

# ASISTENCIA A LA RESOLUCIÓN DE PUZLES MEDIANTE VISIÓN POR COMPUTADOR PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD INTELECTUAL

Alberto J. Del Águila, Antonio J. Reina, e Isabel García Morales  
*Universidad de Málaga, Andalucía Tech, Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática*  
ajreina@uma.es

## Resumen

*En este artículo se presenta una metodología de trabajo en una de las áreas más importantes para el desarrollo de niños con discapacidad intelectual: el aprendizaje. Para ello, en este trabajo se emplea un rompecabezas sencillo compuesto por piezas que conforman una imagen en color, el cual se resuelve previamente mediante un sistema de visión por computador para que, posteriormente, el niño en cuestión sea capaz de resolverlo a través de una interfaz diseñada junto al programa. Esta interfaz le irá guiando en el transcurso del montaje y le recompensará por cada logro obtenido, consiguiendo así motivar al niño y mejorar su desarrollo intelectual. Se ha optado por emplear una enseñanza que combina lo didáctico con lo divertido, haciendo uso de herramientas de procesamiento de imágenes.*

**Palabras clave:** puzle, rompecabezas, visión por computador, niños con discapacidad intelectual, aprendizaje.

## 1. INTRODUCCIÓN

La discapacidad intelectual es un trastorno que comienza durante el período de desarrollo del niño. Se caracteriza por limitaciones significativas en el funcionamiento intelectual y en la conducta adaptativa, lo que se manifiesta en las habilidades conceptuales, sociales y prácticas.

Una de las dificultades más importantes que presentan estos niños es en el área conceptual o académica: a estos niños les cuesta realizar tareas que requieran memoria, atención, escritura, lenguaje, razonamiento matemático, capacidad de resolución de problemas, etc [16, 7].

Para hacer frente a estas dificultades, se plantean técnicas que faciliten estrategias adaptativas para conseguir la participación de la persona con trastorno de desarrollo intelectual en los contextos habituales. Entre ellas se incluye la aplicación de los principios de aprendizaje en entornos digitales: el uso de dispositivos electrónicos como una tableta brinda una serie de ventajas para el aprendizaje

de estos niños, ya que es capaz de aportar prestaciones que un profesor no podría ofrecer con la misma facilidad, como sería una respuesta inmediata, introducir imágenes, recompensar los logros con música, colores, movimientos, puntuaciones, etc [14].

Algunos de los aspectos cognitivos que se pueden reforzar mediante programas informatizados son los que se enfocan en la memoria de trabajo, planificación, resolución de problemas, memoria visual, razonamiento perceptivo, y comprensión de imágenes donde mediante pistas se van indicando los pasos que hay que seguir para conseguir un objetivo. Los rompecabezas son los más apropiados para representar este ámbito ya que concuerdan en muchos aspectos con las funciones intelectuales que se quieren mejorar.

En este artículo se presenta por un lado, una aplicación de visión por computador que es capaz de resolver un puzle genérico de dimensión reducida usando una imagen de las piezas desordenadas aleatoriamente que se toma mediante una cámara. Por otro lado esta aplicación se usa como base en el desarrollo de una herramienta para niños con discapacidad intelectual. El objeto de la aplicación es servir de guía en la resolución de dicho puzle con un propósito didáctico y de entretenimiento, lo cual mejora el resultado del aprendizaje [15].

La visión por computador se ha empleado para resolver puzles usando distintas metodologías: haciendo uso de la información de la geometría de las piezas [8, 2], utilizando el color como dato adicional [10, 4], o empleando solo el color de las piezas [3, 9]. También se han desarrollado algunas aplicaciones para dispositivos móviles capaces de resolver puzles en tiempo real [12, 5]. Además, la visión por computador tiene un gran peso en otras aplicaciones para la asistencia a otros tipos de discapacidades como por ejemplo la tetraplejia [13].

## 2. ESPECIFICACIONES

La aplicación de visión por computador presentada en este artículo, asume las siguientes condiciones para poder llevar a cabo con éxito la resolución del puzle:

1. El programa podrá resolver puzles de 20 piezas que cumpla la configuración presentada en la Figura 1.
2. La base de cada pieza es ligeramente mayor que su altura de modo que son piezas cuasi-cuadradas.
3. Las 20 piezas del puzle deben estar dentro de la imagen que se va a tomar, colocadas sobre un fondo negro.
4. Las caras de todas las piezas deben de estar orientadas hacia arriba, y no superponerse una sobre otra.
5. La cámara debe de estar posicionada encima de las piezas con una distorsión de ángulo mínimo.
6. La iluminación del entorno donde se va a capturar la imagen debe de ser uniforme.

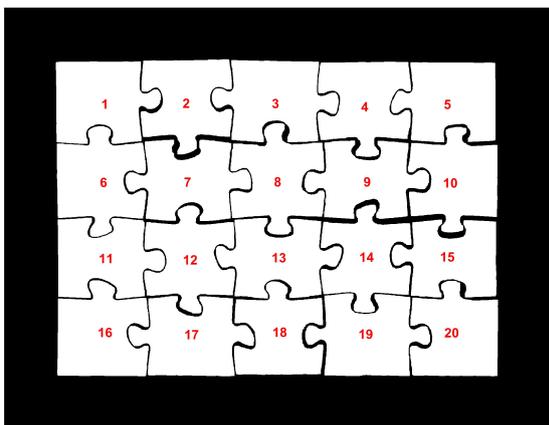


Figura 1: Formato del puzle compatible con este trabajo.

### 3. DESARROLLO DEL ALGORITMO

En esta sección se explican las pautas que se han utilizado para que el programa sea capaz de resolver el puzle.

#### 3.1. ADQUISICIÓN DE IMAGEN Y SEGMENTACIÓN

Siguiendo las condiciones indicadas en la Sección 2, se captura una imagen de todas las piezas con una cámara de 5 megapíxeles de resolución (véase la Figura 2).

La imagen tomada se convierte a escala de grises y, posteriormente, se emplea la técnica de crecimiento de regiones sobre un pixel de fondo para segmentarla, escogiendo un valor de umbral de forma experimental.



Figura 2: Imagen capturada de las piezas desordenadas de un puzle infantil.

#### 3.2. ETIQUETADO DE REGIONES

Una vez obtenida la imagen segmentada, se etiqueta cada pieza mediante el algoritmo de 8-conectividad. De esta forma, se puede conocer el número total de piezas detectadas, comprobando que están todas (véase la Figura 3).

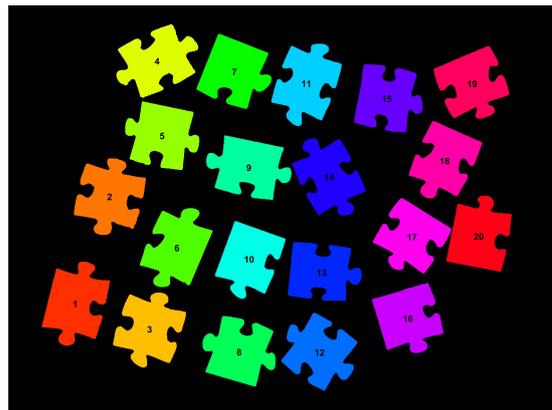


Figura 3: Número de piezas obtenidas a partir del etiquetado de regiones.

Esto permitirá, posteriormente, extraer la información relevante de cada pieza (vértices, tipo), de modo que su montaje sea más simple.

#### 3.3. DETECCIÓN DE VÉRTICES

Para localizar los cuatro vértices de cada una de las piezas del puzle, estas se separan conteniéndola en un marco envolvente, y luego se emplea el giro necesario mediante la transformada de Hough [6], de manera que la pieza quede alineada con los ejes de referencia.

Una vez que todas las piezas están normalizadas, se describe su contorno mediante la signatura, que es una función que representa la distancia del centro de la pieza a los puntos de su contorno en función del ángulo. Como las piezas son cuasi-

cuadradas, se pueden localizar los vértices con una diferencia de fase de  $\frac{\pi}{2}$  radianes. Por esta razón, se ha buscado el máximo dentro de pequeños intervalos centrados en los ángulos  $\frac{\pi}{4}$ ,  $\frac{3\pi}{4}$ ,  $\frac{5\pi}{4}$  y  $\frac{7\pi}{4}$  radianes (véase la Figura 4) [11].

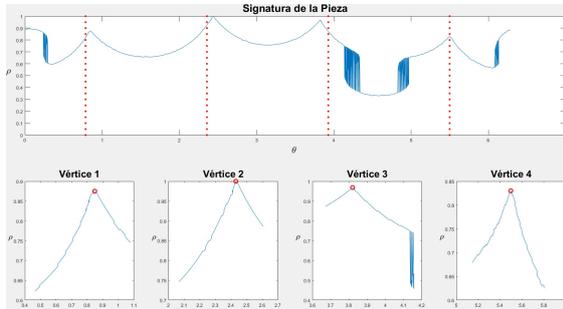


Figura 4: Obtención de los vértices a partir de la signatura de la pieza.

Los vértices obtenidos se transforman en coordenadas cartesianas (véase la Figura 5), lo cual es necesario para la mayoría de operaciones que se realizarán en adelante.

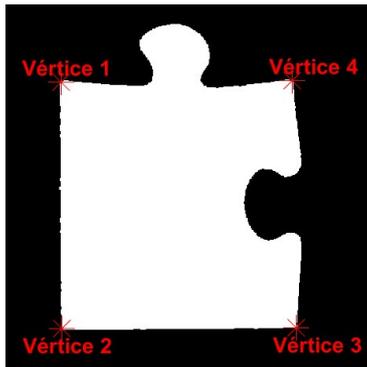


Figura 5: Los cuatro vértices de la pieza en coordenadas cartesianas.

### 3.4. CLASIFICACIÓN DE PIEZAS

El siguiente paso consiste en identificar el tipo de pieza, es decir, si se trata de una esquina, lateral o pieza interior. Para ello, a cada pieza se le ha aplicado una segunda rotación, de modo que la base sea mayor que su altura.

Tras este ajuste, se ha identificado la geometría de cada lado de la pieza analizando nuevamente su signatura, pero esta vez en torno a  $0$ ,  $\frac{\pi}{2}$ ,  $\pi$  y  $\frac{3\pi}{2}$  radianes. En cada intervalo alrededor de estos ángulos se obtienen los valores máximo y mínimo, y al convertirlos a coordenadas cartesianas se calcula la cantidad de píxeles que los separan de los vértices del lado de la pieza que se quiere estudiar. Dicho lado está definido por los dos vértices que lo contienen, como si se tratara de un segmento, y si la diferencia entre este y el mínimo supera un determinado umbral, la forma es hueca. En el caso

de que la diferencia con el máximo sea la que supere ese umbral establecido, entonces se trata de una cabeza. Si no se cumple con ninguno de estos criterios, se trata de un lado plano.

Según la forma identificada, se asigna un valor numérico a cada lado de la pieza [1]: cabeza(+1), hueco(-1), plano(0) (véase la Figura 6). Estos datos se almacenan en un array que está compuesto por cuatro elementos. Cada posición del array representa la forma de un lado, empezando desde el superior y en sentido antihorario.

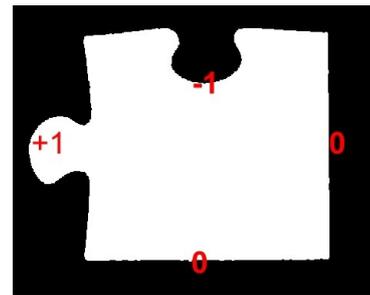


Figura 6: Ejemplo de la pieza con sus lados etiquetados siendo [-1,1,0,0] su representación en forma de array.

La Tabla 1 muestra la clasificación de las piezas en función de la forma de cada uno de sus cuatro lados.

Cuadro 1: Clasificación de las piezas según el array de formas.

Tipo de Pieza	Array Forma
Esquina	[-1,1,0,0] ó [0,0,-1,1]
	[0,1,-1,0] ó [-1,0,0,1]
	[1,0,0,-1] ó [0,-1,1,0]
	[1,-1,0,0] ó [0,0,1,-1]
Lateral	[0,1,-1,1] ó [-1,1,0,1]
	[0,-1,1,-1] ó [1,-1,0,-1]
	[-1,0,-1,1] ó [-1,1,-1,0]
	[1,-1,1,0] ó [1,0,1,-1]
Interior	[1,-1,1,-1]
	[-1,1,-1,1]

Como se observa en la tabla anterior, para simplificar la etapa de emparejamiento, las piezas de tipo esquina y lateral se han subclasificado además según la ubicación del lado plano. Para las piezas interiores, se diferencian aquellas que disponen forma de cabeza o forma hueca en su lado superior.

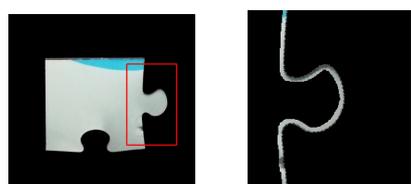
Tras este proceso, se conocerá la colocación correcta de las cuatro esquinas sobre el puzle final.

### 3.5. PROCESO DE EMPAREJAMIENTO

El proceso seguido para el montaje del puzle es similar al que se aplica habitualmente en el mundo físico: empezando por localizar las esquinas, luego encajar las piezas exteriores y por último se re-llena el interior con las piezas internas [2]. Por tanto, se distinguen dos áreas distintas en el emparejamiento: la parte exterior y la parte interior.

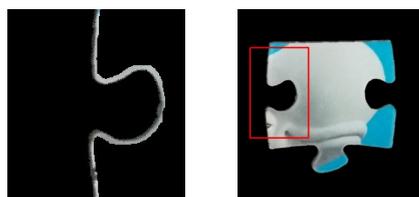
#### 3.5.1. Emparejamiento de las Piezas Exteriores

En esta etapa se asigna la localización que le corresponde a cada pieza que compone el marco exterior del puzle completo. Se han utilizado las esquinas como piezas de partida. Posteriormente, se ha estudiado la similitud de colores mediante el matiz del espacio HSV (componente H) con las piezas candidatas a su encaje, que son aquellas del tipo lateral y que contienen la forma complementaria. Para ser más preciso en su comparación, se ha optado por estudiar los colores que se encuentran en una región de interés de cada una de estas piezas, siendo esta región de interés el lado donde se produce el encaje (véase las Figuras 7 y 8).



(a) Región de interés. (b) Banda del lado derecho.

Figura 7: Región de interés de una esquina.



(a) Banda del lado izquierdo. (b) Región de interés.

Figura 8: Región de interés de una pieza candidata.

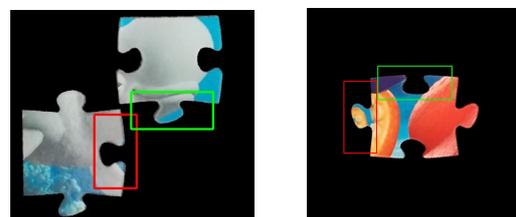
Para evaluar la similitud de colores que hay en las zonas de interés de las piezas que se van a comparar, se debe determinar la distancia entre ambos colores en el espectro de H, para lo cual se calcula la suma de mínimos cuadrados a partir de sus histogramas ya normalizados. Es decir, cuanto menor sea el valor de la distancia, más parecidos son los colores.

Ya que este proceso se realiza para todas las esquinas, se establece un sistema de puntuación [1] para determinar donde se coloca cada pieza candidata.

#### 3.5.2. Emparejamiento de las Piezas Interiores

Una vez definido el marco exterior del puzle completo, solo falta por determinar donde se van a colocar las seis piezas restantes que pertenecen a la categoría de interiores. El criterio empleado es similar al que se realiza en la etapa de emparejamiento exterior mediante similitud de colores en las regiones de interés. En este caso, se estudia la región de interés de las piezas vecinas de cada esquina que componen el marco, y el de las piezas candidatas a su encaje, que son aquellas tipo interior y que contienen la forma complementaria (véase la Figura 9). A las cuatro piezas con mejor puntuación se les asigna su localización correspondiente, de manera que las dos piezas restantes solo tienen ya una ubicación posible, tal y como se muestra en la plantilla de referencia mostrada en la Figura 1.

Tras este proceso, queda resuelta la colocación de todas las piezas restantes del puzle.



(a) Región de interés de cada pieza vecina a una de las esquinas. (b) Regiones de interés de la pieza candidata.

Figura 9: Regiones de interés en la etapa de emparejamiento de piezas interiores.

### 3.6. CONSTRUCCIÓN DEL PUZLE

Para la composición de una imagen del puzle resuelto, se ha generado un fondo negro donde se van a ir colocando las piezas de una en una, comenzando por la primera casilla como pieza de partida (Figura 1), y se va avanzando de izquierda a derecha y de arriba a abajo. Todo esto se realiza de forma iterativa hasta completar el puzle [11].

Como resultado se obtiene de la imagen del puzle resuelto (véase la Figura 10) que se mostrará como imagen de referencia en la interfaz. Adicionalmente, se genera en la interfaz una plantilla que será la imagen donde el usuario irá colocando las piezas.

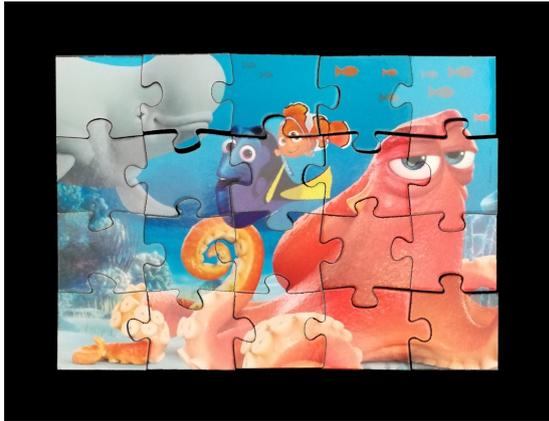


Figura 10: Puzzle resuelto.

#### 4. DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ

Se ha diseñado mediante la GUIDE de Matlab una interfaz intuitiva y fácil de usar para que los niños con discapacidad intelectual puedan interactuar con ella y resolver el puzzle mediante la asistencia de la aplicación.

La interfaz presenta un carácter infantil, agradable, simple y entretenido tanto en los aspectos visuales como auditivos. Siguiendo algunas pautas de [17], el revestimiento de la interfaz es la que se muestra en la Figura 11.

Se ha empleado un fondo uniforme con textura de madera para transmitir una sensación de *área de juego*, y las ventanas de color negro simula un *tapete* o bandeja, sobre la que se colocan las piezas del puzzle. Por otro lado, se ha dispuesto un reducido número de botones de tamaño grande y de diferente color para facilitar su uso.

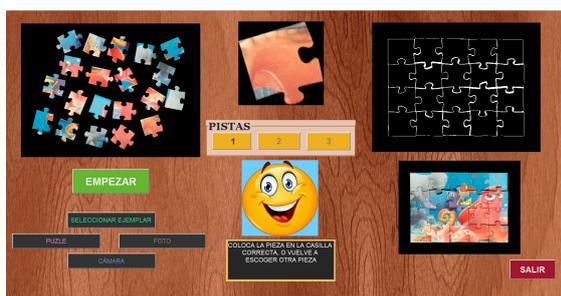


Figura 11: Presentación de la interfaz desarrollada.

En primer lugar, se debe seleccionar una imagen del puzzle a resolver, lo cual se puede realizar directamente a través de su captura mediante una webcam conectada al equipo, o bien escoger una imagen previamente almacenada en un dispositivo de almacenamiento. A partir de esta imagen, la aplicación resuelve el puzzle y genera una plantilla

que le servirá de ayuda al usuario en la resolución manual del mismo (ver Figura 11).

La secuencia de juego para que el niño resuelva el puzzle es similar a la que se aplicaría en la realidad, es decir, se escoge una pieza del montón y se va encajando con otras hasta completar el puzzle. Al empezar el juego, el niño podrá seleccionar una pieza de la bandeja, y tendrá que colocarla en la casilla correcta dentro de la plantilla.

En la interfaz, el niño dispone de la asistencia de un personaje que le sirve de motivación, y que le irá explicando paso a paso las acciones que tiene que ir realizando durante todo el proceso. La expresión y sonido del personaje también irá variando acorde a la operación que se efectúe, por ejemplo si el niño coloca una pieza en la casilla correcta, la imagen del personaje cambia a ser alegre emitiendo un sonido de que ha acertado. También se dispone de la posibilidad de emplear algunas pistas, para facilitar la solución al niño por si tuviera dificultad en dar con la casilla correcta. Tras completar el puzzle, se recompensa al niño con una gran felicitación haciendo uso de varias expresiones especiales del personaje combinándolo con una música de celebración para motivar al niño de que su esfuerzo en el montaje del puzzle ha dado fruto.

#### 5. RESULTADOS

Para validar el algoritmo propuesto, se han empleado un total de cuatro puzzles, con un total de 20 imágenes diferentes por cada uno de ellos. En cada imagen, las piezas aparecen en una disposición aleatoria. En el 97.5 % de los casos, el montaje del puzzle se ha realizado correctamente. Para disminuir el tiempo de espera durante el procesamiento, se probó a reducir la resolución de las imágenes. Sin embargo, el resultado en este caso se redujo a un 86.25 % de éxito, y además no ofrecía una visualización adecuada para aplicarse en el juego.

En la Figura 12 se muestra un instante del desarrollo del juego.

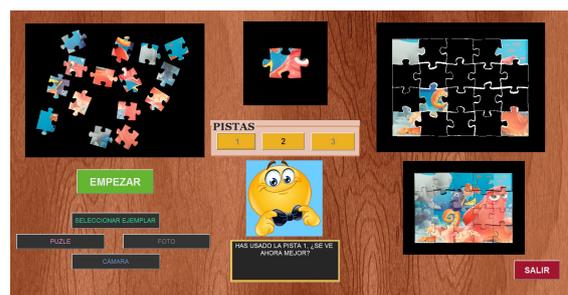


Figura 12: Montaje del puzzle mediante el uso de la interfaz desarrollada.

## 6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE DESARROLLO FUTURAS

En este trabajo se ha presentado un algoritmo para la resolución de puzles simples. Es capaz de montar cualquier puzle que contenga una imagen diferente, siempre y cuando cumpla con un conjunto de especificaciones. Para obtener el resultado deseado, se requiere una iluminación adecuada, y una buena resolución de la imagen a procesar.

Por otro lado, se ha diseñado una interfaz interactiva con una temática infantil, para asistir y entretener a niños con discapacidad intelectual durante el montaje del puzle, lo que resulta clave para motivar y favorecer el aprendizaje de estos niños.

Como líneas de desarrollo futuras, se pueden incluir mejoras en el algoritmo desarrollado en este trabajo, como una mayor flexibilidad en el número y forma de las piezas que componen el puzle a resolver.

Otra posible continuación de este trabajo consiste en realizar una versión de la aplicación desarrollada compatible con dispositivos Android o IOS para poder ser utilizada en una tableta, los cuales podrían hacer uso de su propia cámara para la captura de las imágenes.

### English summary

#### ASSISTANCE IN JIGSAW PUZZLE SOLVING USING COMPUTER VISION FOR CHILDREN WITH INTELLECTUAL DISABILITIES

#### Abstract

*This paper focuses on providing a method to exercise one of the most important fields where children with intellectual disabilities suffer most, which is the process of learning. Since standard lessons are not effective for children with this type of disorder, adding entertaining features would improve their results as it would be considered a game. Thus, a simple jigsaw puzzle has been used in this work, which will be solved previously through the assistance of computer vision, in order to be assembled by the child later on with the use of a designed interface along the program. This interface will guide him during the assembly and will reward him for each achievement ma-*

*de. Therefore, the child will be sufficiently motivated to improve their intellectual development.*

**Keywords:** jigsaw puzzle, puzzle solver, computer vision, children with intellectual disability, learning.

### Referencias

- [1] Allen, T. V. Using computer vision to solve jigsaw puzzles. *CS231A: Computer Vision, From 3D Reconstruction to Recognition* (2016).
- [2] Burdea, B. G., and Wolfson, H. J. Solving jigsaw puzzles by a robot. *IEEE Transactions on Robotics and Automation* 5, 6 (Dec 1989), 752–764.
- [3] Cho, T. S., Avidan, S., and Freeman, W. T. A probabilistic image jigsaw puzzle solver. In *2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (June 2010), pp. 183–190.
- [4] Chung, M. G., Fleck, M. M., and Forsyth, D. A. Jigsaw puzzle solver using shape and color. In *Signal Processing Proceedings, 1998. ICSP '98. 1998 Fourth International Conference on* (1998), vol. 2, pp. 877–880 vol.2.
- [5] Cousland, A., Ho, C., and Nakamura, J. Automatic silhouette-based puzzle assembly how we out-puzzled puzzling.
- [6] Duda, R. O., and Hart, P. E. Use of the hough transformation to detect lines and curves in pictures. *Commun. ACM* 15, 1 (Jan. 1972), 11–15.
- [7] Editorial médica panamericana. *Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales (DSM-5)*, 5<sup>a</sup> ed. Asociación Americana de Psiquiatría, España y Latinoamérica, 2014.
- [8] Freeman, H., and Garder, L. Apictorial jigsaw puzzles: The computer solution of a problem in pattern recognition. *IEEE Transactions on Electronic Computers EC-13*, 2 (April 1964), 118–127.
- [9] Gallagher, A. C. Jigsaw puzzles with pieces of unknown orientation. In *2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (June 2012), pp. 382–389.

- [10] Kosiba, D. A., Devaux, P. M., Balasubramanian, S., Gandhi, T. L., and Kasturi, K. An automatic jigsaw puzzle solver. In *Proceedings of 12th International Conference on Pattern Recognition* (Oct 1994), vol. 1, pp. 616–618 vol.1.
- [11] Kumbla, N. Automatic jigsaw puzzle solver, June 2015.
- [12] Liang, L., and Liu, Z. A jigsaw puzzle solving guide on mobile devices.
- [13] Manresa-Yee, C., Varona, J., Perales, F., and Salinas-Bueno, I. Design recommendations for camera-based head-controlled interfaces that replace the mouse for motion-impaired users. 1.
- [14] Rodríguez Santos, Francisco. Discapacidad Intelectual (Cambio en el DSM-V). <https://youtu.be/nvuY3s1tdaE?list=LLV9oH66xt0zwpei56VIDYaA>, Oct. 2015. Accedido el 08-01-2018.
- [15] Saridaki, M., Gouscos, D., and Meimaris, M. Digital games-based learning for students with intellectual disability. 304–325.
- [16] Shallock et al., R. L. *Intellectual Disability: Definition, Classification, and Systems of Supports (11th Edition)*, 11th ed. AAIDD, Washington, DC, Estados Unidos, 2010.
- [17] T Perera, N., Wijerathne, I., Wijesooriya, M., Dharmaratne, A., and Weerasinghe, R. A game based learning approach to enrich special education in sri lanka.



© 2018 by the authors.  
 Submitted for possible  
 open access publication  
 under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC-BY-NC 3.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>).