) = k_2 e_1 u_1 + k_2 e_2 v_{ref} \sin(e_3) + e_3 u_2 \quad (11)$$

sustituyendo (6) en (11) y realizando operaciones se obtiene

$$\dot{V}(e) = -k_1 k_2 e_1^2 - k_3 e_3^2 \quad (12)$$

donde \dot{V} es negativa definida y garantiza que el sistema sea asintóticamente estable. □

IV. INTERFAZ GRÁFICA

El funcionamiento del robot móvil interactivo se consigue mediante una interfaz interactiva humano-robot móvil. La interfaz interactiva del robot móvil está inspirada en un modelo de máquina de estado finito. Al brindar al usuario la posibilidad de elegir entre diversas funciones, permite realizar transiciones usando como entrada gestos de las manos. Estos gestos son definidos según dos posiciones (arriba/abajo) y dos estados (mano abierta/mano cerrada).

El usuario logra que el robot pase de un estado a otro mediante la adquisición y el reconocimiento de los parámetros del cuerpo humano efectuados por el Kinect v2. Cada acción del robot móvil está asociada a un ademán específico. Gracias a ellos, el usuario podrá conducir el robot de un estado origen a un estado destino, pasando por otros estados primarios y secundarios que mencionaremos más adelante.

Por su parte, la interfaz gráfica (Figura 3) se caracteriza por ser interactiva, multifuncional y de fácil manejo. Gracias al Kinect v2, permite la interacción entre el usuario y el robot móvil mediante sonidos, imágenes, movimientos y gestos. Brinda así un interesante potencial para captar la atención de los aprendientes y promover una participación más activa e integral.

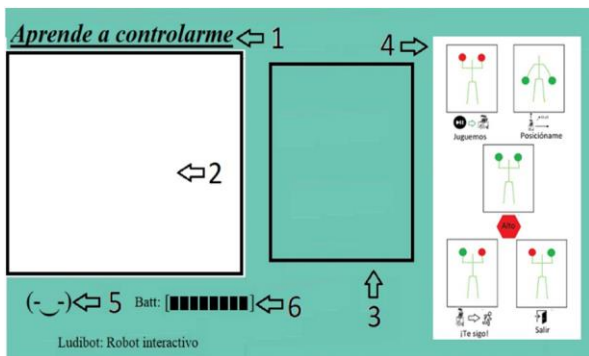


Figura 3. Ventana principal de la interfaz gráfica en Visual Studio 2012.

La interfaz es definida como multifuncional, ya que el usuario puede seleccionar entre cinco estados diferentes; se activa sólo un estado a la vez, pero es posible entrar y salir cuantas veces se desee. Finalmente, su manejo es fácil, pues el

usuario controla al robot mediante dos posiciones de los brazos y dos estados de las manos.

La interfaz gráfica incluye la barra de estados (1), la ventana de animación (2), la ventana del gesto detectado (3), la ventana con el repertorio de gestos disponibles (4), el estado de la detección por parte del Kinect v2 (5) y, finalmente, la barra de nivel de energía de la batería (6). Cada uno de estos elementos se explica brevemente a continuación.

La barra de estados describe el estado actual del robot. Entre las funciones implementadas están: “Aprende a controlarme”, “Menú”, “¡Te sigo!”, “Posicióname”, “Juguemos”.

La ventana de animación muestra la representación del cuerpo del usuario obtenida a partir de la información de Kinect v2. La detección de 25 articulaciones preestablecidas permite medir diversos parámetros, tales como la distancia a la que se encuentra el usuario, el estado de las manos, los ángulos de los brazos y las piernas. Para posicionar y mover al robot móvil, la interfaz emplea los siguientes estados de las manos: mano abierta (círculo verde), mano cerrada (círculo rojo), mano arriba o abajo del punto superior del pecho a la altura del hombro.

La ventana del gesto detectado presenta la imagen de la posición y el gesto del usuario tal como están siendo identificados en un momento dado. Permite así visualizar cuál es el gesto activo y, por lo tanto, cerciorarse de la pertinencia del gesto que ha sido seleccionado.

La ventana con el repertorio de gestos disponibles asocia la representación gráfica de diversos estados y los nombres respectivos. Indica al usuario los estados accesibles en un momento y sirve para recordar el gesto preestablecido para cada estado.

El estado detectado por el Kinect v2 es representado mediante una secuencia de caracteres que simbolizan una emoción dada, a manera de emoticones. La secuencia de caracteres a) representa una cara con los ojos abiertos e indica que el Kinect v2 está detectando adecuadamente al usuario. La secuencia de caracteres b) representa una cara con los ojos cerrados, lo cual implica que el Kinect v2 no está detectando a ningún usuario.

La barra de nivel de energía indica el estado de carga de la batería en tiempo real.

Una vez presentada la interfaz y sus elementos, a continuación, se describe el juego lúdico desarrollado mediante el robot móvil interactivo presentado en este artículo.

V. JUEGO LÚDICO DE LA TÊTE AUX PIEDS

Según se ha visto hasta ahora, el desarrollo del juego *De la tête aux pieds* requirió el diseño de una arquitectura específica, que incluye un robot y una interfaz interactiva. El protocolo de comunicación humano-máquina establece la conexión para realizar el envío y la recepción de datos, mientras que la ley de control permite al robot realizar los movimientos necesarios.

El juego lúdico desarrollado con el robot está destinado para el aprendizaje mediante un dinámica dirigida o semiautónoma, teniendo por objetivo lingüístico la sensibilización, la conceptualización y/o la sistematización del vocabulario básico relativo a ocho partes del cuerpo humano (véase Figura 4), así como fomentar la gramática y la fonética correspondientes. En otras palabras, los usuarios pueden ser tanto aprendientes que se acercan por primera vez a ese vocabulario, como aprendientes que buscan organizar o repasar un conocimiento léxico previo.

El juego lúdico es fácilmente adaptable a cualquier idioma, pues basta con sustituir los archivos de los audios y las imágenes con los archivos correspondientes en el idioma deseado. También puede ajustarse el nivel de lengua, enriqueciendo el repertorio léxico o reemplazándolo por una lista de nivel más avanzado.

Es posible asimismo programar adaptaciones a otros campos léxicos, siempre y cuando a cada unidad léxica corresponda una posición específica en el espacio (por ejemplo, identificar figuras proyectadas en una pantalla o ubicar sitios en un mapa). A reserva de futuros desarrollos, *De la tête aux pieds* ha permitido ya efectuar diversas pruebas, que se mencionan a continuación. Según se menciona más arriba, la funcionalidad del robot móvil dentro del estado primario "Juguemos" se basa en tres estados secundarios: "Repasar", "Entrenar" y "Jugar *De la tête aux pieds*". Tiene como objetivo ser usado para el aprendizaje del vocabulario en francés de las partes del cuerpo humano.

La Figura 4 ilustra las partes del cuerpo humano incluidas hasta ahora en el repertorio del robot. A futuro, se tiene contemplado ampliar la lista de vocabulario disponible.



Figura 4. Partes del cuerpo humano incluidas en *De la tête aux pieds*.

Esta primera dinámica brinda un acercamiento sonoro, visual y escrito al corpus de vocabulario. En efecto, la interfaz enuncia el nombre de cada parte del cuerpo y, simultáneamente, muestra en pantalla la imagen correspondiente, acompañada del nombre en cuestión, siempre precedido del artículo definido (*le, la o l'*) que, en los dos primeros casos, permite determinar el género de la palabra.

El propósito es permitir al usuario iniciar con un proceso de aprendizaje intuitivo, escuchando las palabras y tocando la

parte del cuerpo correspondiente. De esta manera, el aprendiente descubre o repasa elementos léxicos (nombre de la parte del cuerpo), gramaticales (género de la palabra) y fonéticos (pronunciación), identificando las partes del cuerpo en el mismo, como se muestra en la Figura 5.

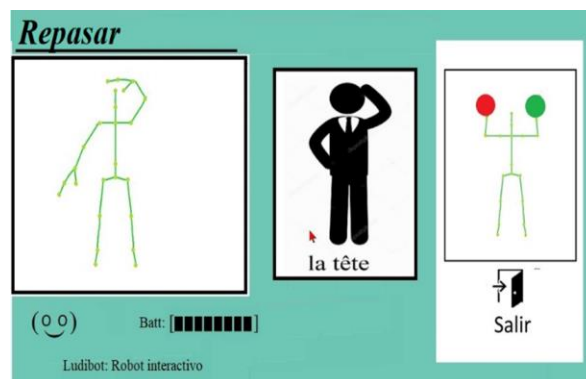


Figura 5. Interfaz con el estado "Repasar" del robot lúdico.

La pantalla incluye tres secciones: a la izquierda aparece el título de la modalidad de juego, seguida por un recuadro con la representación del cuerpo del usuario. En el caso de la Figura 5, vemos al jugador tocando su propia cabeza, en respuesta al audio previamente emitido (*la tête* [latet]). Más abajo figuran el estado de detección de Kinect y el estado de la batería. Al centro, se muestra el modelo de figura humana que permite identificar la posición, el nombre y la ortografía de la parte del cuerpo mencionada. A la derecha, se ofrece al usuario la opción "Salir" y se le recuerda el gesto correspondiente.

La segunda y la tercera dinámica del estado "Juguemos" son "Entrenar" y "Jugar *De la tête aux pieds*". Ambos estados se basan en tocar la parte del cuerpo enunciada por el robot móvil mediante el estado secundario "Recibir indicación", cuya función es reproducir un audio aleatoriamente. El juego continúa hasta obtener cinco respuestas correctas del usuario.

Cada vez que el usuario obtiene un acierto, el robot emite una señal sonora específica, muestra en pantalla un ícono de aplauso, y avanza una distancia preestablecida. Por el contrario, si el usuario se equivoca o tarda más de cinco segundos en dar su respuesta, el robot emite una señal sonora de error y no avanza.

Cuando el jugador obtiene cinco aciertos, gana. El robot emite una señal sonora de fanfarria para felicitarlo, por ende, el juego se reinicia automáticamente. Ahora bien, si el usuario llega a acumular tres errores, se reproduce una señal sonora distinta, que indica que el jugador ha perdido el juego. En tal caso, el juego es reiniciado de manera automática. A futuro, las distintas señales sonoras mencionadas serán sustituidas por mensajes vocales en el idioma de aprendizaje.

Lo que distingue el estado "Entrenar" del estado "Jugar *De la tête aux pieds*" es, como se mencionó más arriba, la introducción de una dificultad adicional, provocada por el

desfase entre la parte enunciada y la parte por tocar. Mientras que, en el estado "Entrenar" es posible usar el juego sin ninguna competitividad, es decir, aquí el aprendiente puede realizar diversos intentos como desee (un juego sin fin).

El robot móvil es capaz de llevar a cabo el conteo de aciertos (Figura 6), según dos modalidades: la barra central, de color rojo, va aumentando su longitud conforme el robot avanza en el espacio respecto del punto de partida; además, en la esquina inferior derecha de la pantalla se indica el número de aciertos acumulados. Con cada acierto, el robot móvil avanza hacia el jugador. Es agregado un video con la explicación y funcionamiento del robot bajo el siguiente link: <https://www.youtube.com/watch?v=8NygBIO3rE8>.

Para asegurar una óptima integración de la robótica en el ámbito educativo, es necesario indagar las necesidades del personal encargado de los procesos de enseñanza. De acuerdo con las necesidades del robot, el prototipo robótico debe contar con las siguientes características: una estructura mecánica; una programación fácil propicia al diseño de nuevas aplicaciones lúdicas para el aprendizaje; la posibilidad de desplazarse en aula de idiomas, mediatecas y/o centros de autoacceso con el objetivo de realizar diferentes trayectorias específicas. En cuanto a teorías del aprendizaje, el robot móvil interactivo está basado en los principios del cognoscitvismo, el constructivismo y el interaccionismo. Del cognoscitvismo se retoma la idea según la cual el aprendizaje resulta de los procesos mentales internos del individuo, pues las acciones del ser humano no están determinadas por las propiedades de los fenómenos del medio ambiente, sino por la interpretación que el sujeto hace de ellas. Del constructivismo, se adoptan los postulados según los cuales el aprendizaje es dependiente de la cantidad y la calidad de las estructuras de organización en una persona, y el ambiente de aprendizaje puede tener múltiples efectos en la constitución de la realidad [2][3]y del conocimiento. Finalmente, del interaccionismo se aprovecha la idea de no establecer relaciones de determinismo mecánico, sino de considerar al individuo como un sujeto activo: el entorno y la persona interactúan y se complementan mutuamente. Las tres teorías están centradas en un sujeto activo que construye su propio conocimiento, enfocándose en tareas que suelen tener relevancia y utilidad en el mundo real. En efecto, la literacidad mediática multimodal subraya la importancia de proveer a los aprendientes herramientas para la recepción, pero también para la interpretación y la creación de significado, vehiculado hoy según modos cada día más diversos y complejos, mientras que el desarrollo de las competencias del siglo XXI exige actividades significativas de aprendizaje basadas en el uso de tecnologías recientes para expandir la capacidad de crear, compartir, aprender y dominar el conocimiento [1].

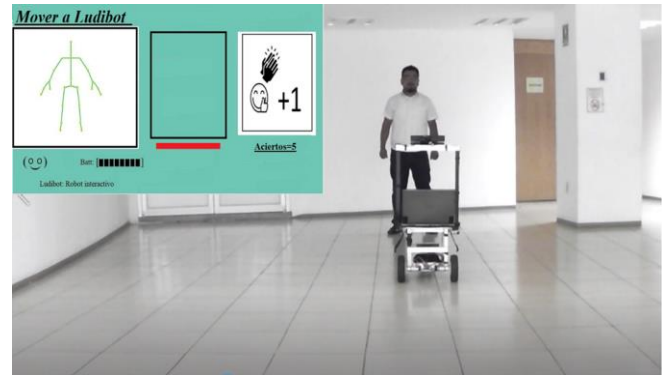


Figura 6. Interfaz contando acierto con el estado Mover al robot móvil.

VI. EXPERIENCIAS DE ENSEÑANZA CON EL ROBOT

Las experiencias de enseñanza permitieron identificar pistas para mejorar el desempeño técnico, lúdico y lingüístico del robot, mismas que son tomadas en cuenta para el pilotaje en situaciones formales e informales de aprendizaje de idiomas, en el aula de francés o en mediateca.

Las pruebas preliminares del juego *De la tête aux pieds* con el robot móvil y la interfaz interactiva fueron desarrolladas con éxito en un lugar cerrado, semejante al entorno de uso previsto, cuyos niveles de iluminación no afectaron de manera significativa el reconocimiento y la adquisición de datos del cuerpo. Por otro lado, el robot funciona de manera óptima sobre un suelo cuya superficie es regular. La trayectoria es dada mediante una línea recta, los resultados mostrados en la Figura 7, Figura 8, Figura 9 y Figura 10 fueron llevados a cabo con las ganancias $\zeta = 2.5$, $\sigma = 11.2$, $k_2 = 3$, y las velocidades lineal y angular $v_{ref} = 0.5m/s$, $\omega_{ref} = rad/s$, y los parámetros usados son $r = 0.095m$, $L = 0.42m$.

Las pruebas experimentales fueron llevadas a cabo con aprendientes de francés a nivel maestría y doctorado del CINVESTAV-México (hispanohablantes de 25 a 45 años, con un nivel básico de francés). La versión presentada en este trabajo ha sido implementada y presentada para este artículo y para la tesis de doctorado [57]. Cuyo objetivo es brindar una plataforma para el aprendizaje de las partes del cuerpo en francés. Cuyas clases consistieron en teoría y práctica bajo en cuatro actividades:

1. Familiarización y conceptualización. Conocimiento de la gramática, el léxico y uso de artículos para cada parte del cuerpo, escritura y lectura.
2. Sensibilización, pronunciación y sonido. Fonética, identificación de las partes del cuerpo y saberlas decir correctamente haciendo uso de artículos y vocales simples y compuestas.
3. Sistematización y estructuración. Uso y empleo de las partes del cuerpo en oraciones y frases en el idioma francés. Realización de actividades (oraciones, dibujos, etc.).
4. Práctica. Realización de diversas dinámicas mediante las partes del cuerpo mediante el uso de la computadora y el robot móvil interactivo.

Las prácticas fueron realizadas durante el periodo de julio a diciembre de 2019. Estas prácticas incluyeron las actividades 1, 2, 3 y 4 desde la conceptualización hasta el uso del robot móvil interactivo, donde los aprendientes hicieron uso del robot móvil interactivo y del juego *De la tête aux pieds*. Al final de las prácticas, los aprendientes fueron evaluados donde se analizó si fueron aprendidas las partes del cuerpo en francés.

Al final de los resultados experimentales fueron analizadas las siguientes competencia(s) considerando los siguientes objetivos:

-Fundamentación: es el marco referencial (teórico-conceptual), que brinda a los aprendientes lograr la comprensión de la realidad o situación del objeto de estudio para definir un proceso de intervención o hacer el diseño de un modelo.

-Planeación: con base en el diagnóstico, en esta fase se realiza el diseño, la programación y la dinámica del robot para que los aprendientes con asesoría del docente puedan usarlo; implica planificar un proceso de intervención, el diseño de un modelo, entre otros; el tipo de proyecto, las actividades a realizar, los recursos requeridos (es decir, el robot puede ser reprogramado por el docente y ajustarse a otros idiomas) y el cronograma de trabajo.

-Ejecución: consiste en las pruebas experimentales del proyecto realizado por parte de los aprendientes con asesoría del docente, es decir, es la fase de mayor duración que implica el desempeño de las competencias genéricas y específicas a desarrollar.

-Evaluación: es la fase final que aplica un juicio de valor en el contexto laboral, profesional, social y aprendizaje, ésta se debe realizar a través del reconocimiento de logros y aspectos a mejorar, se estará promoviendo el concepto de evaluación para la mejora continua, la meta cognición, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los aprendientes.

Asimismo, en la fase de evaluación los aprendientes presentaron el desarrollo de las prácticas mediante el uso del robot móvil interactivo, donde el robot es capaz de evaluar el desempeño del aprendiente mediante su dinámica (es decir, puede evaluarlos y considerar cuándo se ha ganado y/o perdido) y respondieron una serie de preguntas, que fueron importantes porque queríamos saber si los temas tratados durante la práctica eran novedosos para ellos. La mayoría de los aprendientes declararon estar familiarizados con la parte teórica y la gramática de las partes del cuerpo utilizados.

Finalmente, pedimos a los aprendientes que evaluaran su grado general de satisfacción con los aspectos teóricos y prácticos brindados durante la práctica. Donde cada uno de los aprendientes evaluó muy favorable ambos aspectos (desde cero, siendo muy malo hasta cinco, siendo muy bueno) obteniendo más del 80% de aceptación con 68 de los 83 aprendientes de francés (véase Figura 7).

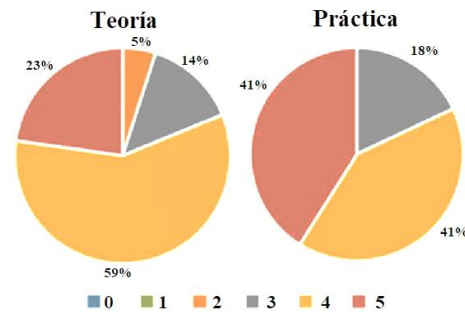


Figura 7. Gráficas de la evaluación del grado de satisfacción de los aspectos teóricos y prácticos, cero (muy malo) a cinco (muy bueno).

Este punto resulta relevante en la medida en que muchos de los beneficios asociados actualmente con el juego pedagógico están relacionados con la disposición de ánimo del participante respecto de la actividad antes que con el material de juego o las reglas que rigen la actividad.

Tomando en cuenta las necesidades de aprendizaje, se contempla incluir en la modalidad "Repasar" la posibilidad de elegir entre desplegar u ocultar el nombre escrito de la palabra enunciada, de tal manera que la grafía no interfiera en la percepción sonora. En el caso de *"le poignet"*, por ejemplo, un hispanohablante principiante podría tender a leer [lepoignet] en vez de reproducir la pronunciación correcta [ləpwajɛ]. Otro caso, es dado cuando se tiene la palabra pecho, cuyo artículo en español es agregado como "el pecho", sin embargo, en francés es usado un artículo en femenino *"la poitrine"*, lo cual puede generar un error gramatical muy común durante el aprendizaje del idioma.

Finalmente, es importante resaltar que los trabajos presentados en [8],[9],[10] son empleados como herramientas para el aprendizaje de una lengua, sin embargo, a pesar de esto, solo se basan en aplicaciones basadas en aplicaciones en computadoras. Por lo que, el uso del robot móvil interactivo permitió obtener resultados cuantificables mediante un método científico, esto se debe a que es posible aplicar el aprendizaje de las partes del cuerpo como transacción [58], es decir, durante el aprendizaje de una lengua es primordial un enfoque interactivo bajo la práctica empleando a un robot móvil que es capaz de identificar las partes del cuerpo, movimiento del usuario, emitir audios, efectuar movimientos y permitir el desarrollo de un juego innovador. Donde los aprendientes mediante el método constructivista e interaccionista pueden construir nuevas ideas, contextos, oraciones y vocabulario a través de sus experiencias pasadas y nuevos conocimientos. Además, los profesores de lenguas pueden combinar la teoría con la práctica utilizando este prototipo para ayudar a explicar conceptos teóricos y estimular el aprendizaje práctico y pueden reprogramar al robot. Los puntos mencionados son relevantes, en la medida en que muchos de los beneficios de la plataforma están asociados con cumplir con las competencias poniendo a disposición del aprendiente una plataforma novedosa con desempeño en tiempo real tomando en cuenta las necesidades de enseñanza y de aprendizaje.

VII. CONCLUSIONES

Este artículo presentó un robot móvil interactivo diseñado para el desarrollo de aplicaciones lúdicas en Kinect v2 y que se utiliza para implementar juegos interactivos con fines de aprendizaje de idiomas. El juego lúdico utiliza una interfaz que busca aprovechar la interacción entre el jugador y el robot móvil interactivo de una manera lúdica a través del reconocimiento de gestos. Este trabajo combina robótica y juegos, juegos y aprendizaje de idiomas, y algunos desarrollos recientes sobre robótica y aprendizaje de idiomas, una de las principales contribuciones del proyecto es la singularidad de su enfoque multidisciplinar, que busca un equilibrio deliberado entre robótica, estudios de juegos y lenguaje. Fue descrito el hardware utilizado para construir al robot móvil, así como el juego lúdico para el aprendizaje y la enseñanza de idiomas mediante una interfaz humano-robot.

El rendimiento de la plataforma se evalúa mediante experimentos en tiempo real utilizando un control no lineal basado en un seguimiento de trayectoria. El experimento demuestra el potencial de la plataforma para apoyar el juego lúdico y se probó con éxito y luego discutir los resultados y mencionar las perspectivas futuras. La interfaz interactiva y la aplicación lúdica han sido probadas con éxito con un grupo de estudiantes en el laboratorio de idiomas del CINVESTAV, y se han identificado nuevas pistas de desarrollo.

Finalmente, puede mencionarse, que respecto a los trabajos presentados en [5]-[10], que este trabajo presenta las siguientes ventajas: primero, presenta una interfaz multimodal que permite el uso de la comunicación verbal y no verbal con el usuario; permite el uso de un robot móvil interactivo accionado mediante estrategias de control, que a su vez permite la realización y la programación de diversas trayectorias en un salón de clases, hace uso del sensor Kinect v2, el cual permite la identificación de movimientos del usuario y el reconocimiento de las partes del cuerpo; permite el desarrollo de un juego lúdico aplicado para el aprendizaje de las partes del cuerpo; finalmente, el robot móvil interactivo es considerado flexible ya que permite la programación de otras dinámicas, movimientos, juegos y el aprendizaje de otros tópicos durante el aprendizaje de una lengua. Parte de la idea de que las herramientas lúdicas para el aprendizaje pueden ayudar a motivar el aprendizaje, siempre y cuando se tenga presente la complejidad tanto del proceso de aprendizaje como de la metáfora lúdica: no todo lo que se llama juego produce los efectos esperados de un juego.

El tipo de aprendizaje promovido por el robot interactivo es activo y cognitivo, gracias a actividades lúdicas que requieren una interacción bi y multidireccional, en lugar de una observación pasiva o una secuencia de explicación-repetición, tal como ocurre con los usos identificados del robot Nao, inspirados en un enfoque conductista [59]. En suma, el robot móvil interactivo tiene dos principios educativos generales: el aprendizaje como un proceso activo y el aprendizaje completo, auténtico y real según Piaget [60]. Por lo tanto, desde el

enfoque orientado a la acción en la enseñanza de lenguas [61], incluye tanto el desarrollo de competencias propiamente lingüísticas como el desarrollo de competencias generales y de comunicación.

Por añadidura, un enfoque constructivista apoyado por el interaccionismo invita a considerar al profesor como un guía y mentor, otorgándole al alumno la libertad necesaria para explorar el ambiente tecnológico y construir su conocimiento, brindándole apoyo en caso de que tenga dudas o se enfrente a algún problema. Desde el enfoque del interaccionismo, la interacción de los estudiantes juega un papel muy importante, por supuesto, máxime que las tecnologías recientes han generalizado el uso de sensores capaces de medir diversas variables de interés, relativas tanto al entorno como al usuario y/o al robot.

La versión actual, en francés, es fácilmente adaptable a otros idiomas. Es posible contemplar también el trabajo en torno a contenidos distintos o según reglas diferentes, recurriendo a dinámicas individuales y/o grupales. De todos modos, los profesores de lenguas están siendo entrenados y adiestrados para seleccionar y programar los parámetros del robot. Finalmente, como trabajo futuro se tiene contemplado mejorar la apariencia del robot mediante algún disfraz, personalidad para hacerlo más amigable para profesores y aprendientes.

REFERENCIAS

- [1] Ananiadou, K., Claro, M., *21st Century Skills and Competences for New Millennium Learners in OECD Countries*, OECD Education Working Papers, no. 41, 2009.
- [2] World Economic Forum, *New Vision for Education: Fostering Social and Emotional Learning through Technology*, World Economic Forum, Boston, 2016.
- [3] World Economic Forum, *New Vision for Education Unlocking the Potential of Technology*, World Economic Forum, Boston, 2015.
- [4] Lacelle, N., Boutin, J.-F., Lebrun, M., *La littératie médiatique multimodale appliquée en contexte numérique*, LMM@: outils conceptuels et didactiques, PUQ, Montreal, 2017.
- [5] O. Ohashi, E. Ochiai e Y. Kato, A remote control method for mobile robots using game engines, *28th Int. Conf. on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, Victoria, BC, Canada, pp. 79-84, 2014.
- [6] J. Galán Munévar, L. Robles Sánchez y H. Moreno Mosquero, La robótica aplicada a la lúdica, *Tecnural*, vol. 15, no. 30, pp. 52-63, 2011.
- [7] K. L. Su, S. V. Shiao, J. H. Guo y C. W. Shiao, Mobile robot based chinese chess game, *IEEE 4th Int. Conf. on Innovative Computing, Information and Control*, Kaohsiung, Taiwan, pp. 528-531, 2009.
- [8] Yanes N., Bououd, I., Using Gamification and Serious Games for English Language Learning, *International Conference on Computer and Information Sciences (ICIS)*, vol. 3, pp. 7301-7312, 2019.
- [9] Xiaolei, H., Pengfei, F., Yaohong, G., Dynamic Kinesthetic Boundary for Haptic Teleoperation of Unicycle Type Ground Mobile Robots, *Proc. 36th Chinese Control Conference*, vol. 2, pp. 6246-6251, 2017.
- [10] Kitichaiwat P., Thongsuk, M., Ngamsuriyaraj, S., Melody Touch: A Game for Learning English from Songs, *IEEE Third ICT International Student Project Conference*, pp. 13-16, 2014.
- [11] Steels, L., Hild, M., *Language Grounding in Robots*, Springer, New York, 2012.
- [12] Steels, L., Language Games for Autonomous Robots, *Intelligent Systems*, vol. 16, núm. 5, pp. 16-22, 2001.
- [13] Ishida M., Khalifa A., Kato, T., Yakamoto, S., Features of Learner Corpus Collected with Joining-in Type Robot Assisted Language Learning System, *Conference of the Oriental Chapter of International*

- Committee for Coordination and Standardization of Speech Databases and Assessment Technique*, pp. 128-131, 2016.
- [14] Rainne, V. D. B., Josje V., Ora O. P., Sanne V. D. V., Paul L., Social Robots for Language Learning: A Review, *Review of Educational Research*, vol. 80, núm. 2, pp. 259-295, 2019.
- [15] Da Silva, G. C., M. H., Signoret D., A., *Temas sobre la adquisición de una segunda lengua*, Trillas, México, 2005.
- [16] W. Burgard, A. B. Cremers, D. Fox, D. Hähnel, G. Lakemeyer, D. Schulz, W. Steiner y S. Thrun, Experiences with an interactive museum tour guide robot, *Artificial Intelligence*, vol. 1-2, no. 114, pp. 3-55, 1999.
- [17] S. Thrun, M. Bennis, W. Burgard, A. Cremers, F. Dellaert, D. Fox, D. Hähnel, D. Rosenberg, N. Roy, J. Schulte y D. Schulz, "Minerva: a second generation museum tour guide robot", *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Detroit, MI, USA, vol. 3, pp. 1999-2005, 1999.
- [18] S. T. Hansen, T. Bak y C. Risager, "An adaptive game algorithm for an autonomous, mobile robot. A real world study with elderly users", *Int. Symp. on Robot and Human Interactive Communication*, París, Francia, pp.125-130, 2012.
- [19] S. T. Hansen, D. M. Rasmussen y T. Bak, "Field study of a physical game for older adults based on an autonomous mobile robot", *Int. Conf. on Collaboration Technologies and Systems*, Denver, CO, USA, pp. 125-130, 2012.
- [20] L. V. Calderita, P. Bustos, C. Suárez Mejías, F. Fernández, R. Viciano y A. Bandera, "Asistente robótico socialmente interactivo para terapias de rehabilitación motriz con pacientes de pediatría", *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 12, no. 1, pp. 99-110, 2015.
- [21] T. Zafar, K. M. Usman Khan, A. Nawaz, K. Faraz Ahmad, "Smart phone interface for robust control of mobile robots", *IEEE Int. Conf. on Autonomous Robot Systems and Competitions*, Espinho, Portugal, pp. 42-46, 2014.
- [22] K. Koide, J. Miura, M. Yokozuka, S. Oishi and A. Banno, "Interactive 3D Graph SLAM for Map Correction," in *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 6, no. 1, pp. 40-47, 2021.
- [23] C. García Cena, R. Saltarén, J. López Blázquez y R. Aracil, "Desarrollo de una interfaz de usuario para el sistema robótico multiagente SMART", *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 7, no. 4, pp. 17-27, 2010.
- [24] S. Kružić, J. Musić e I. Stančić, "Influence of human-computer interface elements on performance of teleoperated mobile robot", *40th Int. Conv. on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics*, Opatija, Croacia, pp. 1015-1020, 2017.
- [25] H. Xiaolei, F. Pengfei y G. Yaohong, "Dynamic kinesthetic boundary for haptic teleoperation of unicycle type ground mobile robots", *36th Chinese Control Conf.*, Dalian, China, pp. 6246-6251, 2017.
- [26] J. Wu, C. Lv, L. Zhao, R. Li y G. Wang, "Design and implementation of an omnidirectional mobile robot platform with unified I/O interfaces", *IEEE Int. Conf. on Mechatronics and Automation*, Takamatsu, Japón, pp. 410-415, 2017.
- [27] S. Waldherr, R. Romero y S. Thrun, "A gesture based interface for human-robot interaction", *Autonomous Robots*, vol. 9, no. 2, 2000, pp.151-173, 2000.
- [28] V. Villani, L. Sabattini, G. Riggio, A. Levratti, C. Secchi y C. Fantuzzi, "Interacting with a mobile robot with a natural infrastructure-less interface", *20th IFAC World Congress*, vol. 50, no. 1, pp. 12753-12758, 2017.
- [29] C. Escolano y J. Minguez, "Sistema de teleoperación multi-robot basado en interfaz cerebro-computador", *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 8, no. 2, pp. 16-23, 2011.
- [30] J. L. Sirvent, Y. M. Azorín, E. Iáñez, A. Úbeda y E. Fernández, "Interfaz cerebral no invasiva basada en potenciales evocados para el control de un brazo robot", *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 8, no. 2, pp. 103-111, 2011.
- [31] N. Alharbi, Y. Liang y D. Wu, "A data preprocessing technique for gesture recognition based on extended-Kalman-filter", *IEEE/ACM Int. Conf. on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies*, Filadelfia, PA, USA, pp. 77-83, 2017.
- [32] M. U. Islam, H. Mahmud, A. Bin Ashraf, I. Hossain y M. K. Hasan, "Yoga posture recognition by detecting human joint points in real time using Microsoft Kinect", *IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference*, pp. 668-673, 2017.
- [33] A. Masurelle, S. Essid y G. Richard, "Multimodal classification of dance movements using body joint trajectories and step sounds", *Int. Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services*, París, Francia, pp.1-4, 2013..
- [34] P. Payeur, G. M. Gomes Nascimento, J. Beacon, G. Comeau, A.-M. Cretu, V. D'Aoust y M.-A. Charpentier, "Human gesture quantification. An evaluation tool for somatic training and piano performance", *IEEE Int. Symp. on Haptic, Audio and Visual Environments and Games*, Richardson, TX, USA, pp.100-105, 2014.
- [35] I. Ayed, B Moyà-Alcover, P. Martínez-Bueso, J. Varona, A. Ghazel y A. Jaume-i-Capó, "Validación de dispositivos RGBD para medir terapéuticamente el equilibrio: el test de alcance funcional con Microsoft Kinect, *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 14, no. 1, 2017, pp. 115-120, 2017.
- [36] R. Muñoz, T. Barcelos, R. Villaruel, R. Guñez y E. Merino, "Body posture visualizer to support multimodal learning analytics", *IEEE Latin America Transactions*, vol. 16, no. 11, pp. 2706-2715, 2018.
- [37] A. Araújo, D. Portugal, M. S. Couceiro, J. Sales y R. P. Rocha, "Desarrollo de un robot móvil compacto integrado en el middleware ROS", *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 11, no. 3, pp. 315-326, 2014..
- [38] G. Baron, P. Czekalski, M. Golenia y K. Tokarz, "Gesture and voice driven tribot mobile robot using Kinect sensor", *Int. Symp. on Electrodynamic and Mechatronic Systems*, Opole-Zawiercie, Polonia, pp. 33-34, 2013.
- [39] G. Ciciirelli, C. Attolico, C. Guaragnella y T. D'Orazio, "A Kinect-based gesture recognition approach for natural human robot interface", *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 12, no. 3, 2015, pp. 1-11, 2015.
- [40] D. Maraj, A. Maraj y A. Hajzeraj, "Application interface for gesture recognition with Kinect sensor", *IEEE Int. Conf. on Knowledge Engineering and Applications*, Singapur, Singapur, pp. 98-102, 2016.
- [41] W. F. Cueva, S. H. M. Torres y M. J. Kern, "7 DOF Industrial Robot Controlled by Hand Gestures using Kinect v2", *IEEE 3rd Colombian Conference on Automatic Control*, Cartagena, Colombia, pp. 1-6, 2017.
- [42] I. Ben Abdallah, Y. Bouteraa, R. Boucetta y C. Reikik, "Kinect-based computed torque control for lynxmotion robotic arm", *Int. Conf. on Modeling Identification and Control*, Sousse, Túnez, pp. 1-6, 2015.
- [43] R. Fernández y C. von Lüken, "Using the Kinect sensor with open source tools for the development of educational games for kids in pre-school age", *Latin American Computing Conference*, Arequipa, Perú, pp. 1-12, 2015.
- [44] L. Qingtang, W. Yang, W. Linjing, H. Jingxiu y W. Peng, "Design and implementation of a serious game based on Kinect", *Int. Conf. of Educational Innovation through Technology*, Wuhan, China, pp. 13-18, 2015.
- [45] A. Grammatikopoulou, S. Laraba, O. Sahbenderoglu, K. Dimitropoulos y N. Grammalidis, "An adaptive framework for the creation of body motion-based games", *9th Int. Conf. on Virtual Worlds and Games for Serious Applications*, Atenas, Grecia, pp. 209-216, 2017.
- [46] I. Iturrate, G. Martín, J. García-Zubia, I. Angulo, O. Dziabenko, P. Orduña, G. Alves y A. Fidalgo, "A mobile robot platform for open learning based on serious games and remote laboratories", *1st Int. Conf. of the Portuguese Society for Engineering Education*, Porto, Portugal, pp. 1-7, 2013.
- [47] The Math Works, *Matlab-Simulink / versión 8.0 (R2012b)*, Natick, MA, USA, 2012. www.mathworks.com
- [48] Quanser Consulting, *QuarC / versión 2.3.603*, Markham, Ontario, CA, 2011. www.quanser.com
- [49] Microsoft Corporation, *Visual Studio / versión 12*. Redmond, WA, USA, 2013. www.microsoft.com
- [50] Microsoft Corporation, *Kinect for Windows Software Development Kit (SDK) 2.0*, Redmond, WA, USA, 2013. www.microsoft.com.
- [51] C. Giorio y M. Fascinari, *Kinect in Motion. Audio and visual tracking by example*, Birmingham, Packt Publishing, 2013.
- [52] Basic Micro Motion Control, *RoboClaw 2x30A Motor Controller*, Temecula, CA, USA, 2014-2015. www.basicmicro.com.
- [53] Robotzone. "313 RPM HD Premium Planetary Gear Motor", *Servocity*. <https://www.servocity.com/313-rpm-hd-premium-planetary-gear-motor>

- [54] US Digital, "E2 Optical Kit Encoder", US Digital, Vancouver (WA) https://cdn.usdigital.com/assets/datasheets/E2_datasheet.pdf
- [55] Zippy, "Batería zippy", US Hobbyking, https://hobbyking.com/en_us/zippy-compact-4500mah-4s-35c-lipo-pack.pdf
- [56] C. Canudas de Wit, H. Khennouf, C. Samson y O. J. Sordalen, "Nonlinear Control Design for Mobile Robots", en Y. F. Zheng, Recent Trends in Mobile Robots / World Scientific Series in Robotics and Intelligent Systems, no. 11, pp. 121-156, 1994.
- [57] Ojeda Misses, M. A., Tesis doctoral, "Ludibot: un robot ludoeducativo diseñado desde de robótica móvil, las ciencias del juego y la didáctica de lenguas y culturas", CINVESTAV, México, 2020. <https://sites.google.com/site/betosoria/tesis-de-maestria>, <https://drive.google.com/file/d/1bfQ7Vn3Tkvr12Sq5U0OZR9XGZrp10xnN/view>, <https://youtu.be/8NygBlo3rE8>
- [58] J. P. Miller, The Holistic Curriculum, Second Edition, OISE Press, 2007.
- [59] Instituto Cervantes, *Marco común europeo de referencia para las lenguas*, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Madrid, 2002.
- [60] Piaget, J., *Psicología y epistemología*, Ariel, México, 1979.
- [61] Ishida M., Khalifa A., Kato, T., Yakamoto, S., Features of Learner Corpus Collected with Joining-in Type Robot Assisted Language Learning System, *Conference of the Oriental Chapter of International Committee for Coordination and Standardization of Speech Databases and Assessment Technique*, pp. 128-131, 2016.

Manuel Alejandro Ojeda Misses es Doctor en Ciencias por el Departamento de Control Automático del Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (México). Obtuvo el título en Ingeniería Mecatrónica por del Instituto Politécnico Nacional en 2013. Acreditó la maestría en Control Automático en 2015 (CINVESTAV). Sus intereses de investigación incluyen robots, sistemas mecatrónicos, control automático y electrónica aplicada.