

ARTÍCULO ORIGINAL

Arquitectura para la interactividad en la TVD adaptada a las condiciones de Cuba

*Architecture for advanced interactivity
in DTV adapted to Cuba's conditions*

Ariel Alfonso Fernández Santana

arielfernandez@gmail.com • <https://orcid.org/0000-0002-4739-3230>

Joaquín Danilo Pina Amargós

jpina@ceis.cujae.edu.cu • <https://orcid.org/0000-0003-4619-849X>

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA HABANA "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA", CUJAE, CUBA

Recibido: 2023-01-09 • Aceptado: 2023-02-26

RESUMEN

La televisión digital (TVD) permite la incorporación y transmisión de datos que son interpretados por cajas decodificadoras y que el usuario final percibe con determinado grado de interactividad. En la actualidad la mayoría de los servicios y las tecnologías utilizadas para lograr la interactividad en la TVD están limitados por el cobro de elevadas tarifas y su código fuente no se encuentra disponible para adecuar el funcionamiento a las condiciones locales. Entre las aplicaciones interactivas están los videojuegos y las visitas virtuales, los cuales contribuyen a hacer más atractivo y educativo el uso de la televisión. Esta investigación propone una arquitectura adaptada a las condiciones tecnológicas de Cuba, que tribute a incorporar funcionalidades de interactividad avanzada en la TVD. Para ello se realiza un análisis de las tecnologías disponibles y se opta por una solución de *software* libre que permita la creación de estas aplicaciones y su integración en un mismo sistema, siguiendo una arquitectura basada en microservicios y el estándar HbbTV (*Hybrid Broadcast Broadband Television*).

Con el desarrollo de la investigación se contribuye a enaltecer el patrimonio tecnológico del país. Al ser la televisión un medio de difusión tan utilizado en la sociedad actual, su implementación se ve reflejada como un claro beneficio a disímiles sectores. Además, fomenta el crecimiento de la soberanía tecnológica del país y es un referente en el desarrollo de videojuegos, visitas virtuales y otro

tipo de contenido interactivo para la TVD, ya que se crea una caracterización de los principales atributos que deben tener dichas aplicaciones.

PALABRAS CLAVE: arquitectura de *software*, *software* libre, televisión digital interactiva.

ABSTRACT

Digital Television allows the incorporation and transmission of data that are interpreted by set-top boxes and that the end user perceives with a certain degree of interactivity. Currently, most of the services and technologies used to achieve interactivity on digital television are limited by the charging of high fees and their source code is not available to adapt their operation to local conditions. Among the interactive applications are video games and virtual tours, which contribute to making the use of television more attractive and educational. This research proposes an architecture adapted to the technological conditions of Cuba, which contributes to incorporating advanced interactivity functionalities in Digital Television. To this end, an analysis of the available technologies is carried out, opting for a free software solution that allows the creation of these applications and their integration into the same system following a microservices based architecture and the HbbTV (Hybrid Broadcast Broadband Television) standard.

The development of this research contributes to enhancing the technological heritage of the country. As television is a widely used means of dissemination nowadays, its implementation is reflected as a clear benefit to different sectors of society. In addition, it promotes the growth of the technological sovereignty of the country, being a point of reference in the development of video games, virtual tours, or any other type of interactive content for Digital Television, since a characterization of the main attributes that such applications should have is created.

KEYWORDS: *software architecture, free software, interactive digital television.*

INTRODUCCIÓN

Se conoce como TVD (televisión digital) a un conjunto de tecnologías de transmisión y recepción audiovisual que emplea señales digitales en lugar de las analógicas tradicionales de la televisión (Zárate, 2012). Como se plantea en Amador-González (2018) y Sotelo, Joskowicz,

& Rondán (2018), la TVD presenta interesantes innovaciones respecto a la tradicional, como: varios formatos de transmisión, transmisiones simultáneas e interactividad.

Basados en Dávila (2012) y Millo, Morell, García, & Siles (2018), se puede afirmar que la interactividad permite a los canales de televisión ofrecer un conjunto de servicios adicionales, al incorporar funciones avanzadas de comunicación, participación y servicios sociales para el desarrollo de la informatización. Esta interactividad se clasifica en dos niveles: interactividad local e interactividad con canal de retorno (García-Crespo, Ruíz-Mezcua, González-Carrasco, & Cuadrado, 2012).

La televisión digital interactiva (TVDi) es un escenario emergente en ascenso, que brinda la posibilidad de transmitir contenidos informativos y recreativos utilizando este medio de gran penetración en la mayoría de los países del mundo. Entre los contenidos más llamativos se encuentra la multimedia interactiva, que incluye a los videojuegos y las visitas virtuales. En su conjunto ofrecen una verdadera experiencia integrada, que combina la televisión, el ordenador, la industria editorial y las telecomunicaciones.

Un producto multimedia interactivo permite al usuario iniciar y desarrollar un diálogo, consultar información y explorar, descubrir y adquirir nuevos conocimientos, por lo que destacan los grandes beneficios que brinda su uso en el ámbito de la Educación y el entretenimiento. Se considera una tecnología que promueve la creatividad, mediante los sistemas de computación. La producción y creación de sistemas virtuales reduce el derroche de recursos técnicos y económicos. Se enfoca en el uso de los recursos tecnológicos disponibles, sus avances y las herramientas multimedia, para desarrollar productos interactivos y sencillos, en los cuales, utilizando diversas técnicas de diseño y creatividad, se puede incluir mucho contenido informativo. Además, una interacción que exige del usuario facilita la atención, comprensión y retención de información de una forma intuitiva y espontánea.

Entre los productos en formato multimedia que existen en Cuba, destacan tres importantes colecciones de *software* educativos: la colección *Multisaber*, la colección *El Navegante* y la colección *Fututo* (De la Peña Sarracén, 2019), dirigidas a transmitir conocimiento de una forma más entretenida a los estudiantes de enseñanza primaria, secundaria y superior, respectivamente. Sistemas como estos constituyen un valioso medio de enseñanza-aprendizaje, que ofrece variadas perspectivas de proyección al proceso docente-educativo. Algunos brindan un enfoque curricular y multidisciplinario por su relación con los contenidos de los programas de cada asignatura y otros tributan a la formación de una cultura general integral. Sin embargo, no están preparados para desplegarse en el entorno masivo de la TVD, forma en la cual se pudiese hacer llegar a los hogares independientemente de su nivel adquisitivo.

En la actualidad la TVDi se utiliza principalmente para transmitir contenido multimedia que está controlado por empresas y corporaciones que responden a sus propios intereses, por encima del de los usuarios. Respecto a la Televisión Cubana, existen ciertas condiciones tecnológicas y económicas que influyen notablemente cuando se refiere a implementar la interactividad. Un primer punto es que solo es posible la interactividad local, debido a la ausencia de un canal de retorno, lo que hace la comunicación bidireccional inaplicable (Pina, Socorro,

Paredes, Amador, & Villarroel, 2019). Además, las cajas decodificadoras con que se cuenta a nivel de país para el uso de la población son de bajas prestaciones.

Por otro lado, el contenido útil con respecto al tema y a las tecnologías pertinentes está disperso en Internet, lo que dificulta que los interesados en desarrollar aplicaciones en este entorno puedan asimilarlo fácilmente. Adquirir una tecnología similar de una empresa extranjera implicaría un gasto económico importante, además de que no sería viable debido al bloqueo impuesto por el gobierno de Estados Unidos a Cuba (Ginsburg, 2022). Al mismo tiempo, las tecnologías privadas con que están desarrolladas no permiten adaptar los contenidos existentes a los entornos de bajas prestaciones con que cuenta el país, ni integrarlos con otras soluciones.

En este artículo se describe el estado del arte referente a la interactividad en la TVD y a soluciones existentes que tributen a la coexistencia entre distintas normas de televisión. Seguidamente, para lograr la interactividad deseada se plantea utilizar un sistema adecuado al estándar *Hybrid Broadcast Broadband TV* (HbbTV), que funcione de conjunto con las soluciones de radiodifusión actuales y se presentan los resultados obtenidos en los escenarios de visitas virtuales 360 y videojuegos educativos donde fue validado. El acceso a dicho sistema será mediante un dispositivo externo como un *smartphone*, *tablet* o utilizando un televisor inteligente o caja decodificadora que tenga disponibilidad de Internet y permita la comunicación cliente-servidor.

Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente, la investigación se basa en proponer una arquitectura adaptada a las condiciones tecnológicas de Cuba, que tribute a incorporar funcionalidades de interactividad avanzada en la TVD cubana.

El desarrollo del tema que se plantea se enfoca en proponer la arquitectura y desarrollar una primera implementación de esta en escenarios controlados, de modo que enriquecerá el patrimonio tecnológico del país a la vez que brinda independencia tecnológica, pudiendo convertirse en un referente en el desarrollo de multimedias, videojuegos, visitas virtuales y otro tipo de contenido interactivo para la TVD, ya que se abordarán los criterios considerados para desarrollar dichas aplicaciones.

El resto del documento está organizado de la siguiente forma: una «Metodología», que expresa una investigación de los antecedentes y el estado del arte, e ilustra la arquitectura propuesta y los escenarios en que se valida, mientras que en «Resultados» y «Discusión» se estudia la implementación del sistema en escenarios controlados y el análisis de los resultados. Por último, «Conclusiones» refleja las ideas a las que se ha llegado en la investigación y plantea el trabajo futuro.

METODOLOGÍA

ANTECEDENTES

Los sistemas *Integrated broadcast-broadband* (IBB) han demostrado ser una solución válida para permitir a los organismos de radiodifusión llevar al usuario final nuevos tipos de

contenidos emergentes (ITU-R). Dichos sistemas combinan servicios tradicionales con aplicaciones multifuncionales, similares a los servicios basados en la Web, razón por la cual disímiles radiodifusores europeos han comenzado a aprovechar estas nuevas oportunidades que brinda. Por ejemplo, está el caso de la *British Broadcasting Corporation* (BBC), que puso en marcha un nuevo sistema de pruebas para ayudar a los fabricantes a verificar las funcionalidades y el rendimiento de dispositivos HbbTV, para que las aplicaciones de televisión y los servicios de segunda pantalla se sincronicen con precisión con un programa o canal que se esté viendo en el televisor (Hammond, 2017).

El Grupo de Certificación HbbTV desarrolló una Aplicación de Operador HbbTV (OpApp), para permitir a los radiodifusores de televisión controlar la experiencia del usuario en dispositivos como *Set Top Box* (STB) y *Smart TV*, funcionando a través de diferentes ecosistemas y dispositivos, adecuados para cualquier medio de distribución (cable, terrestre y por satélite) (HbbTV-Certification-Group).

Es importante notar que IBB suele asociarse solamente a una norma de TVD, lo que da lugar a sistemas únicos (Gavrila, Popescu, Fadda, Anedda, & Murrioni, 2020). Para superar esta limitación, varios estudios han propuesto soluciones que permiten la coexistencia entre distintas normas de televisión. En Sotelo *et al.* (2018) se presenta un sistema de televisión híbrido que combina *International System for Digital Broadcast Television* (ISDB-T) y HbbTV, admitiendo diferentes tipos de mecanismos de sincronización entre la señal ISDB-T y las aplicaciones HbbTV asociadas. En Fam, Paquelet, Crussière, Hélar, & Brétilon (2016) los autores presentan una red híbrida para la prestación de servicios lineales en dispositivos portables y móviles, basado en la cooperación entre el sistema de radiodifusión (*broadcast*) y el de banda ancha (*broadband*). En Boronat, Marfil, Montagud, & Pastor (2018) se describe una plataforma para distribuir contenidos multimedia híbridos de extremo a extremo (*end-to-end*) en un escenario multidispositivo compatible con HbbTV, donde permite el uso de transmisión en vivo vía *HyperText Transfer Protocol* (HTTP) y protocolos de transporte en tiempo real (*Real-time Transport Protocols*), que no son soportados por el estándar HbbTV. Otro estudio (Hammershøj, Nowak, Hansen, & Stefanović, 2020) aprovecha la red de retorno terrestre y satelital en combinación con la conectividad a través de Internet para, a través de arquitecturas dinámicas de microservicios y el protocolo *Quick UDP Internet Connections* (QUIC), ampliar el alcance de las transmisiones televisivas a dispositivos como *smartphones* y *tablets*. Dichas investigaciones demuestran que es posible crear un sistema para añadir funciones de interactividad que funcione de conjunto con las soluciones de radiodifusión existentes.

En Pina, Álvarez, Villarroel, Amador, & Socorro (2018) se presenta una nueva solución de *software* que demuestra las posibilidades de la TVDi en un escenario real. La solución llamada TVC+ recoge información útil disponible en Internet y la integra con los servicios de TVDi. Algunas de sus funcionalidades ya se han desplegado en varios escenarios (Abásolo *et al.*, 2021), demostrando su utilidad en algunas áreas de los objetivos de Desarrollo Sostenible 2030 de la Organización de Naciones Unidas (ONU): Educación, Salud, Alimentación y Patrimonio (Desa, 2016). TVC+ permite la transmisión de contenido en el estándar de TVDi que se requiera.

Existen varios estándares técnicos que regulan el funcionamiento de un sistema de televisión interactiva. Basado en las investigaciones realizadas en Eslava (2014) y Frómeta (2021), el estándar HbbTV destaca por las múltiples ventajas con respecto a las demás tecnologías, por lo que resulta ideal para el desarrollo de aplicaciones interactivas en la TVD.

HbbTV se basa en un conjunto de estándares abiertos existentes, los cuales definen cómo se interactúa con los contenidos multimedia: *Open Internet Protocol Television-Declarative Application Environment* (OIPF-DAE), *Consumer Electronics Association* (CEA), *Digital Video Broadcasting* (DVB) y *World Wide Web Consortium* (W3C). Este va más allá de los estándares tradicionales, pues define los propios para las interfaces gráficas. El estándar OIPF-DAE define *Application Programming Interface* (APIs) de *JavaScript* para entornos de televisión, así como establece modificaciones al lenguaje *Consumer Electronics Association-HyperText Markup Language* (CE-HTML) para la creación de interfaces gráficas. CEA define las APIs para los servicios bajo demanda, así como el acceso a redes *Universal Plug and Play* (UpnP) e Internet. El estándar DVB define la capa de transporte y señalización de los contenidos interactivos y W3C define los estándares Web: *HyperText Markup Language* (HTML), *Cascading Style Sheets 3* (CSS), *JavaScript*, *Document Object Model* (DOM), entre otros, para la presentación de los contenidos interactivos. Con estos estándares, HbbTV logra que contenidos de diferentes proveedores y medios de transmisión sean accesibles a través de la misma interfaz y puedan ser procesados en dispositivos con bajas prestaciones. A su vez utiliza la especificación *Dynamic Adaptive Streaming over HTTP* (MPEG-DASH), con el fin de proveer soporte para el streaming adaptativo según las capacidades del cliente a través del protocolo HTTP. La transmisión de contenido con tasa de bits adaptativa es una de las características esenciales de HbbTV, logrando una mejor experiencia del usuario en redes de alta saturación o de baja velocidad (Jakšić *et al.*, 2017).

A varios años de publicado el estándar, numerosas organizaciones han creado soluciones para, generalmente, integrarlas con sus productos de *hardware*. Tal es el caso de Samsung, LG y Sony, que han combinado sus sistemas de *Smart TV* con HbbTV. Diversos proveedores de televisión, sobre todo en Europa, han comenzado a transmitir contenidos bajo el estándar HbbTV. Actualmente suman más de 30 países donde ha sido desplegado el estándar, destacando, además del mercado europeo, Rusia, Australia y Nueva Zelanda (HbbTV, 2022). Organizaciones gubernamentales, junto a estos proveedores, han creado recomendaciones y especificaciones con las características que deben tener los equipos receptores y los productos de *software* para ser vendidos en sus países.

ARQUITECTURA PROPUESTA

La arquitectura propuesta para permitir la incorporación de interactividad en la TVD cubana se basa en el estándar HbbTV, fundamentada por todas las ventajas mencionadas anteriormente.

Teniendo en cuenta que se requiere que el sistema posea un alto nivel de disponibilidad y que resulta sustancial que permita el aumento de sus funcionalidades, se decidió utilizar una arquitectura basada en microservicios. Esto contribuye a descomponer la aplicación en diferentes

servicios, con el objetivo de obtener una alta disponibilidad, bajo acoplamiento, descentralización y tolerancia a fallos. Otra de las ventajas que destaca es respecto a la escalabilidad del sistema: debido a que cada microservicio funciona de manera independiente al resto, se simplifica el proceso de adición, eliminación o modificación de los módulos que componen la aplicación. Esto permite que a medida que se desarrollan los componentes del sistema se vaya logrando un primer acercamiento a la implementación de esta solución, sin necesidad de ponerla en funcionamiento para todos los escenarios deseados desde el inicio. Por otra parte, permiten que la solución no esté anclada a una tecnología en particular, lo que propicia su evolución a medida que nuevas tecnologías emerjan sin afectar el despliegue del sistema. Para garantizar la calidad de las aplicaciones desarrolladas implementando esta arquitectura, se propone seguir los patrones de diseño *API Gateway* y *Saga*.

El patrón *API Gateway* crea para todos los clientes o aplicaciones externas un único punto de entrada, que gestiona las solicitudes, redirigiéndolas al servicio o servicios apropiados. Esta práctica facilita su integración con otros sistemas y permite cambiar y reorganizar los servicios sin afectar a las aplicaciones clientes.

El patrón *Saga* está orientado a resolver el reto de que los microservicios compartan datos y se comuniquen entre sí, debido a que cada microservicio se ejecuta de manera aislada y con una base de datos propia. Su implementación en el sistema plantea contar con un administrador de transacciones para gestionar y garantizar la integridad y consistencia de los datos entre microservicios. Cada transacción publica un evento o mensaje cuando actualiza la base de datos, acción que permite desencadenar el siguiente paso de la transacción y, si algún paso falla, poder deshacer las transacciones precedentes.

Como se mencionó, HbbTV define los estándares Web para la presentación de los contenidos interactivos a través de W3C. La misión de W3C es llevar la *World Wide Web* a su máximo potencial, mediante el desarrollo de protocolos y directrices que garanticen su crecimiento a largo plazo, elaborando especificaciones abiertas para mejorar la interoperabilidad de los productos relacionados con la Web (W3C, 2021). Esto implica que las tecnologías utilizadas para desarrollar los módulos de interactividad del sistema deben responder a este estándar, lo cual se logra con el uso de DOM3 y lenguajes de marcado, como HTML5, *Extensible Markup Language* (XML) o *Extensible HyperText Markup Language* (XHTML) asistido con CSS3 y *JavaScript*, mientras que para operaciones como el renderizado y cálculo gráfico en la *Graphics Processing Unit* (GPU) valida el uso de *Web Graphics Processing Unit* (WebGPU) y *Web Graphics Library* (WebGL). Igualmente, se debe prestar atención a que no demanden una alta capacidad de recursos de cómputo. Con base en estos criterios se puede realizar una selección tecnológica que se adapte a la arquitectura propuesta.

ESCENARIOS VALIDADOS

Con el objetivo de obtener una retroalimentación temprana respecto a la validación de la arquitectura propuesta, este artículo se enfoca en dos posibles escenarios a los que puede ser aplicada para lograr la interactividad en la TVD cubana.

En un estudio realizado en Yang, Lai, Fan, & Mo (2021) durante la propagación de la COVID-19, sobre cómo las visitas virtuales 360 pueden reducir el estrés psicológico de las personas, los resultados indicaron una disminución de estrés y aumento del disfrute, al participar en esta forma de realidad virtual. De forma similar, en Pallavicini, Pepe, & Mantovani (2021) se comprobó que el jugar videojuegos puede influir positivamente en reducir el estrés y la ansiedad en niños, adultos y adultos mayores, además de ser una potencial fuente de conocimientos según las características particulares del juego en cuestión. En consecuencia, se decidió que la arquitectura propuesta será validada en el escenario de las visitas virtuales 360 y los videojuegos.

Por tanto, se realizó un análisis de los marcos de trabajo fundamentales para el desarrollo de visitas virtuales 360 en un ambiente propicio para la TVD, de los que destacó *Three.js* para el manejo gráfico en el lado del cliente. La elección está basada en que es una biblioteca ligera de *JavaScript*, que posee mecanismos para la optimización de recursos, ventaja importante en el entorno de trabajo. Además, se mantiene actualizándose a menudo con nuevas funcionalidades, mejoras de estabilidad y corrección de errores, lo que garantiza el soporte técnico. Para el desarrollo del resto de la aplicación del lado del cliente se utilizó *React.js*, ya que al utilizar un DOM virtual permite gran rendimiento y utiliza en gran medida las funcionalidades de *JavaScript*.

De forma similar se realizó un análisis de las tecnologías disponibles para el desarrollo de videojuegos, donde resaltó la biblioteca de *JavaScript* *Pixi.js*. La decisión se basa en que es totalmente libre, necesita pocos requerimientos para su implementación y al ser multiplataforma es compatible con los disímiles sistemas operativos de los *Smart TV* y *STB*.

En el caso de la aplicación en el lado del servidor se decidió utilizar *Node.js* y *Nest.js*, fundamentado en que consumen considerablemente pocos recursos del sistema, comparado con otras opciones (*Asp.Net* o *Spring*); brinda una arquitectura de guía; utiliza *JavaScript* y facilita la realización de pruebas, ya que permite desarrollar aplicaciones utilizando poca cantidad de código.

En las figuras 1 y 2 se representan las propuestas para implementar el patrón *API Gateway* y *Saga*, respectivamente, en la aplicación de visitas virtuales 360. En el caso del patrón *Saga* se utiliza *RabbitMQ* como intermediario entre los eventos que publican los servicios al actualizar la base de datos.

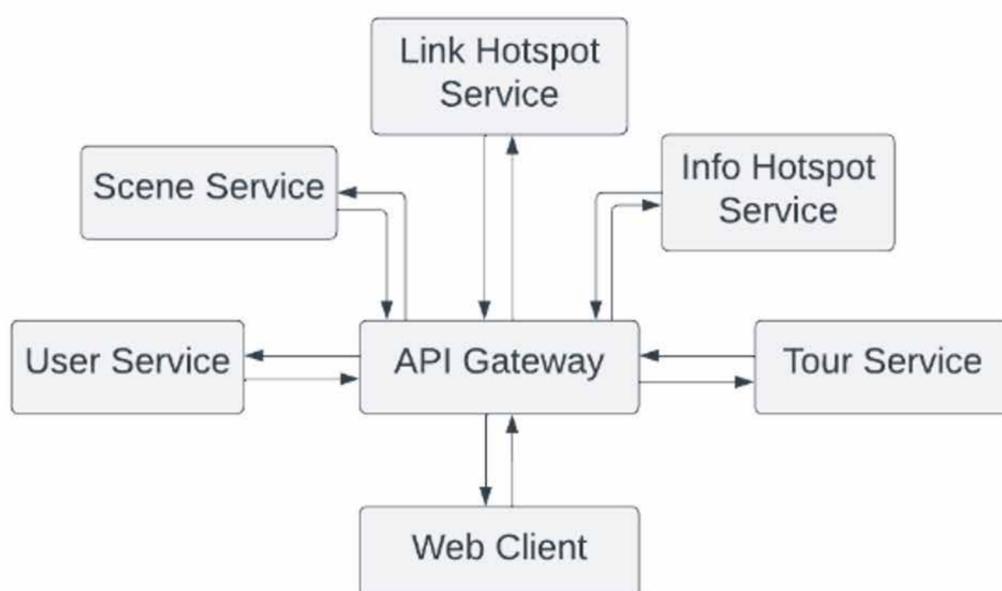


Fig. 1
Patrón de diseño *API Gateway*
para la aplicación de visitas
virtuales 360.

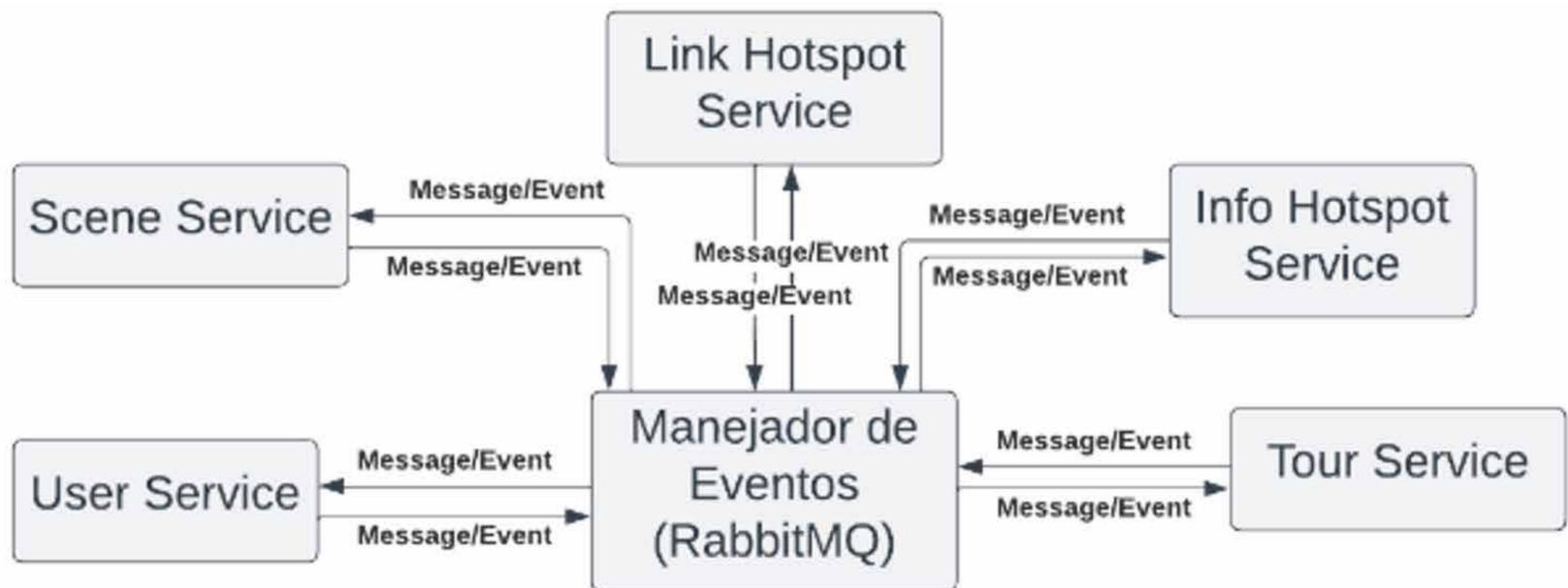


Fig. 2 Patrón de diseño Saga para la aplicación de visitas virtuales 360.

En la figura 3 se muestra el sistema representado en una arquitectura de estructuración en capas, con enfoque de reutilización, donde se pueden observar los diferentes paquetes que componen la solución. En la capa específica y general se muestran los paquetes particulares de la aplicación, las vistas con que el usuario interactuará, los modelos que comprenden las imágenes y recursos, y la lógica general del negocio junto a los útiles empleados; estos son los componentes menos reutilizables. En la capa intermedia se encuentran las bibliotecas y los marcos de trabajo utilizados como complemento en el desarrollo del sistema, creados por terceros y que pueden ser reutilizados para el desarrollo de aplicaciones similares. Por último, en la capa de *software* del sistema están contenidos los componentes propios del sistema operativo, como los protocolos que gestionan el acceso a los datos y recursos.

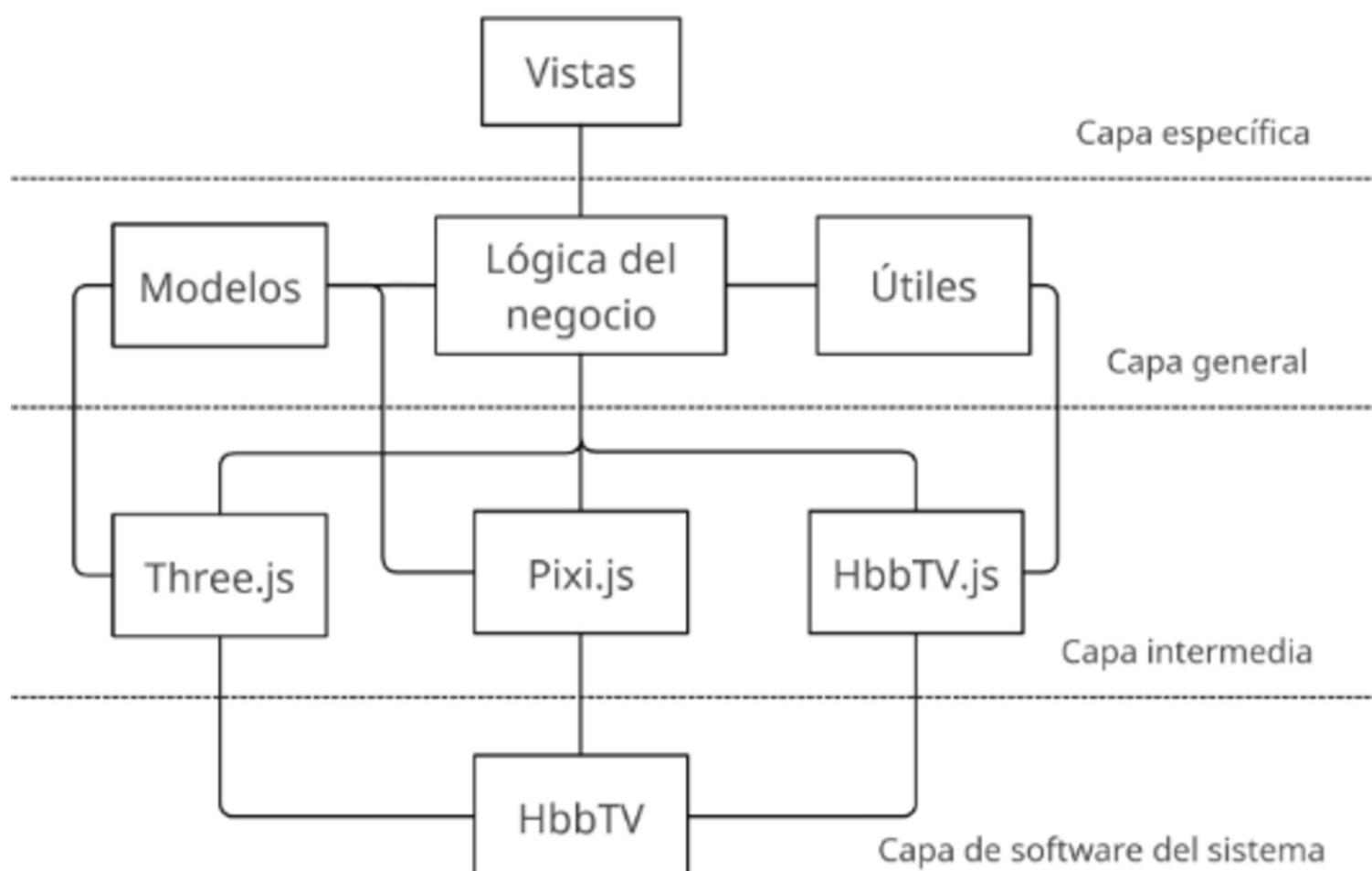


Fig. 3 Arquitectura de estructuración en capas con enfoque de reutilización.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para validar la arquitectura propuesta en los escenarios señalados, fueron desarrollados prototipos funcionales que permitieran comprobar su despliegue en un entorno cercano al real utilizando la tecnología seleccionada. Una vez desarrollados los prototipos se probaron en entornos controlados, como lo son computadoras de escritorio, móviles y *Single-Board Computer* (SBC). Como navegadores Web se utilizaron Mozilla Firefox, Google Chrome y Opera.

VISITAS VIRTUALES 360

En el escenario de las visitas virtuales 360 se desarrolló un sistema que permite la conformación y visualización de estas. En la figura 4 se muestran capturas de pantalla de su funcionamiento, tanto del editor como del visualizador. A la izquierda se observa el menú de inicio, donde se listan las visitas virtuales a las que el usuario tiene acceso y que puede visualizar, modificar o borrar. Desde esta vista también se puede crear una nueva visita virtual. A la derecha se muestra el editor y visualizador. El usuario puede conformar la visita virtual desde el editor, donde se crean las escenas y puntos de interés que la componen, mientras que para visualizar una visita virtual se utiliza una vista que propicia la inmersión del usuario en el recorrido, a la vez que permite interactuar con los elementos del entorno.

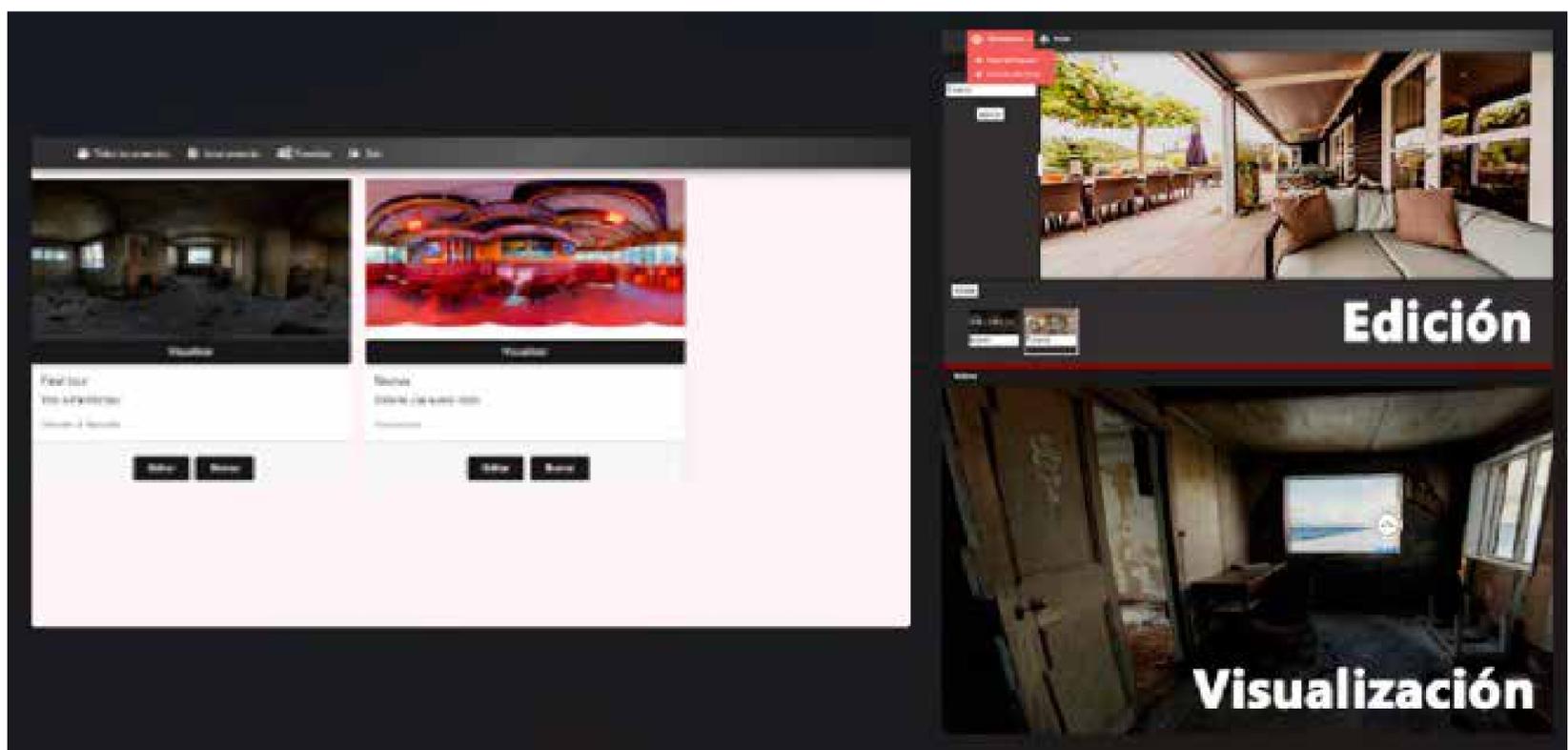


Fig. 4 Sistema para la conformación y visualización de visitas virtuales 360.

VIDEOJUEGO

En pos de promover el aprendizaje a través de los videojuegos se decidió que el prototipo que se iba a desarrollar fuera de lógica y conocimiento, con un enfoque de preguntas y respuestas. En función de esto, se crearon bloques de preguntas agrupadas por materia que el usuario debe responder correctamente para ganar. En la figura 5 se observa la vista donde se muestran las preguntas y el usuario realiza su elección. Cada partida inicia con tres vidas representadas

por corazones. Cuando el jugador conteste incorrecto una pregunta perderá un corazón; al reducirse a cero se da por terminado el juego. Si se logran contestar todas las preguntas de la materia sin perder todos los corazones se da por vencida la materia.



Fig. 5 Videojuego educativo (pantalla para la interactividad del usuario).

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con el desarrollo de estas aplicaciones, siguiendo la arquitectura propuesta en este artículo, queda demostrado satisfactoriamente cómo puede ser implementada la interactividad avanzada en la TVD cubana en los escenarios de visitas virtuales 360 y videojuegos. Es importante destacar que la investigación continuará en futuros estudios, que abordarán otros escenarios como el trabajo con segunda pantalla o videojuegos más complejos y se profundizará su validación en diversos entornos. Además, una vez que se cuente con cajas decodificadoras que admitan procesar este tipo de contenido, se validará la implementación de la arquitectura propuesta en este ámbito. Aun así, este primer acercamiento representa un paso de avance notable en el desarrollo de aplicaciones interactivas para la TVD, ya que sienta una base que los desarrolladores pueden seguir.

Al mismo tiempo, el uso de una arquitectura basada en microservicios permite añadir nuevas funcionalidades al sistema desarrollado, a la par que se reutilizan los elementos existentes, como útiles necesarios para la implementación de las aplicaciones siguiendo el estándar HbbTV. De igual manera brinda la posibilidad de sustituir las tecnologías utilizadas para implementar la interactividad, como *Three.js* y *Pixi.js*, por nuevas opciones que emerjan a medida que el desarrollo tecnológico avanza, sin afectar el despliegue del sistema ni el resto de los componentes de la aplicación, lo que contribuye a la mejora sostenida del sistema.

CONCLUSIONES

El estudio del estado del arte demostró la necesidad de contar con una arquitectura adaptada a las condiciones tecnológicas del país, que tribute a incorporar funcionalidades de interactividad avanzada en la TVD cubana. Esta investigación propone dicha arquitectura y desarrolla prototipos para comprobar su correcto funcionamiento en escenarios de visitas virtuales 360 y videojuegos.

La arquitectura propuesta está basada en el estándar HbbTV, por lo que las tecnologías que se van a utilizar para implementar la interactividad han de adecuarse al W3C y ser de bajo impacto a nivel de recursos. Tras el análisis de las tecnologías disponibles se decidió desarrollar la aplicación cliente encargada del manejo de la interactividad con *Three.js* para visitas virtuales 360 y *Pixi.js* para videojuegos, utilizando para el lado del servidor *Node.js* y *Nest.js*.

Los escenarios validados demuestran la factibilidad de la solución propuesta y, al utilizar una arquitectura basada en microservicios, se garantiza un bajo acoplamiento entre los componentes del sistema. Esto facilita que se puedan añadir nuevas funcionalidades a la par que se reutilizan elementos ya creados, resaltando así los beneficios obtenidos. A su vez, provee al sistema de la flexibilidad necesaria para sustituir los marcos de trabajo utilizados para implementar la interactividad, a medida que avanza el desarrollo tecnológico y nuevas opciones emergen, sin afectar otros módulos de la aplicación, contribuyendo así a su escalabilidad y mejora continua.

Por consiguiente, el presente estudio representa un gran aporte para el desarrollo de la TVDi en Cuba, ya que sienta una base que sirve de guía y apoyo para desarrollar aplicaciones interactivas en este entorno utilizando *software* libre.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todas las personas que brindaron su apoyo y dedicación durante la realización de este proyecto, en especial a Carlos Flores y Raulise A. Frómeta por su aporte y colaboración en la investigación y en el marco de desarrollo del *software*. También los autores desean agradecer el apoyo del Fondo Fiduciario Pérez-Guerrero para la Cooperación Sur-Sur (PGTF), del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP), proyecto INT/19/K08, y al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba (CITMA), proyecto NPN223LH006-005 de TVDi.

REFERENCIAS

Abásolo Guerrero, M. J., Rosado Álvarez, M. M., Silva, T., Pina, J., Socorro, R., Kulesza, R., Pesado, P. M. (2021). La Televisión Digital Interactiva para el mejoramiento de los pueblos latinoamericanos. Paper presented at the XXIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2021, Chilecito, La Rioja).

- Amador González, M. (2018). Módulo para la extracción de información de fuentes externas para la conformación de noticias en la televisión digital en Cuba. Bachelor thesis report Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría(CUJAE).
- Boronat, F., Marfil, D., Montagud, M., & Pastor, J. (2018). HbbTV-Compliant Platform for Hybrid Media Delivery and Synchronization on Single- and Multi-Device Scenarios. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 64(3): 721-746. doi:10.1109/TBC.2017.2781124
- Dávila Sacoto, M. A. (2012). Diseño de una plataforma de software para Televisión Digital interactiva de un canal de deportes utilizando GINGA-NCL LUA.
- De la Peña Sarracén, E. (2019). El Módulo Juegos de la Colección El Navegante en su versión multiplataforma. Paper presented at the [2019-MADRID] Congreso Internacional de Tecnología, Ciencia y Sociedad.
- Desa, U. (2016). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development.
- Eslava Arce, I. (2014). Estudio del estándar de televisión digital interactiva HbbTV e implementación de aplicación final.
- Fam, P. A., Paquelet, S., Crussière, M., Héland, J. F., & Brétilon, P. (2016). Analytical Derivation and Optimization of a Hybrid Unicast-Broadcast Network for Linear Services. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 62(4): 890-902. doi:10.1109/TBC.2016.2593403
- Frómata García, A. (2021). Diseño y desarrollo de videojuego de corte educativo en entorno interactivo de TV digital. Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE),
- García Crespo, A., Ruíz Mezcua, B., González Carrasco, I., & Cuadrado, J. L. L. (2012). Servicios Interactivos y Accesibilidad en la Televisión Digital, una Oportunidad para Reducir la Brecha Digital. *Rev. Iberoam. de Technol. del Aprendiz.*, 7(2): 86-93.
- Gavrila, C., Popescu, V., Fadda, M., Anedda, M., & Murrioni, M. (2020). On the suitability of HbbTV for unified smart home experience. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 67(1): 253-262.
- Ginsburg, M. (2022). ECONOMIC AND MEDIA WAR AGAINST SOCIALIST SOCIETIES THE CASE OF US-CUBAN RELATIONS. *International Journal of Cuban Studies*, 14(2): 272-308. Recuperado de: <https://www.jstor.org/stable/48710326>
- Hammershøj, A., Nowak, A., Hansen, J. K., & Stefanović, Č. (2020). The Next-Generation Television Broadcasting Test Platform in Copenhagen. Paper presented at the 2020 13th CMI Conference on Cybersecurity and Privacy (CMI)-Digital Transformation-Potentials and Challenges (51275).
- Hammond, M. (2017). Release of HbbTV/DVB Companion Synchronisation Tools and Streams - BBC R&D. Recuperado de: <https://www.bbc.co.uk/rd/blog/2017-05-second-screen-streams-tools-companion>
- HbbTV-Certification-Group. The Benefit of HBBTVOPAPP for Operators and Vertical Models - The Open Standard for a Unified TV Experience Across Different Platforms. Recuperado de: <https://www.hbbtv.org/wp-content/uploads/2018/09/HbbTV-MG-00632-003-WhitepaperHbbTVOpApp-v1.1.pdf>
- HbbTV. (2022). HbbTV Deployment Countries. Recuperado de: <https://www.hbbtv.org/deployments/>

- ITU-R. Integrated broadcast-broadband Systems in Report ITU-R BT.2267-10. Recuperado de: <https://www.itu.int/dmspub/itu-r/opb/rep/R-REP-BT.2267-6-2016-PDF-E.pdf>
- Jakšić, B., Milošević, I., Petrović, M., Ilić, S., Bojanić, S., & Vasić, S. (2017). Characteristics of hybrid broadcast broadband television (HbbTV). *Bulletin of Natural Sciences Research*, 7(1).
- Millo Sánchez, R., Morell Pérez, C., García González, C., & Siles Siles, I. (2018). La interactividad en la Televisión Digital: su desarrollo en Cuba. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 12(1): 205-219.
- Pallavicini, F., Pepe, A., & Mantovani, F. (2021). Commercial off-the-shelf video games for reducing stress and anxiety: systematic review. *JMIR mental health*, 8(8): e28150.
- Pina Amargós, J., Álvarez Goenaga, D., Villarroel Ramos, D., Amador González, M., & Socorro Llanes, R. (2018). New functionalities of digital terrestrial television in cuba to contribute to the informatization of society. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 12: 158-172.
- Pina Amargós, J. D., Socorro Llanes, R., Paredes Miranda, D., Amador González, M., & Villarroel Ramos, D. L. (2019). Incorporation of immediacy, dynamics and interactivity to digital terrestrial television services in Cuba through TVC+. Paper presented at the Iberoamerican Conference on Applications and Usability of Interactive TV.
- Sotelo, R., Joskowicz, J., & Rondán, N. (2018). An Integrated broadcast-broadband system that merges ISDB-T with HbbTV 2.0. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 64(3): 709-720.
- W3C. (2021). World Wide Web Consortium.
- Yang, T., Lai, I. K. W., Fan, Z. B., & Mo, Q. M. (2021). The impact of a 360 virtual tour on the reduction of psychological stress caused by COVID-19. *Technology in Society*, 64: 101514.
- Zárate Torres, D. J. (2012). Diseño e implementación de una aplicación interactiva para educación a distancia: T-learning a través de un canal TDT universitario y un canal IPTV en la ciudad de Lima.

