

MedTec4SusDev. Tecnología Médica para el Desarrollo Sostenible

María-Dolores A.S.*^a, Asmaa S^a, Nayra P. C., Guillermo-Valentín S. M., Jose-Carlos R. L., Abián H. G., Juan R.A.^a

^aInstituto Universitario de Investigaciones Biomédicas y Sanitarias, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Paseo Blas Cabrera Felipe, s/n, 35016, Las Palmas de Gran Canaria

RESUMEN

Este trabajo expone la introducción de Tecnología Médica en países africanos en desarrollo desde la iniciativa MedTec4SusDev, Tecnología Médica para el Desarrollo Sostenible. La propuesta se ha establecido en el marco del proyecto MACbioIDi, un proyecto de cooperación internacional cofinanciado por el programa de cooperación de la Unión Europea INTERREG MAC. En éste, los países africanos de Cabo Verde, Mauritania, Mozambique y Senegal son socios de las regiones europeas ultraperiféricas que pertenecen a la Macaronesia: Islas Canarias, Azores y Madeira. Los objetivos que plantea MACbioIDi en este programa son: la formación de profesionales africanos; la integración de éstos en circuitos internacionales de investigación; y el fortalecimiento de las capacidades de las instituciones africanas, para facilitar que las generaciones futuras trabajen en sus países y formen parte de grupos de investigación internacionales. Estos objetivos se plantean como aspectos básicos sobre los que diseñar las actividades que, de forma directa, repercutirán en los objetivos del desarrollo sostenible: 3, salud y bienestar y 4, educación de calidad. Este proyecto es un primer paso en la consecución del establecimiento de un hub tecnológico en Canarias, en el ámbito de la Tecnología Médica para el Desarrollo Sostenible, así como futuros desarrollos y proyectos de investigación en esta área. Plantea el uso de aplicaciones software de análisis de imágenes médicas y visualización 3D, para formación e investigación clínica. Como tal, el proyecto MACbioIDi contribuye a fortalecer colaboraciones y proponer proyectos de investigación destinados a establecer una red internacional que reúna a estudiantes y postgraduados de instituciones africanas, europeas y americanas.

Palabras clave: Tecnología médica, imágenes médicas, programas formativos, aprendizaje basado en proyectos, integración basada en proyectos, equipos multidisciplinares, desarrollo sostenible.

1. INTRODUCCIÓN

En el año 2000 los países miembros de las Naciones Unidas acordaron una serie de objetivos, los *Objetivos de Desarrollo del Milenio*, con la finalidad de alcanzarlos en el año 2015. Fueron un conjunto de ocho propósitos con los que se pretendía trabajar en problemas considerados graves o radicales: 1) erradicar la pobreza extrema y el hambre, 2) lograr la enseñanza primaria universal, 3) promover la igualdad entre los géneros y la autonomía de la mujer, 4) reducir la mortalidad infantil, 5) mejorar la salud materna, 6) combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades, 7) garantizar la sostenibilidad del medioambiente, 8) fomentar una asociación mundial para el desarrollo. En ese año 2015 se evaluaron los alcances; en la Unión Europea, España cumplió con los objetivos para el milenio; en África, sólo Sudáfrica las cumplió. También en 2015, además de esta evaluación se plantearon los hoy conocidos como *Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS)*, en los que el conjunto de propósitos pasa a ser diecisiete: 1) fin de la pobreza, 2) hambre cero, 3) salud y bienestar, 4) educación de calidad, 5) igualdad de género, 6) agua limpia y saneamiento, 7) energía asequible y no contaminante, 8) trabajo decente y crecimiento económico, 9) industria, innovación e infraestructura, 10) reducción de las desigualdades, 11) ciudades y comunidades sostenibles, 12) producción y consumo responsables, 13) acción por el clima, 14) vida submarina, 15) vida de ecosistemas terrestres, 16) paz, justicia e instituciones sólidas, 17) alianzas para lograr objetivos^{1,2}.

Estos amplían las áreas de actuación en aspectos como: cambio climático, consumo sostenible, o innovación, y forman parte de la *Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*³.

*marilola.afonso@ulpgc.es; tel. 928 452702; mt4sd.ulpgc.es/es/

Estamos resueltos a poner fin a la pobreza y el hambre en todo el mundo de aquí a 2030, a combatir las desigualdades dentro de los países y entre ellos, a construir sociedades pacíficas, justas e inclusivas, a proteger los derechos humanos y promover la igualdad entre los géneros y el empoderamiento de las mujeres y las niñas, y a garantizar una protección duradera del planeta y sus recursos naturales”, señalaron los Estados en la resolución.

El amplio acuerdo, en cuanto a la transición hacia la construcción de sociedades prósperas, que se refleja en el planteamiento de estos objetivos, dependerá de forma significativa de las acciones tomadas para resolver problemas sociales, de medio ambiente, o economía, entre otros. Las universidades, presentes en muchos de los avances de la historia de la humanidad, son actores del cambio cuyos pasos en esta dirección son cada vez más sólidos. Desde estas instituciones los esfuerzos realizados en I+D+i son elementos clave.

Este trabajo expone cómo se ha abordado, en el marco de la iniciativa MedTec4SusDev⁴, Tecnología Médica para el Desarrollo Sostenible, la introducción de Tecnología Médica en países africanos en desarrollo. La propuesta se ha establecido en el marco del proyecto MACbioIDi, un proyecto de cooperación internacional cofinanciado por el programa de cooperación de la Unión Europea INTERREG MAC⁵. En éste, los países africanos de Cabo Verde, Mauritania, Mozambique y Senegal son socios de las regiones europeas ultraperiféricas que pertenecen a la Macaronesia: Islas Canarias, Azores y Madeira.

La Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), en España, es la institución que coordina todas las actividades, como centro internacional de investigación y entrenamiento en el que instituciones de Europa, América y África trabajan en proyectos de tecnología médica para el desarrollo sostenible. El proyecto MACbioIDi define dos líneas de trabajo principales: investigación y formación en tecnología médica⁶. En la primera, investigadores internacionales de diferentes instituciones trabajan en proyectos que contribuyen a la investigación en imágenes médicas. En la segunda, se ha definido un programa de formación para profesionales de ciencias de la salud y de ingeniería. Los objetivos principales de este programa son: entrenar a profesionales en países africanos y abordar el creciente potencial de la tecnología médica en África.

El objetivo de este proyecto a corto plazo es la formación de profesionales, procurándoles los medios materiales que necesitan para poner en marcha la infraestructura tecnológica que emplearán en el ámbito de la medicina. Esta tecnología, se caracteriza por el uso de dispositivos de bajo coste y de aplicaciones software que se distribuyen bajo licencia BSD (*Berkeley Software Distribution*), de software libre. El objetivo a medio plazo es la integración de estos profesionales en circuitos internacionales de investigación, desarrollando proyectos conjuntos y publicando sus resultados. Estos objetivos a corto y medio plazo dan paso al principal objetivo planteado a largo plazo: ayudar a fortalecer las capacidades de las instituciones africanas para facilitar que las generaciones futuras trabajen en sus propios países y formen parte de grupos de investigación internacionales.

Estos objetivos se plantean como aspectos básicos sobre los que diseñar las actividades que, de forma directa, repercutirán en los objetivos 3, salud y bienestar y 4, educación de calidad.

En el primero, salud y bienestar, de forma concreta este programa contribuye a la consecución de las metas 3.c y 3.d

3.c Aumentar sustancialmente la financiación de la salud y la contratación, el desarrollo, la capacitación y la retención del personal sanitario en los países en desarrollo, especialmente en los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo.

3.d Reforzar la capacidad de todos los países, en particular los países en desarrollo, en materia de alerta temprana, reducción de riesgos y gestión de los riesgos para la salud nacional y mundial.

En el segundo, educación de calidad, contribuye a la meta 4.c.

4.c De aquí a 2030, aumentar considerablemente la oferta de docentes calificados, incluso mediante la cooperación internacional para la formación de docentes en los países en desarrollo, especialmente los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo.

De forma indirecta, también otros objetivos están en el área de influencia de estas actividades: 8) trabajo decente y crecimiento económico, 10) reducción de las desigualdades, o 17) alianzas para lograr objetivos.

El núcleo, en torno al cual se han planificado las actividades, son los programas formativos en tecnología médica, que enlazan directamente con el planteamiento, puesta en marcha, desarrollo y seguimiento de proyectos de investigación comunes entre instituciones africanas, europeas y americanas.

2. MARCO DE TRABAJO

Los programas formativos comenzaron con el diseño de la infraestructura tecnológica con la que las instituciones africanas trabajarán tras el período de formación. Una red de ordenadores, con servidor y clientes, configurados con el software necesario, así como los dispositivos de seguridad y conexión a internet. Posteriormente, con la finalidad de establecer los contenidos del mismo, se realizó un estudio de las instituciones cuyos profesionales asistirían a las sesiones de formación, así como del curriculum vitae de cada uno de ellos. Inicialmente, de cada país africano e institución de la Macaronesia asisten un médico y un ingeniero, aunque el número fue variando, de acuerdo a las preferencias de cada país. Por ejemplo, en distintas ediciones, desde Senegal asistieron tres médicos y dos ingenieros, de Azores cuatro radiólogos, de Madeira un ingeniero, o de Mauritania un médico. Tras la finalización del primer workshop de formación, se establecieron distintos grupos de trabajo para el desarrollo de proyectos de forma conjunta. Estos proyectos fueron presentados en un workshop internacional organizado por el Surgical Planning Lab (Brigham & Women's Hospital. A teaching affiliate of Harvard Medical School): NA-MIC (National Alliance for Medical Imaging Computing).

La National Alliance for Medical Image Computing⁷ es una comunidad multi-institucional de investigadores de distintas disciplinas, que desarrollan herramientas software para el análisis de imágenes médicas y para sistemas de ayuda a intervenciones⁶. La Project Week⁸ es un workshop, de una semana de duración, en la que los investigadores de computación de imágenes médicas crean soluciones utilizando la plataforma 3D Slicer⁹. Los investigadores trabajan en colaboración en soluciones informáticas, en las áreas de ingeniería mecánica, ingeniería biomédica y medicina. El objetivo de la Project Week, es proporcionar un punto de encuentro común para que los investigadores en el tratamiento de imágenes médicas trabajen en colaboración en distintos proyectos. Este workshop se celebra bianualmente, en invierno y en verano; en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) y en una universidad europea. Los correspondientes a las semanas 28 y 30 se celebraron en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Los proyectos propuestos tras las sesiones de formación se presentaron a los workshops 28PW NA-MIC¹⁰ y 30 PW NA-MIC¹¹, organizados de forma conjunta por el Harvard Medical School y la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

2.1 3DSlicer

3D Slicer es la aplicación en torno a la cual se ha diseñado el proyecto. La plataforma ha sido utilizada y desarrollada por profesionales durante más de dos décadas. Esta aplicación software se ha creado con el apoyo de los Institutos Nacionales de Salud de EE. UU., y una comunidad mundial de desarrolladores. Es una aplicación multiplataforma de código abierto para análisis de imágenes médicas y visualización 3D utilizada en investigación clínica. La aplicación proporciona funcionalidades como segmentación y registro de imágenes¹². 3D Slicer admite varias modalidades de imágenes médicas, como Tomografía Computarizada (Computer Tomography – CT), Tomografía por Emisión de Positrones (Positron Emission Tomography- PET), Imagen por Resonancia Magnética (Magnetic Resonance Imaging - MRI) o UltraSonido (Ultrasound – US). El software se puede utilizar para visualizar conjuntos de datos tridimensionales, (3D), también admite 1D y 2D, así como conjuntos de datos que varían en el tiempo. Las magnitudes transmitidas por las señales pueden ser: escalares, vectoriales y tensores. Los visores, tridimensionales (volumen), bidimensionales (corte) y unidimensionales (gráfico), proporcionan representaciones visuales.

3D Slicer se basa en VTK (Visualization Toolkit)¹³, una biblioteca gráfica ampliamente utilizada en visualización científica; e ITK (Insight Toolkit)¹⁴, un entorno ampliamente utilizado para el desarrollo de segmentación y registro de imágenes. Ha habido diferentes versiones a lo largo de estas dos últimas décadas; en la versión 4, la aplicación principal se implementa en C ++, y la Interfaz de Programación de Aplicaciones (Application Programming Interface - API) está disponible a través de un contenedor Python, para facilitar el desarrollo y la visualización rápida e iterativa en la consola. La interfaz de usuario se implementa en Qt¹⁵. 3D Slicer admite tres tipos de módulos: interfaz de líneas de comando (Command Line interface - CLI), módulos cargables y módulos script. Los instaladores están disponibles para los sistemas operativos Windows, Mac OS X y Linux.

Una de las fortalezas más importantes de 3D Slicer es su comunidad de desarrolladores internacionales que, de forma continua, trabaja en el desarrollo de nuevos módulos, características y soluciones.

2.2 Open Anatomy Browser

El *Open Anatomy Browser*¹⁶ (OA Browser) es el resultado del proyecto homónimo desarrollado en el Brigham & Women's Hospital de Boston, MA. Su objetivo principal es el desarrollo de atlas digitales de anatomía para estudiantes, médicos o investigadores. El OA Browser es una plataforma web que muestra una representación en 3D del conocimiento médico, atlas de anatomía 3D con modelos geométricos de imágenes volumétricas y metadatos de texto¹⁷. Actualmente, se encuentra disponible para los navegadores web Chrome, Firefox y Safari. Su característica principal es la funcionalidad de vista compartida, que permite que la aplicación se ejecute en diferentes navegadores web, compartiendo la misma vista del atlas, lo que permite la colaboración y el aprendizaje a distancia en línea. El usuario puede interactuar modificando las diferentes vistas, los modelos anatómicos en 3D y los elementos que se mostrarán a través de una jerarquía de estructuras basada en texto.

Se ha implementado utilizando JavaScript, Angular y la AngularUI¹⁸ para administrar las ventanas, los menús y el estado. La tecnología WebGL¹⁹ se utiliza para mostrar modelos tridimensionales de anatomía. Se utiliza HTML para mostrar las imágenes del panel transversal que muestra los cortes axial, sagital y coronal.

2.3 Programas formativos

Los cursos han consistido en una serie de lecciones teóricas acompañadas de ejercicios. El planteamiento pedagógico es el de aprendizaje por proyectos, que se desarrollan de forma conjunta entre médicos e ingenieros. El material, - contenidos teóricos y ejercicios-, es accesible a través de las plataformas eLearning del proyecto MACbioIDI. Por un lado con un perfil divulgativo, la Wiki; y por otro con la conformación de un curso para usuarios registrados, la plataforma Moodle.

Los resultados del aprendizaje planteados son: a) Entender cómo trabajan las aplicaciones 3DSlicer y Open Anatomy Browser; b) Analizar imágenes médicas utilizando 3DSlicer y Open Anatomy Browser; c) Comprender cómo se utilizan estas aplicaciones, por tanto, poder trabajar con modelos de datos en ambas; d) Trabajar con ejemplos para resolver una amplia variedad de problemas, e) Planificar cómo introducir esas aplicaciones en las asignaturas para la formación de su alumnado; f) Proponer líneas de investigación.

Se realizaron tres workshops en la Universidad de las Palmas de Gran Canaria, a los cuales se desplazaron profesionales de los continentes africano, europeo y americano. Estos se celebraron en febrero-marzo de 2018, junio de 2018 y enero de 2019. El primero de ellos, de mayor duración, ha contado con un total de 160 horas lectivas, de ellas 40 de teoría y el resto de actividades prácticas. Los siguientes, enfocados sólo en el desarrollo de proyectos, han consistido en dos semanas de trabajo práctico, un total de 80 horas. En los períodos entre estos workshops se celebraron dos sesiones formativas, por parte de los profesionales africanos, en sus países de origen: Mauritania, Mozambique y Senegal; todas ellas de entre una y dos semanas de formación, con cuatro horas prácticas diarias aproximadamente.

En los workshops celebrados en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria ha participado un total de 37 profesionales de distintas disciplinas. Catorce de diversos campos de la medicina: anatomistas, neurocientíficos, cirujanos, urólogos, y anestesistas; profesionales de la enfermería y técnicos de laboratorio, de España, Portugal, Cabo Verde, Senegal, Mozambique y Mauritania. Tres ingenieros africanos, de Cabo Verde, Senegal, y Mauritania; quince de Canarias; uno de Portugal y cuatro de EE.UU. Todos los profesionales visitaron laboratorios universitarios y de centros de salud, y mantuvieron reuniones con otros 20 profesionales de esta área. En las sesiones de formación celebradas en los workshops NA-MIC, todos ellos han podido participar en actividades de formación específica y establecer relación con investigadores de catorce países de los continentes europeo, africano y americano.

En las sesiones realizadas en los países africanos de Senegal, Mauritania y Mozambique, un total de tres médicos, y un ingeniero, todos ellos africanos han impartido formación a más de cien alumnos africanos y alrededor de 25 profesores, también africanos. Sólo a Mauritania se desplazó un ingeniero de Canarias para apoyar las sesiones formativas en ese país. En Cabo Verde no se realizaron sesiones formativas, debido a que en la universidad de Cabo Verde no existe la titulación de medicina, sin embargo su implicación en el proyecto se considera un primer paso para incluir, a nivel de ingeniería, contenidos en los que se trabaje con imágenes médicas.

3. PROYECTO Y RESULTADOS

Los resultados que derivan de los programas de formación planteados se han llevado a cabo por equipos de profesionales africanos, europeos y americanos; son proyectos de formación y de investigación que se han desarrollado por etapas. De este modo, el concepto de aprendizaje basado en proyectos se amplía a la integración de profesionales basada en el desarrollo de proyectos. Tras un primer workshop de formación los equipos se constituyen para que los profesionales que comienzan a trabajar con estas tecnologías planteen sus preferencias, de acuerdo a su trabajo y el de sus instituciones; los profesionales con más experiencia asesoran y determinan el plan de trabajo. La primera etapa de desarrollo de estos proyectos se establece en abril-junio de 2018 y la segunda en octubre de 2018-enero de 2019. Cada una de ellas coincide con la presentación de proyectos a la 28 y a la 30 Project Week respectivamente. Han sido un total de ocho, los proyectos planteados y desarrollados así como los trabajos en progreso. Entre los primeros encontramos:

Atlas anatómico de la pelvis.

Los atlas anatómicos digitales en 3D son una herramienta de aprendizaje que brinda a los estudiantes, profesores, médicos, investigadores y al público en general, una visión precisa y completa de la anatomía del cuerpo humano. El resultado de este proyecto ha sido la creación de dos atlas anatómicos de la pelvis del cuerpo humano, el de la pelvis masculina se realizó en una primera etapa y el de la pelvis femenina en la segunda. Desde las imágenes de CT y el uso de 3D Slicer para crear las estructuras anatómicas, por medio de segmentación, se crean los modelos y, mediante un procesamiento posterior, se exportan al Open Anatomy Browser para su visualización. Ambos atlas se encuentran disponibles en la plataforma web del proyecto, en español, francés y portugués²⁰. Actualmente estos atlas están destinados no solo a programas de formación, sino también a la investigación en hospitales y universidades. Una característica única de este proyecto es que se ha creado casi por completo en África. Las figuras 1 y 2 muestran los atlas anatómicos creados.

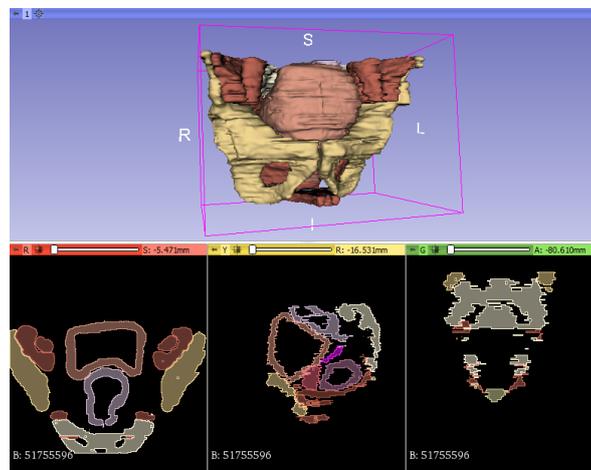


Figura 1. Modelo de pelvis en 3D Slicer.

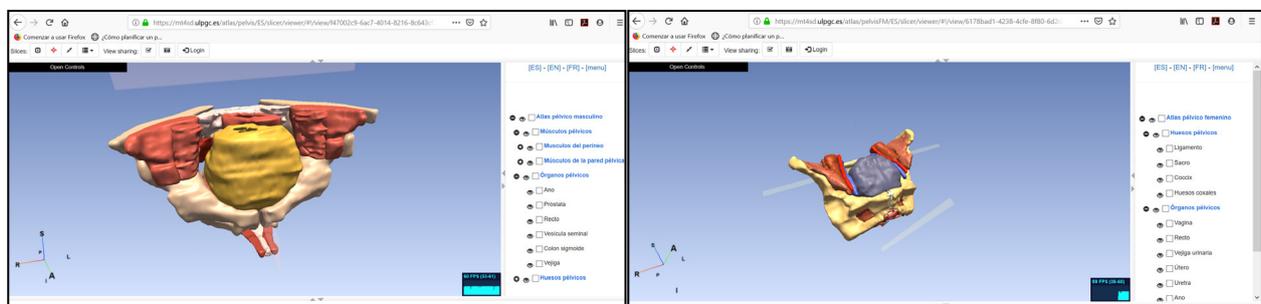


Figura 2. Izquierda. Atlas anatómico de la pelvis masculina. Derecha. Atlas anatómico de la pelvis femenina.

Sistema de entrenamiento IGT (Image Guided Therapy).

Este proyecto, plantea un sistema de navegación por ultrasonido para realizar prácticas en programas de formación para países africanos²¹. Los componentes de este sistema son:

- El software, la aplicación 3D Slicer y la librería para investigación de imágenes de ultrasonido Public Library Ultrasound - PLUS). El kit de herramientas PLUS se utiliza para interconectar 3D Slicer con los dispositivos de ultrasonido y seguimiento. El sistema también utiliza SlicerIGT, una extensión 3D Slicer que proporciona un módulo que simplifica el procedimiento.
- El dispositivo de ultrasonido, que adquiere imágenes de ultrasonido en modo de brillo.
- El dispositivo de seguimiento, que calcula la ubicación y orientación del instrumental.

Finalmente, este sistema también presenta los *phantoms*, los elementos diseñados para entrenamiento que imitan el comportamiento del tejido natural del cuerpo humano.

Los sistemas *IGT* (imagen combinada con el seguimiento de posición en tiempo real), permiten mejorar la seguridad y la precisión de los procedimientos médicos. Estos sistemas son una solución de calidad y asequible, para que los médicos y las enfermeras practiquen y mejoren sus habilidades antes de ayudar a sus pacientes.

En una primera etapa, el sistema hacía uso de cámaras web, los marcadores del sistema de seguimiento correspondían a los de la librería ArUco²² y una sencilla interfaz. En la segunda, el dispositivo de seguimiento se sustituyó por un Optitrack²³ con marcadores reflectantes, cuya distribución determina cada elemento del sistema; la interfaz, además, incluía nuevas funcionalidades como la internacionalización. Las figuras 3 y 4 muestran la primera y segunda etapa de este proyecto respectivamente.

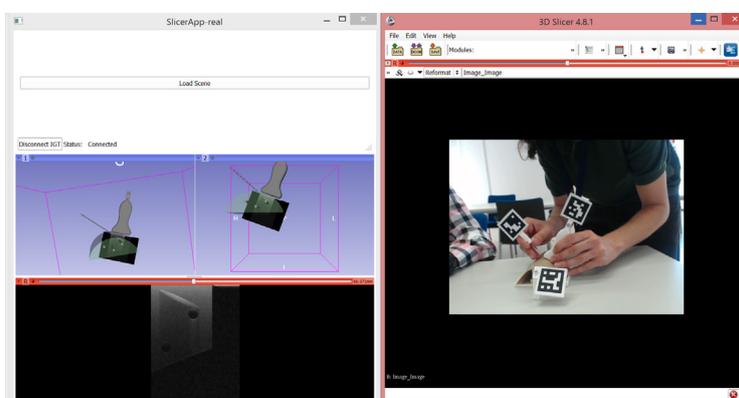


Figura 3. Sistema IGT. Seguimiento ArUco.

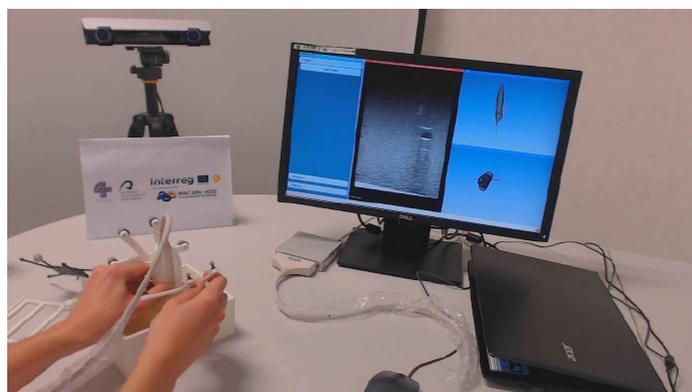


Figura 4. Sistema IGT. Seguimiento Optitrack.

Programas de formación.

Tras la asistencia de profesionales africanos al primer workshop celebrado en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, estos profesionales realizaron las primeras sesiones en sus países. En la segunda etapa, se establecieron programas de formación, que a partir del curso académico 2019/2020, forman parte del currículum de la asignatura de anatomía en las facultades de medicina de las universidades: Eduardo Mondlane (Mozambique), Universidad Cheick Anta Diop (Senegal) y Universidad de Nouakchott (Mauritania).

4. CONCLUSIONES

Este trabajo se ha centrado en el desarrollo de programas de formación, e integración de profesionales africanos en equipos de trabajo internacionales, todo ello, considerando el marco de sostenibilidad. Los elementos clave han sido los objetivos 3 y 4 de los *Objetivos del Desarrollo Sostenible*²⁴, y el planteamiento de un nuevo concepto: *la integración profesional basada en proyectos*, que facilita, por etapas, la inclusión de profesionales de distintas nacionalidades en proyectos internacionales de investigación. Específicamente, el proyecto, de acuerdo con su diseño, contribuye a las metas 3.c y 3.d del 3.9; al 4.4, indicador 4.4.1; y a la meta 4.c del 4.7²⁵.

- El marco de colaboración establecido se puede utilizar como referencia en proyectos similares.
- El estudio del impacto que ha supuesto este proyecto en los índices que evaluarán las metas 3 y 4 de los objetivos del desarrollo sostenible, permitirá analizar los aspectos que se pueden mejorar, corregir desviaciones y plantear proyectos futuros.
- La sostenibilidad, desde el prisma de este proyecto se enfoca en dos principios: 1) mantener la experiencia adquirida, durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente; 2) acceso a las mismas oportunidades por parte de todas las personas. Para ello, la formación se ha enfocado hacia profesionales que posteriormente entrenarán a nuevas generaciones en términos de igualdad de oportunidades, creando sus propios grupos de investigación y facilitando la movilidad de estos.
- Este proyecto, es un primer paso en la consecución del establecimiento de un hub tecnológico en Canarias en el ámbito de la Tecnología Médica para el Desarrollo Sostenible. Del mismo modo, lo es para futuros desarrollos y proyectos de investigación en el área de tecnología médica, haciendo uso de los ecosistemas 3DSlicer y Open Anatomy Browser. Como tal, el proyecto MACbioIDi contribuye a fortalecer las colaboraciones en curso, y la propuesta de nuevos proyectos de cooperación destinados a establecer una red internacional de investigación, que reúna a estudiantes y postgraduados de instituciones africanas, europeas y americanas.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto INTERREG MACbioIDi (MAC/1.1b/098). Un proyecto de cooperación internacional de la iniciativa MedTec4SusDev. Queremos expresar nuestro agradecimiento al grupo de investigación de Tecnología Médica y Audiovisual, por su implicación en los proyectos planteados en aras del desarrollo sostenible. Así como, a todas las instituciones participantes en MACbioIDi y a la comunidad NA-MIC, su colaboración.

REFERENCIAS

- [1] Objetivos de Desarrollo Sostenible, <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>> (2 de octubre 2019).
- [2] Agenda de Desarrollo Sostenible. <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>> (2 de octubre 2019).
- [3] Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>> (2 de octubre 2019).
- [4] Tecnología Médica para el Desarrollo Sostenible. <<https://mt4sd.ulpgc.es/es/>> (2 de octubre 2019)
- [5] MAC 2014-2020 Cooperación territorial. <<https://www.mac-interreg.org/>> (2 de octubre 2019)
- [6] Ruiz-Alzola J. et al., “Train the Trainers: Medical Technology for the Sustainable Development of Africa”, Proc. IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), (2018). ISSN: 2377-6919.
- [7] National Alliance for Medical Imaging Computing <https://na-mic.org/wiki/Main_Page>
- [8] Project Weeks, NA-MIC events <https://na-mic.org/wiki/Project_Events>

- [9] 3D Slicer <<https://www.slicer.org/>>
- [10] 28 PW NA-MIC <https://projectweek.na-mic.org/PW28_2018_GranCanaria/>
- [11] 30 PW NA-MIC <https://projectweek.na-mic.org/PW30_2019_GranCanaria/>
- [12] Fedorov, A., Beichel, R., Kalpathy-Cramer, J., Finet, J., Fillion-Robin, J.-C., Pujol, S., ... Kikinis, R. (2012). 3D Slicer as an Image Computing Platform for the Quantitative Imaging Network. *Magnetic Resonance Imaging*, 30(9), 1323–1341. <http://doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001>
- [13] Visualization Toolkit <<https://vtk.org/>>
- [14] Insight Toolkit <<https://itk.org/>>
- [15] Qt <<https://www.qt.io/>>
- [16] Open Anatomy Browser <<https://www.openanatomy.org/>>
- [17] Halle M, Demeusy V and Kikinis R (2017) The Open Anatomy Browser: A Collaborative Web-Based Viewer for Interoperable Anatomy Atlases. *Front. Neuroinform.* 11:22. doi: 10.3389/fninf.2017.00022
- [18] Angular. <<https://angular.io/>>
- [19] WebGL. <<https://www.khronos.org/news/press/khronos-releases-final-webgl-1.0-specification>>
- [20] Pelvic Anatomy Atlas. <<https://mt4sd.ulpgc.es/atlas/pelvis/EN/slicer/viewer>>
- [21] G. V. Socorro-Marrero, et al. “Affordable Medical Ultrasound Navigation Training”. Unpublished.
- [22] ArUco. <<https://www.uco.es/investiga/grupos/ava/node/26>>
- [23] Optitrack <<https://optitrack.com/>>
- [24] Sustainable Development Goals. <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>>
- [25] Sustainable Development Goals indicators. <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/Global%20Indicator%20Framework%20after%20refinement_Eng.pdf>