

© International Baccalaureate Organization 2024

All rights reserved. No part of this product may be reproduced in any form or by any electronic or mechanical means, including information storage and retrieval systems, without the prior written permission from the IB. Additionally, the license tied with this product prohibits use of any selected files or extracts from this product. Use by third parties, including but not limited to publishers, private teachers, tutoring or study services, preparatory schools, vendors operating curriculum mapping services or teacher resource digital platforms and app developers, whether fee-covered or not, is prohibited and is a criminal offense.

More information on how to request written permission in the form of a license can be obtained from <https://ibo.org/become-an-ib-school/ib-publishing/licensing/applying-for-a-license/>.

© Organisation du Baccalauréat International 2024

Tous droits réservés. Aucune partie de ce produit ne peut être reproduite sous quelque forme ni par quelque moyen que ce soit, électronique ou mécanique, y compris des systèmes de stockage et de récupération d'informations, sans l'autorisation écrite préalable de l'IB. De plus, la licence associée à ce produit interdit toute utilisation de tout fichier ou extrait sélectionné dans ce produit. L'utilisation par des tiers, y compris, sans toutefois s'y limiter, des éditeurs, des professeurs particuliers, des services de tutorat ou d'aide aux études, des établissements de préparation à l'enseignement supérieur, des fournisseurs de services de planification des programmes d'études, des gestionnaires de plateformes pédagogiques en ligne, et des développeurs d'applications, moyennant paiement ou non, est interdite et constitue une infraction pénale.

Pour plus d'informations sur la procédure à suivre pour obtenir une autorisation écrite sous la forme d'une licence, rendez-vous à l'adresse <https://ibo.org/become-an-ib-school/ib-publishing/licensing/applying-for-a-license/>.

© Organización del Bachillerato Internacional, 2024

Todos los derechos reservados. No se podrá reproducir ninguna parte de este producto de ninguna forma ni por ningún medio electrónico o mecánico, incluidos los sistemas de almacenamiento y recuperación de información, sin la previa autorización por escrito del IB. Además, la licencia vinculada a este producto prohíbe el uso de todo archivo o fragmento seleccionado de este producto. El uso por parte de terceros —lo que incluye, a título enunciativo, editoriales, profesores particulares, servicios de apoyo académico o ayuda para el estudio, colegios preparatorios, desarrolladores de aplicaciones y entidades que presten servicios de planificación curricular u ofrezcan recursos para docentes mediante plataformas digitales—, ya sea incluido en tasas o no, está prohibido y constituye un delito.

En este enlace encontrará más información sobre cómo solicitar una autorización por escrito en forma de licencia: <https://ibo.org/become-an-ib-school/ib-publishing/licensing/applying-for-a-license/>.

Informática

Estudio de caso: Robots de rescate

Para usar en mayo y noviembre de 2024

Instrucciones para los alumnos

- Para la prueba 3 de Nivel Superior se requiere el cuadernillo del estudio de caso.

Escenario

BotPro es una empresa que fabrica robots para diversas aplicaciones industriales. Sin embargo, en la última década la empresa se ha centrado en fabricar robots de rescate. Un robot de rescate está diseñado para ayudar en la búsqueda y rescate de personas tras una catástrofe, como un terremoto o un tsunami. Estos robots pueden ayudar a los equipos de rescate al buscar y crear mapas de zonas, evaluar daños, retirar escombros, entregar suministros y evacuar víctimas.

El año pasado, *BotPro* tuvo que enviar uno de sus robots de rescate a una gran fábrica tras un incendio. En una segunda ocasión, el robot de rescate fue enviado a una planta industrial dañada por un terremoto. En ambas ocasiones, *BotPro* constató que el robot de rescate rindió por debajo de lo esperado. El robot tuvo problemas para desplazarse por las fábricas y llegar a la ubicación exacta de los supervivientes.

El director general de *BotPro* empezó a investigar las razones de este bajo rendimiento. Sabía que el mismo robot se había desplegado para ayudar en el rescate de personas de un estadio cuando este sufrió daños estructurales y que la operación había sido un éxito. ¿Qué era diferente ahora?

Tras una investigación, se descubrió que la principal diferencia radicaba en la precisión y la robustez de la *señal del sistema de posicionamiento global (GPS)*, por sus siglas en inglés) dentro de las fábricas. La intensidad de la señal de satélite recibida era insuficiente, lo que provocaba errores en el cálculo de la ubicación exacta del robot de rescate. Las plantas industriales afectadas también eran un entorno desconocido para el robot de rescate, y los daños causados hicieron que su disposición interna difiriera de los planos existentes.

Problemas por resolver

El director general de *BotPro* encargó rediseñar un robot de rescate con capacidad para explorar, crear mapas y examinar el interior de edificios desconocidos y dañados. Para el director general, era importante que este nuevo robot de rescate fuera rentable y que el nuevo diseño se centrara en crear algoritmos eficientes con el fin de mejorar el rendimiento del robot y no en sus componentes mecánicos.

El equipo de diseño elaboró una lista de problemas que debían resolverse:

- 1. Mapeado preciso de la zona.** El robot de rescate tiene que orientarse en el interior de los edificios y operar confiablemente en un *entorno de GPS degradado* o *sin GPS* y en ausencia de un mapa o plano exacto.
- 2. Navegación en un entorno dinámico y desconocido.** El robot de rescate tiene que navegar en un entorno desconocido en el que las estructuras pueden haber sufrido daños y cambios debido a la catástrofe.
- 3. Encontrar supervivientes.** El robot de rescate debe detectar escombros y personas en distintas condiciones de luz, incluida la oscuridad, hacer frente a la oclusión por otros objetos y reconocer formas deformadas.
- 4. Comunicación.** El robot de rescate necesita comunicarse con el equipo de rescate fuera de la zona afectada. Es posible que el robot de rescate tenga que recurrir a grandes bases de datos y a la capacidad de procesamiento de computadoras centrales.

40 Tecnologías

El robot de rescate debe poder moverse por el entorno. Para hacerlo, un robot de rescate necesita mapas. Lo más habitual es utilizar las señales GPS para la navegación en espacios abiertos, ya que las señales recibidas son precisas. No es así en los espacios interiores.

45 El equipo de diseño de *BotPro* necesita, por tanto, crear una conciencia visual de la situación y está estudiando técnicas de *visión por computadora* que permitan al robot de rescate elaborar un mapa de su entorno y reconocer objetos no vistos antes. En el nivel más básico, el robot tiene que estar equipado con un *sensor de odometría* y una sola cámara.

Visión por computadora

50 La visión por computadora hace referencia a las tecnologías que permiten a un dispositivo “ver”, es decir, percibir el entorno que lo rodea, incluidos los objetos estáticos y dinámicos.

Dos de los subdominios de las tecnologías de visión por computadora que el equipo de diseño de *BotPro* está explorando para el nuevo robot de rescate son la *localización y el mapeado visuales simultáneos (vSLAM)*, por sus siglas en inglés) y la estimación de posiciones.

Localización y mapeado visuales simultáneos (vSLAM)

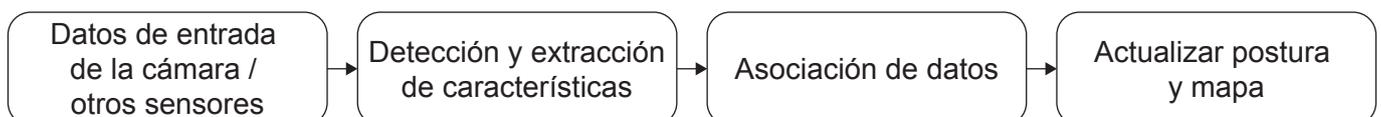
55 La *localización y el mapeado simultáneos (SLAM)*, por sus siglas en inglés) se utilizan para estimar el movimiento de los sensores y reconstruir la estructura de un entorno desconocido. El SLAM puede realizarse utilizando diferentes tipos de sensores, como cámaras para la recogida de datos visuales y radares, sonares y la *detección y localización por luz (LIDAR)*, por sus siglas en inglés) para datos no visibles, con datos básicos de posición recogidos mediante una *unidad de medición inercial (IMU)*, por sus siglas en inglés). Una IMU es una combinación de sensores, como un acelerómetro, un giroscopio y un magnetómetro, que capturan los datos sobre la ubicación de un dispositivo en un espacio de tres dimensiones (3D). Si se instalara en el robot de rescate, mediría los movimientos de traslación y rotación del robot.

65 Las técnicas SLAM que utilizan una cámara como entrada visual básica se conocen como vSLAM o SLAM visual.

70 Los algoritmos vSLAM permitirán al robot de rescate construir dinámicamente un mapa sin perder de vista su propia ubicación y orientación mientras se desplaza por un entorno desconocido. El objetivo es combinar los *datos estimados de navegación* provistos por el sensor de odometría y las imágenes de la cámara como entrada para emprender la localización y la construcción de mapas.

vSLAM funciona en espacios interiores y brinda una mayor precisión que el GPS, lo que le confiere una ventaja sobre este. La **figura 1** muestra el diagrama del proceso vSLAM.

Figura 1: Gráfico del proceso vSLAM



El algoritmo vSLAM consta de varios módulos, los tres principales de los cuales son el *seguimiento*, el *mapeado local* y el *cierre del bucle*. Se muestran en la **figura 2**.

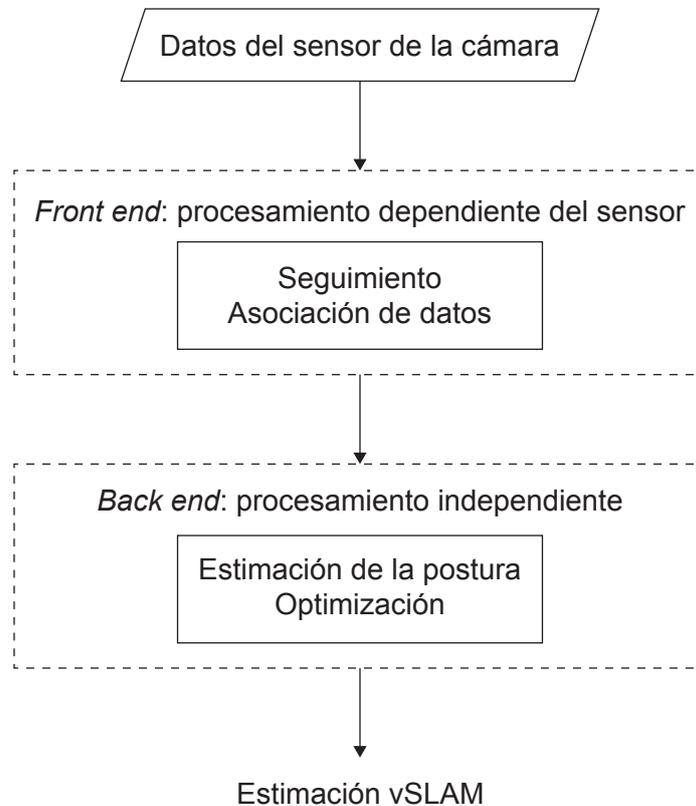
Figura 2: Los tres módulos principales del algoritmo vSLAM



75 El robot de rescate utiliza los tres módulos principales del algoritmo vSLAM para inicializar su posición según los datos disponibles, seguir su progreso mientras analiza los nuevos datos de los sensores y crear un mapa del entorno.

80 A medida que la medición de características, como puertas, esquinas y la ubicación/posición de las personas en la estructura dañada, aumenta con el tiempo, es necesario optimizar la representación del entorno, lo que requiere importantes capacidades de procesamiento computacional (véase la **figura 3**). Por lo tanto, se necesita un equilibrio entre la eficiencia de los algoritmos de optimización y la precisión del mapa que se crea. Las dos técnicas utilizadas para la *optimización* son el *ajuste de paquetes* y la *selección de fotogramas clave*.

Figura 3: Diagrama de flujo de un proceso vSLAM típico



85 Cuando falla el seguimiento, vSLAM ejecuta un módulo de *relocalización*, ya que el robot de rescate necesita relocalizarse a sí mismo. A medida que el robot de rescate se desplaza por un espacio, puede desviarse y perderse. Sin embargo, en ese momento se ejecuta la *optimización global del mapa*, que utiliza una técnica de cierre de bucles.

90 El equipo de diseño de *BotPro* se dio cuenta de que vSLAM es un algoritmo robusto y de bajo costo que puede manejar cambios dinámicos en el entorno. Sin embargo, es importante conocer el rendimiento, las ventajas y las limitaciones del algoritmo vSLAM.

El equipo de diseño también está explorando la idea de utilizar varias cámaras en el nuevo robot de rescate. Si ponen en práctica esta idea, se podrá utilizar un esquema diferente de adquisición de imágenes para optimizar el uso de la información visual.

Estimación de la postura

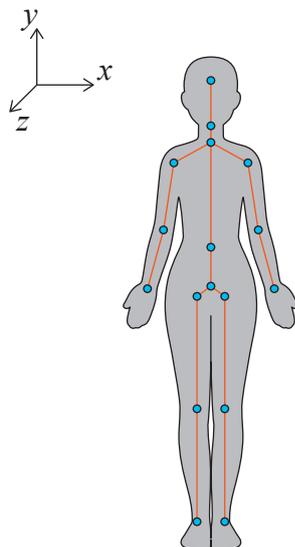
95 El nuevo robot de rescate de *BotPro* necesita conocer la postura de una persona para realizar correctamente las operaciones de rescate y, por tanto, debe ser capaz de estimar la configuración de las partes del cuerpo humano.

100 La estimación de la postura se refiere a la técnica de visión por computadora que consiste en estimar la posición y orientación de un objeto o un ser humano con respecto a la cámara en un espacio del mundo real. Esto suele hacerse identificando, localizando y rastreando una serie de *puntos clave* en un objeto o una persona en un entorno interactivo. Los puntos clave son ubicaciones espaciales o puntos de una imagen que definen lo que destaca en la imagen captada por la cámara.

105 Los objetos inanimados son rígidos, por lo que sus puntos clave suelen ser esquinas, bordes u otras características significativas. Los modelos utilizados para identificar puntos clave en objetos inanimados se denominan modelos de *estimación de postura rígida (RPE, por sus siglas en inglés)*.

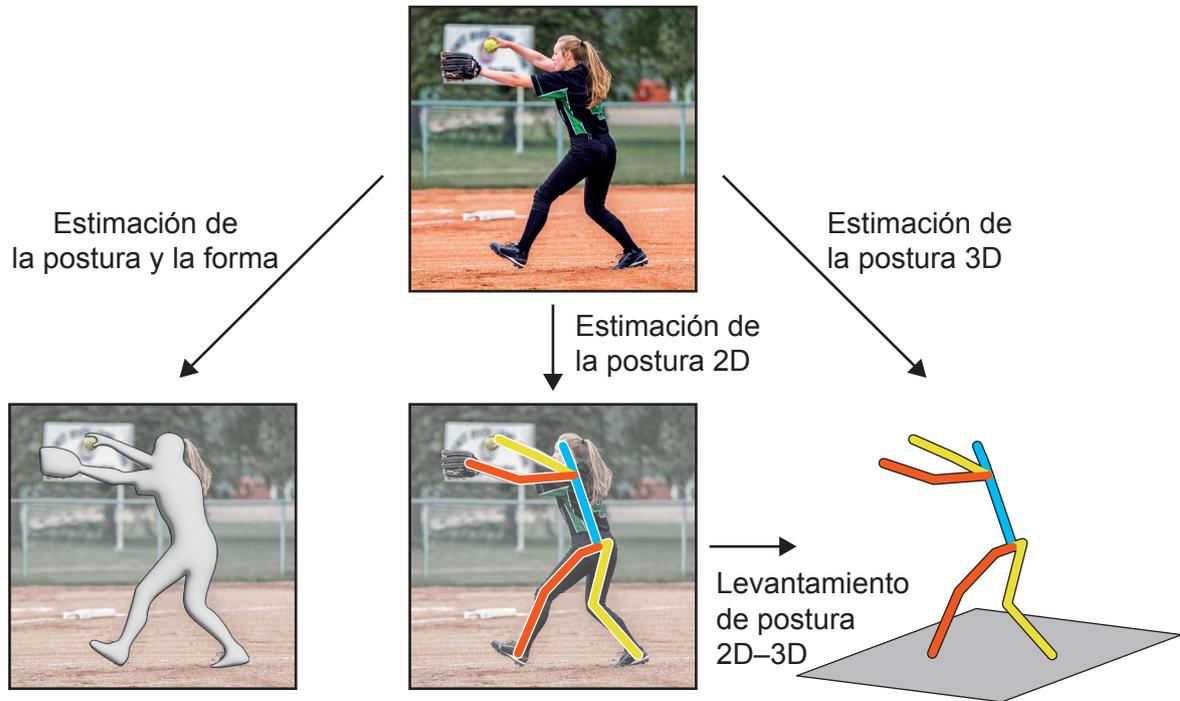
110 Los humanos son flexibles, por lo que sus puntos clave son la cabeza y las articulaciones principales, como el cuello, los hombros, los codos, las muñecas y las rodillas. Los modelos utilizados para identificar puntos clave en los seres humanos se denominan modelos de *estimación de la postura humana (HPE, por sus siglas en inglés)* (véase la **figura 4**).

Figura 4: Representación cinemática de un cuerpo humano



115 Los puntos clave pueden utilizarse para describir la postura de un ser humano en dos dimensiones. Una conexión válida entre puntos se conoce como par. A continuación, esta imagen bidimensional (2D) de puntos y pares clave se transforma en un modelo de postura 3D que permite predecir la posición exacta de una persona (véase la **figura 5**). HPE no reconoce quién aparece en la imagen. Solo estima las partes del cuerpo.

Figura 5: Estimación de la postura humana en 3D



Los métodos de HPE se clasifican en dos tipos: métodos ascendentes y métodos descendentes.

Los métodos de HPE también difieren en función del número de personas objeto de seguimiento. La estimación de la postura de una sola persona es más fácil que la de varias.

120 La pregunta que se plantea el equipo de diseño de *BotPro* es: ¿necesita el robot de rescate una imagen muy precisa de las personas que intenta encontrar y rescatar? Lograr una mayor precisión implicaría un aumento de la complejidad computacional, lo que conllevaría un incremento del retraso en la inferencia en las operaciones de rescate en tiempo real.

125 Los algoritmos de seguimiento de la postura se enfrentan a varios desafíos, como el manejo de la escena de fondo, la autooclusión de partes del cuerpo, el seguimiento en diversas condiciones de luz y la *oclusión de objetos* múltiples.

130 Los robots de rescate deben realizar la estimación de la postura en tiempo real, con o sin conexión a Internet, por lo que el equipo de diseño de *BotPro* podría considerar la posibilidad de utilizar dispositivos de borde ligeros en el nuevo robot de rescate que implementen la *computación de borde*. El reto consistiría entonces en permitir que los robots de rescate trabajen con dispositivos de bajo consumo.

135 El nuevo robot de rescate también necesitará comunicación bidireccional con el equipo humano de rescate. El equipo de diseño de *BotPro* es consciente de que el acceso a los datos/imágenes enviados por el robot de rescate debe limitarse a las personas autorizadas para mantener la seguridad y privacidad de los datos.

Cuestiones sociales y éticas

140 El uso de robots de rescate tiene varias ventajas. Por ejemplo, se pueden enviar robots de rescate a lugares demasiado peligrosos para los socorristas humanos. Un robot de rescate está diseñado para ayudar a las personas y resguardarlas del agotamiento y los traumatismos. Además, estos robots pueden utilizarse para recopilar información de despliegues simulados que sirva para formar a rescatadores humanos sobre seguridad y eficacia en equipos de gestión de catástrofes.

145 Sin embargo, los robots de rescate requieren una gran cantidad de recursos para su construcción y mantenimiento, y además pueden tener una capacidad limitada. Por ello, solo los países económicamente más desarrollados pueden permitirse invertir tiempo y dinero en construirlos y utilizarlos.

Aún quedan por resolver algunos interrogantes sobre los aspectos sociales y éticos del uso de robots de rescate:

- ¿Deberían utilizarse robots de rescate para realizar tareas que serían demasiado peligrosas para los seres humanos en una catástrofe o en un entorno igualmente inestable?
- 150 • ¿Son seguros los robots? ¿Quién es responsable si un robot de rescate causa daños a la persona que necesita ayuda debido a un cálculo erróneo de la postura de la persona?
- ¿Se sentirán cómodos los supervivientes al ser ayudados por un robot y no por otro ser humano compasivo?

Investigación futura

155 Los futuros avances de *BotPro* podrían explorar *modelos de fusión de sensores* para proporcionar mayor confianza y precisión.

A la empresa también le gustaría fabricar varios robots de rescate que puedan trabajar en colaboración. Para ello tendrán que identificar los algoritmos que permitan la colaboración no solo entre los robots, sino también con sus operadores humanos.

160 Tecnologías como la infraestructura de red inteligente, que puede ser mejorada y ampliada dinámicamente por los nodos periféricos, podrían servir de columna vertebral. La capacidad de estar conectado en cualquier lugar y en cualquier momento permitiría un nivel necesario de autonomía e intercambio colectivo de información entre robots, humanos, infraestructuras y aplicaciones relacionadas. Sin embargo, esto podría requerir una computación de borde más
165 avanzada y un aprendizaje automático distribuido.

La creación de una interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés) de rescatador que pueda mapear una zona catastrófica en tiempo real para preparar al equipo humano de rescate en caso de que quiera entrar en la zona de catástrofe es otra de las áreas que el equipo de diseño de *BotPro* ha identificado para mejorar sus labores de rescate.

170 Desafíos a los que se enfrenta

En el desarrollo del nuevo robot de rescate, el equipo de diseño de *BotPro* se enfrenta a una serie de desafíos:

- Comprender cómo vSLAM navega por un entorno con obstáculos y contornos desconocidos.
- Minimizar el tiempo que pasan los robots de rescate explorando y aprendiendo un entorno.
- 175 • Estimación de la postura de las personas a pesar de la variación de la luz y de las condiciones ambientales y de la oclusión de partes del cuerpo o por objetos múltiples.
- Actualización de mapas existentes en un entorno que cambia dinámicamente, como un terremoto en el que los escombros siguen moviéndose.
- Desarrollar la comprensión de las consideraciones éticas del uso de robots autónomos en
180 situaciones de vida y muerte.

Terminología adicional

Ajuste de paquetes (*bundle adjustment*)
 Computación de borde (*edge computing*)
 Datos estimados de navegación (*dead reckoning data*)
 Deriva de robot (*robot drift*)
 Detección y localización por luz (LIDAR, *light detection and ranging*)
 Entorno de GPS degradado (*GPS-degraded environment*)
 Entorno sin GPS (*GPS-denied environment*)
 Estimación de postura humana (HPE, *human pose estimation*)
 Estimación de postura rígida (RPE, *rigid pose estimation*)
 Localización y mapeo simultáneos (SLAM, *simultaneous localization and mapping*)
 Modelo de fusión de sensores (*sensor fusion model*)
 Módulos de localización y mapeado visuales simultáneos (vSLAM, *visual simultaneous localization and mapping modules*):
 Cierre de bucle (*loop closure*)
 Inicialización (*initialization*)
 Mapeado local (*local mapping*)
 Relocalización (*relocalization*)
 Seguimiento (*tracking*)
 Oclusión de objetos (*object occlusion*)
 Optimización (*optimization*)
 Optimización global de mapas (*global map optimization*)
 Puntos/pares clave (*key points/pairs*)
 Relocalización (*relocalization*)
 Selección de fotogramas clave (*keyframe selection*)
 Señal del sistema de posicionamiento global (GPS signal, *global positioning system signal*)
 Sensor de odometría (*odometry sensor*)
 Unidad de medición inercial (IMU, *inertial measurement unit*)
 Visión por computadora (*computer vision*)

Algunas empresas, productos o personas nombradas en este estudio de caso son ficticios y cualquier semejanza con entidades reales es solamente una coincidencia.

Advertencia:

Los contenidos usados en las evaluaciones del IB provienen de fuentes externas auténticas. Las opiniones expresadas en ellos pertenecen a sus autores y/o editores, y no reflejan necesariamente las del IB.

Referencias:

- Figura 4** Xiaopeng JI, Qi FANG, Junting DONG, Qing SHUAI, Wen JIANG, Xiaowei ZHOU. A survey on monocular 3D human pose estimation. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, 2020, 2(6): 471–500 DOI: 10.1016/j.vrih.2020.04.005. Imagen original adaptada.
- Sudowoodo, s.d. [*Gráfico del cuerpo femenino*] [en línea]. Disponible en: <https://www.gettyimages.co.uk/detail/illustration/male-and-female-body-chart-royalty-free-illustration/1160619280?phrase=body&adppopup=true> [Consulta: 18 de octubre de 2022]. Material original adaptado.
- Figura 5** Xiaopeng JI, Qi FANG, Junting DONG, Qing SHUAI, Wen JIANG, Xiaowei ZHOU. A survey on monocular 3D human pose estimation. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, 2020, 2(6): 471–500 DOI: 10.1016/j.vrih.2020.04.005. Imagen original adaptada.
- Kat72, s.d. [*Chica adolescente lanzando bola rápida*] [en línea]. Disponible en: <https://www.gettyimages.co.uk/detail/photo/teenage-girl-pitching-fastball-royalty-free-image/700576396> [Consulta: 18 de octubre de 2022]. Material original adaptado.

Los demás textos, gráficos e ilustraciones: © Organización del Bachillerato Internacional, 2024