

Juego en la nube: un estado del arte¹

Cloud gaming: a survey

Jogo nas nuvens: um estado da arte

F.D. Trejos y N. Alzate

Recibido Febrero 20 de 2016 – Aceptado Mayo 30 de 2016

Resumen— Los videojuegos se han convertido en un mercado que se ha expandido con rapidez, sin embargo para ejecutar los videojuegos actuales, se requiere de un computador o consola de última generación, donde el primero, aunque tiene un mejor desempeño gráfico, requiere actualizaciones de hardware que conllevan a costos mayores. Lo anterior puede evitarse con la implementación de nubes basadas en videojuegos, donde los servidores brindan el poder de procesamiento central y gráfico principalmente a los aplicativos con altos requerimientos, permitiendo que todo usuario con conexión a internet pueda ejecutar en cualquier tipo de dispositivo videojuegos exigentes gráficamente de forma remota, sin la necesidad de preocuparse por los requisitos de hardware de éstos. Este paradigma se conoce como juego en la nube. En este paradigma existen diversas plataformas y servicios, en su mayoría soluciones privadas, creadas para minimizar la latencia que experimenta el usuario final, aunque con poca documentación de ellos.

Este artículo presenta un estado del arte del juego en la nube, con el fin de aportar a la documentación y presentar campos de investigación en esta tecnología.

Palabras clave—juego en la nube, juego como servicio, GaaS, juego remoto, RR-GaaS, LR-GaaS, CRA-GaaS.

Abstract—Video games have become a market that has been expanded rapidly, however running the current games requires a computer or console of last generation, where the first has better graphics performance but demands hardware upgrades which lead to higher costs. This can be avoided with

the implementation of cloud-based video games, where servers provide the power of the central and graphics processing mainly to applications with high requirements, allowing that any user with an internet connection can execute in any type of device, graphically-demanding games remotely without worrying about their hardware requirements. This paradigm is known as cloud gaming. In this paradigm there are several platforms and services, mostly private solutions, created to minimize latency experienced by the end user, but with little documentation of them.

This article presents a survey about cloud gaming, in order to contribute to the documentation and show research fields of this technology.

Key words — cloud gaming, game as a service, GaaS, remote gaming, RR-GaaS, LR-GaaS, CRA-GaaS.

Resumo Os videogames se converteram num mercado que se expandiu com rapidez, mas para poder se executar os videogames atuais requer-se um computador ou consola de última geração, onde o primeiro apesar de que possui um melhor desempenho gráfico, requer atualizações de hardware que elevam seu custo. O anterior pode ser evitado com a implementação de nuvens baseadas em videogames onde os servidores brindam o processamento central e gráfico de aplicativos de altos requerimentos gráficos permitindo que todo usuário com conexão a internet possa executar em qualquer tipo de dispositivo videogames exigente graficamente de forma remota, sem a necessidade de se preocupar pelos requisitos de hardware que são necessários.

Este paradigma é conhecido como jogo na nuvem. Neste paradigma existem diversas plataformas e serviços, na sua maioria soluções privados, criadas para minimizar a latência que experimenta o usuário final, ainda com pouca documentação sobre eles. Este artigo apresenta um estado da arte do jogo na nuvem com o fim de aportar para a documentação e apresentar campos de pesquisa nesta tecnologia.

Palavras chave – Jogo na nuvem, jogo com serviço, GaaS, jogo remoto, RR- GaaS, LR- GaaS, CRA- GaaS

¹Producto derivado de los resultados parciales del proyecto de investigación “Implementación de una plataforma de juego en la nube en una red definida por software configurada en GENI”. Presentado por el Semillero de Investigación ENGINET, de la Universidad Católica de Pereira.

F. D. Trejos, estudiante de noveno semestre de Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Pereira, Pereira (Colombia); email: frannier.trejos@ucp.edu.co

N. Alzate, docente de la Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería de la universidad Católica de Pereira, Pereira (Colombia); email: nestor.

I. INTRODUCCIÓN

Como resultado de los recientes avances en cloud computing (computación en la nube) [1, 2] y en los centros de datos, se ha producido un aumento significativo en la demanda de servicios que estos pueden ofrecer, ya que la centralización de los recursos y los procesos de cálculo de los centros de datos crean soluciones de bajo costo y flexibles para una gran cantidad de aplicaciones. El cloud gaming (juego en la nube) es una de las aplicaciones que puede beneficiarse de los avances de la computación en la nube [3], permitiendo ofrecer un juego como servicio (game as a service o GaaS), donde el servidor se encargará de todas las tareas de procesamiento de un videojuego y vía streaming el cliente podrá acceder remotamente a él.

Esto permite el acceso a juegos sin necesidad de una videoconsola o equipo de última generación, y en gran medida hace que la capacidad de la computadora del usuario sea irrelevante, ya que en el servidor se ejecutan las necesidades de procesamiento. Tanto las acciones de configuración como las pulsaciones de los botones, por parte del usuario, de periféricos como un mouse, teclado o joystick, se transmiten directamente al servidor, donde se registran y éste envía de vuelta la respuesta del juego a los controles de entrada del jugador. Este proceso debe funcionar velozmente, para asegurar menos de una milésima de segundo de retraso [4], con el fin de permitir una experiencia de juego satisfactoria.

Un motivo por el cual se creó esencialmente el juego en la nube, fue porque debía existir una solución en la cual se pudieran virtualizar altos requerimientos gráficos con la mayor fluidez posible, en entornos donde no sólo importaba tener el menor retardo posible sino el mejor procesamiento gráfico.

Este artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección II se habla de la historia del juego en la nube donde se resaltan algunos antecedentes importantes en los inicios de esta tecnología, en la sección III se muestran las arquitecturas básicas de un sistema de juego en la nube, en la sección IV y V se listan diferentes plataformas y sistemas de juegos en la nube respectivamente, en la sección VI se dan a conocer investigaciones sobre la optimización de sistemas de éste tipo, en la sección VII se expresan los desafíos. Y finalmente en la sección VIII están las conclusiones.

II. HISTORIA

Los primeros indicios de investigación del juego en la nube datan del año 2000 por la empresa finlandesa G-Cluster [5] en la “Electronic Entertainment Expo” (Exposición de Entretenimiento Electrónico) mostrando un prototipo de esta tecnología, y fue sólo hasta el año 2005 cuando se implementó por primera vez un servicio comercial de juego en la nube para “Cyprus Telecommunications Authority” en una red IPTV [6], por lo cual la aplicación de esta tecnología es reciente. En marzo de 2008 G-cluster anunció la inclusión de soporte para alta definición en su solución con Amino STB IPTV. En noviembre de 2010, después de pruebas a fondo, el operador francés SFR lanzó un servicio comercial basado en la tecnología G-cluster [7]. El 11 de octubre de

2012 Orange lanzó un servicio de juego bajo demanda utilizando la tecnología G-Cluster.

Aparte de G-Cluster, se crearon otras empresas de juego en la nube de uso exclusivamente comercial o privado, como se mostrará a continuación:

En el 2008 la empresa denominada Gaikai [8], transmitió demos de videojuegos que se podían acceder por un navegador, con la posibilidad de ingresar al videojuego completo pagando una cantidad de dinero.

En el año 2009, el juego en la nube fue difundido por diferentes compañías de videojuegos bajo demanda, como OnLive, Gaikai y Playcast en la “Game Developers Conference” (Conferencia de Desarrolladores de Juegos) [4]. OnLive empezó a comercializar su servicio de juego bajo demanda en el año 2010 con un catálogo de videojuegos y diferentes capacidades de Juego en la Nube alojados desde sus servidores, con bajos requerimientos de procesamiento y posibilidad de jugar desde dispositivos móviles por medio de internet. En Abril de 2013 se creó la primera plataforma de juego en la nube de código abierto “GamingAnywhere” [9].

Las empresas más populares que han ofrecido este servicio como Gaikai, OnLive, Playcast, CiiNow, entre otras [10], han sido compradas y asimiladas por otras empresas como Sony, Microsoft, Amazon y Google para uso privado.

III. ARQUITECTURA

Cai, et al. [11] muestran la estructura modular de un juego en línea convencional, la cual se explica a continuación para tener claridad de las arquitecturas que se crean con el fin de optimizar este diseño. Consta de cuatro módulos principales (Fig 1):

- Módulo de entrada (input module): recibe la información de control del jugador, por ejemplo las pulsaciones de un teclado.
- Módulo de la lógica del juego (game logic module): es el encargado de la manipulación de contenidos del juego, tiene componentes que se invocan entre sí e interactúan con la interfaz de red, motor de renderizado, y la interfaz de E / S para facilitar el procesamiento del juego.
- Módulo de red (networking module): intercambia información mediante el servidor del juego, por ejemplo cómo los avatares interactúan con los demás.
- Módulo de presentación (rendering module): renderiza el videojuego y lo presenta al jugador.

Las flechas rojas en la Fig. 1 demuestran una interacción entre el jugador y el sistema de juego durante una sesión de juego. El módulo de entrada transmite las instrucciones del jugador al componente 5, después la información procesada se entrega al componente 7, que invoca el módulo de red para llevar a cabo el intercambio de información. Después del procesamiento sucesivo por los componentes 6 y 3, el módulo de representación genera y transmite el vídeo a la pantalla de juego del jugador.

Así que, ¿cuál es la esencia de un juego basado en la nube desde esta perspectiva? Los tres cortes gráficos de la

Fig 1 ilustran la respuesta. El corte 1 demuestra que todos los módulos están implementados en el terminal (por ejemplo un computador), mientras que el módulo de red es la interfaz entre los clientes del juego y el servidor de juego en línea. En este caso, la nube se utiliza sólo como un servidor de intercambio de información, que es el diseño tradicional de los juegos en línea. El corte 2 va a otro nivel: el terminal contiene sólo el módulo de entrada, mientras que los hosts de la nube tienen todos los módulos y componentes restantes, haciendo que el video en tiempo real del juego se transmita al jugador a través de internet, este modelo se denomina Remote Rendering GaaS (Renderización a distancia) o RR-GaaS [12].

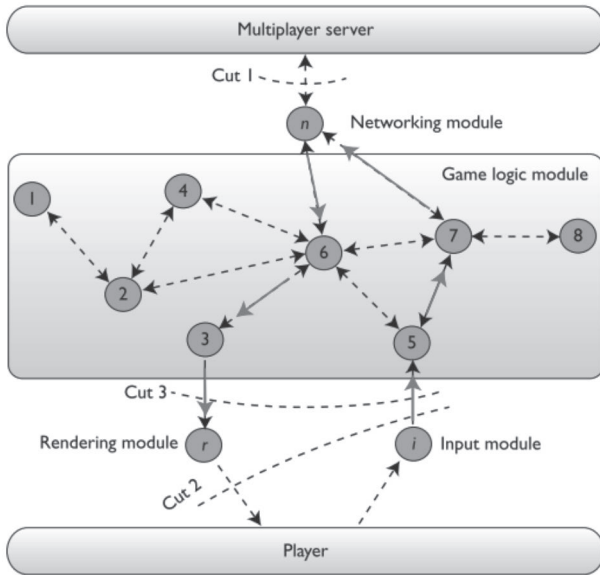


Fig. 1. Un sistema modular de cloud gaming [11]

El corte 3 ilustra otra idea de diseño: la entrada y módulos de representación se ejecutan en el terminal, mientras que los otros módulos se ejecutan en la nube, este enfoque se denomina Local Rendering GaaS (Renderización local) o LR-GaaS [11, 13]. De acuerdo con estos cortes, podemos ver que la esencia del juego en la nube es aprovechar los recursos de esta para ejecutar varios módulos de juegos, lo que reduce la carga de trabajo y aumenta la eficiencia del terminal.

A continuación se hará una descripción de las arquitecturas anteriores: RR-GaaS, LR-GaaS y una nueva propuesta denominada CRA-GaaS:

A. RR-GaaS

RR-GaaS es el modelo de servicio para juego en la nube más maduro. Empresas como OnLive, Gaikai, y G-Cluster han proporcionado GaaS comercializados al público, siguiendo un modelo de negocio donde se ejecuta un código fuente en una plataforma que posee juegos, administrada por un proveedor de servicios cloud y luego se entregan los fotogramas de video a los dispositivos de los usuarios a través de algún software ligero.

La Fig. 2 muestra la arquitectura de este modelo. La nube virtualiza un entorno de ejecución e inicia una instancia de juego (Game instance) una vez recibe una solicitud de conexión de un jugador, la instancia es representada como un flujo de datos, incorpora el video del juego en tiempo real en la nube, y registra la captura y procesamiento del video cuadro por cuadro. A continuación, el servidor de juego en la nube codifica y posteriormente transmite las tramas de video al terminal del jugador. Estas tramas codificadas se reconstruyen en el decodificador de video del terminal del cliente y el reproductor de video las muestra en la pantalla. A la inversa, como lo ilustra el flujo de control, el controlador registra las entradas del usuario y la terminal los transmite al servidor de la nube después de una codificación previa, el servidor de la nube recibe estas señales codificadas y los decodifica en las entradas de control de las instancias del juego, para que haya una interacción del jugador con el juego alojado en la nube.

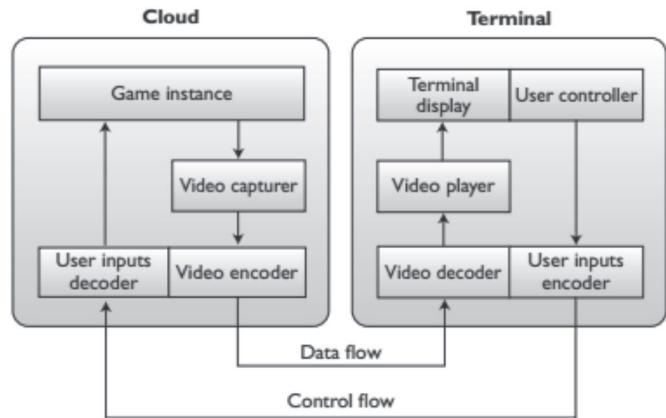


Fig. 2. Arquitectura del modelo RR-GaaS [11]

B. LR-GaaS

En este modelo se tienen mejoras de rendimiento de hardware en los terminales que accederán al juego, incluyendo dispositivos móviles, se pueden realizar reproducciones complejas de escenas de juego, dado que el módulo de representación está implementado en el terminal del juego para eliminar la carga de la transmisión de video en tiempo real en la red.

En la Fig. 3 se puede observar la arquitectura para LR-GaaS [14]. En el flujo de datos, el videojuego no se renderiza en el servidor de la nube, en su lugar la lógica del juego genera un conjunto de instrucciones de la pantalla para representar los gráficos del juego y los envía a la terminal a través de internet. El terminal interpreta la instrucción de la pantalla con un conjunto de instrucciones designadas y renderiza el video del juego localmente en el terminal. El flujo de control inverso es similar al del modelo RR-GaaS.

El beneficio más destacado para el sistema LR-GaaS es que el servidor de la nube ya no tiene que transmitir tramas de video juegos en tiempo real a los terminales por medio de internet, lo que reduce significativamente la carga de trabajo de la red. Este modelo se ha aplicado principalmente en

juegos de navegador [15], ya que el navegador es un cliente ligero que se encuentra en la mayoría de computadoras y dispositivos móviles. Se usan principalmente plugins, librerías, scripts o motores de juego para aumentar la capacidad de renderización de los navegadores, por ejemplo Adobe Flash, Unity Web Player, Java Applet, Akihabara, ammo.js, entre otros.

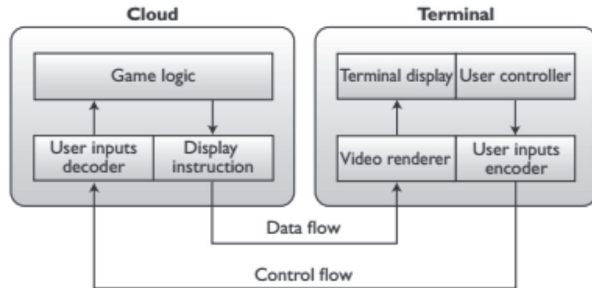


Fig. 3. Arquitectura del modelo LR-GaaS [11]

C. CRA-GaaS

La diferencia intrínseca entre RR-GaaS y LR-GaaS es el entorno de ejecución del módulo de renderizado, como los cortes 2 y 3 de la figura 1 indican. Por lo anterior se creó otro modelo llamado Cognitive resource allocation GaaS (Asignación de recursos cognitiva GaaS) o CRA-GaaS, el cual ofrece una mayor flexibilidad al adaptar el servidor de juego en la nube para diversas circunstancias y mejorar así la estabilidad de la red [16].

Este modelo tiene un conjunto de componentes interdependientes que se ejecutan en el servidor de la nube o en el terminal del cliente, según lo determinado por las condiciones actuales del terminal y su conexión a internet. En otras palabras, tiene capacidades cognitivas que permiten a la plataforma de juego en la nube seleccionar combinaciones de componentes óptimos, de acuerdo con el contexto del sistema o de factores externos, para así proporcionar un GaaS de alta eficiencia.

La Fig. 4 muestra la arquitectura de este modelo (CRA-GaaS):

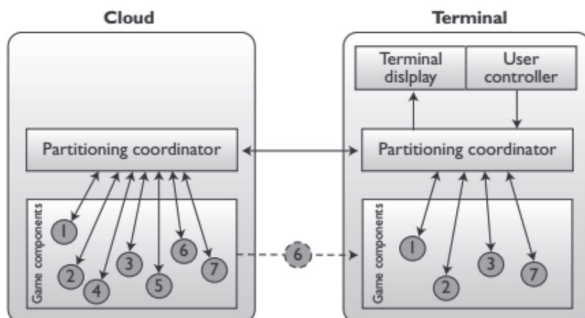


Fig. 4. Arquitectura del modelo CRA-GaaS [11]

Los programas o juegos son modularizados como componentes, que pueden migrar de la nube al dispositivo del usuario durante una sesión de juego y concatenarse dinámicamente entre sí para formar un juego completo. Es decir, el terminal puede traer y ejecutar un conjunto de

componentes redundantes del juego desde la nube para reducir así la carga de los servidores.

IV. PLATAFORMAS DE JUEGO EN LA NUBE

En un enfoque simple para soportar un juego en la nube se debe usar un cliente de streaming, y aunque existen clientes ligeros de streaming de escritorio genéricos como LogMeIn, TeamViewer y UltraVNC, éstos alcanzan velocidades bajas de fotogramas, provocando una mala experiencia del usuario y juegos relativamente lentos. Por ello se requiere de un cliente ligero diseñado específicamente para tener menos retardos y más fluidez, estos existen en las plataformas de juego en la nube, las cuales se encargan del procesamiento y codificación de las escenas del juego, incluyendo la entrada del usuario y la transmisión de video desde el servidor.

Sin embargo, el juego en la nube tiene poca investigación debido a su uso primordialmente privado [9], ya que existen pocas plataformas [17] que puedan ofrecer este servicio y están limitadas con ciertos sistemas operativos en el servidor o el cliente, hardware, funcionalidades y costos. Pese a lo anterior existen dos plataformas de código abierto: GamingAnywhere y MoonLight Game Streaming. En la tabla 1, se pueden observar algunas características de plataformas de éste tipo:

TABLA 1

TABLA COMPARATIVA DE ALGUNAS PLATAFORMAS DE CLOUD GAMING

Nombre	Estado	Sistemas operativos	Precio
Gaming Anywhere [9]	Activo - Código abierto	Server: Windows 7 o superior, OS X, Linux Cliente: Windows XP o superior, OS X, Android 4.1+, Linux	Gratis
Moonlight Game Streaming [18]	Activo - Código abierto	Servidor: Windows 7 o superior, OS X, Cliente: Windows XP o superior, OS X, Android 4.1+	Freeware
Steam In-Home Streaming [19]	Activo - Propietario	Server: Windows Vista o superior Cliente: Windows Vista o superior, OS X, Steam OS, Linux	Freeware
Remote Play [20]	Activo - Propietario	Servidor: PlayStation 3 ó 4 Cliente: PlayStation Vita, PlayStation TV, Sony Xperia	Freeware
Ubisoft GameCloud [21]	Activo - Propietario	Server: Windows Vista o superior Cliente: Windows Vista o superior, Smart TVs, OS X, Android	N/A
StreamMy Game	Inactivo	Server/Cliente: Windows XP o superior, Linux	Premium: \$9.99 por año Ilimitado: \$19.99 por año
Cloud Gaming eXtreme	Activo	Server: Windows Vista o superior, Windows Server 2012 R2 Cliente: Windows XP o superior, OS X, Linux, Android, iOS, navegador web	\$0.30 por hora con Amazon Web Services
Nvidia GRID y Game Stream [22]	Activo	Servidor: Windows 7 o superior, OS X, Cliente: Nvidia Shield	\$9.99 al mes

Con base en la tabla anterior, se describirán las plataformas de juego en la nube más características en orden de importancia, tomando como criterio su usabilidad, popularidad y nivel de configuración:

A. *GamingAnywhere*

Es una plataforma de juego en la nube extensible, portable y tiene capacidad de reconfiguración debido a que se tiene acceso a su código fuente, con posibilidad de instalarse en un servidor Windows, Linux y OS X, y accederse desde un cliente de los sistemas operativos anteriores incluyendo iOS y Android. Fue el producto de la investigación de Huang Hsu & Chen [9].

B. *Nvidia GameStream y Moonlight Game Streaming*

Nvidia GameStream es una plataforma que transmite los juegos de un computador con sistema operativo Windows o Mac a un dispositivo NVIDIA SHIELD. Para ello, aprovecha la potencia de tarjetas gráficas GeForce GTX que envían las imágenes en streaming [23].

Moonlight (anteriormente conocido como Limelight) es una implementación de código abierto del protocolo de GameStream de NVIDIA, con la diferencia que el cliente puede ser cualquier dispositivo con Android, Windows o Linux, y éste es gratuito.

C. *Steam In-Home Streaming*

Es una funcionalidad del cliente de Steam que permite hacer streaming de videojuegos (uno a la vez), pero el servidor solamente puede tener sistema operativo Windows.

D. *Remote Play*

Es un servicio de Sony, por el cual se puede acceder a un juego de Playstation 3 ó 4 vía streaming en una red local, a través de una Playstation TV y Vita o con un Sony Xperia que sea soportado por la marca.

V. SERVICIOS DE JUEGO EN LA NUBE

Un servicio de juego en la nube se refiere a una plataforma comercial que brinda contenidos de videojuegos con diferentes características al público, por medio de una suscripción o forma de monetización que debe pagar el usuario, se accede a estos juegos con un cliente ofrecido por la empresa. Este tipo de plataformas normalmente tiene convenios con las empresas desarrolladoras de videojuegos, ya que ofrecen juegos de forma masiva. Estos servicios aunque son plataformas de juego en la nube, tienen un servicio completamente consolidado, el cual no se puede personalizar ni configurar para que el usuario pueda crear su propio sistema de juego en la nube, por lo cual no se incluyó en la sección anterior. Los servicios de este tipo más conocidos son los siguientes:

A. *OnLive*

OnLive fue un sistema de distribución de videojuegos bajo demanda de alquiler (se puede alquilar el juego durante unos días hasta 3 años o ilimitadamente) que fue estrenado en

Estados Unidos el 17 de Junio de 2010. El servicio que ofrecía la compañía equivalía a usar la computación en la nube para acceder a juegos guardados en sus servidores, encargándose así del procesamiento, renderizado y almacenado en línea, tal como lo ilustra la Fig. 5. El servicio era compatible con cualquier Mac basado en Intel, computadores con Windows Vista o Windows 7, celulares con Android o iOS y también se transmitían los juegos a través de una consola llamada “OnLive MicroConsole” conectada a un televisor. Para poder acceder al servicio se requería de una conexión de banda ancha mínimo de 1.5Mbps para una calidad de imagen similar a Wii, mientras que se requerirán 4-5Mbps para obtener alta resolución.

La empresa tenía convenios con diferentes marcas como Electronic Arts, Take-Two Interactive, Ubisoft, Epic Games, Atari, Codemasters, THQ, Warner Bros., 2D Boy y Eidos Interactive. En diciembre 10 del 2010, OnLive obtuvo una licencia para juego en la nube por parte de la oficina de patentes de Estados Unidos.

El 5 de abril de 2015, fue realizada la compra de OnLive por parte de Sony, adquiriendo todos los patentes de OnLive y programando el cierre del servicio para el 30 de abril del 2015 [24].



Fig. 5. Modelo del juego como servicio de OnLive [25]

B. *Gaikai*

Gaikai era un servicio de juego basado en la nube que permitía a los usuarios jugar demos de los juegos y aplicaciones de PC más importantes de forma instantánea y gratuita desde una página web o dispositivo conectado a internet. Al final del demo, el cliente tenía la opción de comprar el juego o producto a un distribuidor local, tienda en línea, descarga digital o continuar con el streaming del producto con un pago por uso.

La tecnología propietaria de Gaikai funcionaba en parte mediante el uso de plug-ins instalados previamente tales como Java o Adobe Flash. Un video de demostración del servicio en la GDC San Francisco 2010 mostró Call of Duty 4: Modern Warfare, World of Warcraft, EVE Online, Spore, Mario Kart 64 y Adobe Photoshop todos ejecutándose en Adobe Flash Player [26]. El 2 de julio de 2012, Sony Computer Entertainment anunció que había alcanzado un acuerdo para adquirir el servicio basado en la nube por un equivalente a 380 millones de dólares estadounidenses y se cerró la compañía.

C. Playstation Now

PlayStation Now (PS Now) [27] es un servicio de juego en la nube desarrollado por Sony Interactive Entertainment y Gaikai. Los usuarios de este servicio pagan por el acceso a una selección de juegos originales de PlayStation 3, a través de una suscripción o alquiler de juegos por un tiempo limitado. PS Now es compatible con los diferentes productos de Sony como Playstation Vita, Playstation TV y algunos Smart TV de la marca. Para el correcto funcionamiento del servicio se requiere una de un control DualShock 3 ó 4 y una conexión a Internet de mínimo 5 Mbps.

D. GameNow

Es un servicio de juegos en la nube impulsado por Ubitus, ofrece acceso a un catálogo de juegos bajo demanda en línea a través de un software de la empresa, con la posibilidad de probar de forma gratuita juegos antes de comprarlos. GameNow está disponible en una amplia gama de dispositivos Over-the-Top (OTT), incluyendo Smart TV, Google TV, PC y Mac. Además de eso, una versión móvil de GameNow está disponible exclusivamente para usuarios de Verizon Wireless LTE para disfrutar del mismo nivel de calidad de consola de juegos directamente desde sus redes LTE.

E. Gamefly

GameFly es una empresa americana de alquiler de videojuegos, que tiene un servicio de suscripción que da acceso a un suministro específico de discos de videojuegos, enviando éstos a la casa del usuario. Posee un servicio de streaming de videojuegos especializado para Smart TV's de LG, Samsung y Philips, por medio de una cuota mensual, disfrutando de una colección de juegos sin necesidad de tener una consola conectada. Para una calidad de imagen estándar (SD) requiere de una conexión mínima de 4 Mbps, para obtener una calidad de alta definición (FHD), necesita 8 Mbps. Sólo está disponible para Smart TV's [28].

VI. INVESTIGACIONES DE JUEGO EN LA NUBE

Hong, et al. [29] y Chen, et al. [30] hablan de la complejidad de lograr un equilibrio entre la calidad de experiencia del usuario (QoE) y el beneficio del proveedor de servicio de juego en la nube, por lo cual estudió el problema de la optimización de un sistema de este tipo usando diferentes métricas de QoE y rendimiento en máquinas virtuales. Los autores propusieron un algoritmo de juego en la nube para infraestructuras dedicadas, presentando un sistema prototipo y unas pruebas en un software de virtualización.

Guan, et al. [31] expresan uno de los grandes problemas del juego en la nube: el consumo eléctrico, mostrando diferentes propuestas para la reducción del consumo, entre ellas la reducción de las frecuencias de la GPU, sin embargo al reducir la frecuencia de un GPU físico se baja considerablemente el rendimiento de todas las máquinas virtuales ejecutadas en un equipo físico. Así que los autores propusieron una arquitectura de control de dos capas llamada EvGPU (Garantías de SLA para la conservación de energía para GPU virtualizado), basada en técnicas de control de retroalimentación. Para la arquitectura propuso un bucle de

control adoptado por un controlador proporcional-integral (PI) para asegurar las garantías del SLA, usando como una de sus métricas los cuadros por segundo (FPS) para cada juego, el bucle de control secundario haría un escalamiento de la frecuencia y cambiaría el voltaje para así tener un ahorro energético.

Chuah, et al. [32] hablan de la tendencia de requerir hardware de gran alcance para poder ejecutar los videojuegos de última generación, igualmente menciona el creciente deseo de los usuarios de acceder a un videojuego de alta calidad en cualquier lugar y con cualquier dispositivo con conexión a internet. Luego hace una visión general del juego en la nube y soluciones verdes para mejorar la experiencia del juego.

Li, et al. [33] demuestran que el envío de las solicitudes en los servidores de un sistema de "cloud gaming" afecta en gran medida su funcionamiento, por lo cual evalúa diferentes algoritmos para reducir el desperdicio de recursos de los servidores que proveen el servicio, concluyendo que un algoritmo de predicciones basadas en una red neuronal es la mejor opción para esta tarea, especialmente para juegos basados en partidas como Dota, LoL y World of Tank.

Hou, et al. [23] indican que la limitación del ancho de banda y el soporte para múltiples clientes concurrentes se ha convertido en el cuello de botella para el desarrollo de juegos en la nube. Los autores hablan de la importancia de la investigación en la codificación y comprensión de audio y video en el "cloud gaming", al igual que la implementación de un servidor de acceso concurrente. En el artículo se evalúa la latencia y concurrencia en un sistema de juego en la nube con la integración de NVIDIA GRID.

Amiri, et al. [34] y Osman, et al. [35] referencian los beneficios de implementar redes definidas por software para solucionar los problemas del juego en la nube, hablando de un controlador de SDN [36] basado en POX [37] para disminuir el retardo.

Teemu, et al. [38] exponen que en los servidores de la nube, aunque se utilizan técnicas de virtualización para aislar a los usuarios y compartir recursos entre los servidores dedicados, estas técnicas pueden infligir una notable sobrecarga proporcional al rendimiento, que limita el número de usuarios para un único servidor, por lo cual proponen el uso de instancias de virtualización a nivel de sistema operativo (contenedores) en un sistema de juego en la nube, ya que estos no necesitan virtualizar todo el sistema operativo aportando un mejor rendimiento y reduciendo el consumo eléctrico. Los autores compararon el uso de máquinas virtuales con contenedores, usando QEMU [39] y Docker [40, 41] respectivamente por medio de GamingAnywhere, concluyendo que el uso de contenedores de software ofrece una mayor optimización y velocidad en los videojuegos, al igual que más usuarios concurrentes.

Shi, et al. [42] abordan el tema de la transmisión de video en tiempo real del modelo RR-GaaS, proponiendo mejoras en renderización, codificación y tecnologías de compresión, por medio de un codificador de video que selecciona un conjunto de fotogramas clave y utiliza un algoritmo de 3D image-warping (deformación de imágenes 3D), para

interpolan tramas no críticas y reducir el retardo.

Wang and Dey [43] y Huang, et al. [44] exponen un deterioro en la experiencia del usuario en juegos móviles, especialmente por las redes inalámbricas que afectan negativamente el rendimiento de plataformas de juego en la nube, y proponen un conjunto de técnicas de optimización orientadas a hacer frente a los desafíos a que es sometida una red inalámbrica, en relación al tiempo de respuesta en una sesión de juego.

Lu, et al. [45] mencionan el crecimiento de juegos visualizados en 3D y la necesidad de dispositivos móviles de alta potencia de cálculo y batería. Hacen experimentos de juegos accedidos en redes 4G-LTE con móviles usando técnicas de renderización y codificación, evaluando el rendimiento de los juegos por medio de un modelo para relacionar la tasa de bits del video con los cambios en la visualización, y finalmente proponen un algoritmo de optimización para mejorar la experiencia del usuario. Concluyen que hace falta optimización de las plataformas de juego en la nube en cuanto a redes móviles.

VII. DESAFÍOS

Aunque el juego en la nube ofrece a la industria de los videojuegos un panorama comprometedor [46], presenta varios temas desafíos y problemas abiertos para investigación, los cuales se describen a continuación:

A. Optimización de hardware

El lograr una buena experiencia para el usuario sin inversión excesiva de hardware es un problema difícil, pero tener un servidor con altas prestaciones no es suficiente para garantizar el correcto funcionamiento de una plataforma de juego en la nube, ni un rendimiento eficiente de los videojuegos o la transmisión de video, para lograrlo es necesaria una buena optimización de los recursos del servidor. La implementación de contenedores, máquinas virtuales, librerías gráficas de bajo nivel como Vulkan [47], técnicas para mejorar la gestión de recursos de las tarjetas gráficas, algoritmos que ayuden al ahorro energético, modelos de consumo eléctrico de alto nivel de procesamiento gráfico, paralelización de procesos [48] y cualquier forma de optimización del hardware para poder soportar más clientes sin reducir la calidad gráfica del juego, son campos de investigación significativos.

B. Retardo

Si el usuario tiene un retraso de los comandos u órdenes con las cuales interactuará con el juego, podría provocar que éste no fuera jugable, comprometiendo la calidad del servicio [49, 50]. Para resolver lo anterior es necesaria la creación e implementación de técnicas para reducir los retardos, especialmente en las plataformas de juego en la nube y en la congestión de los usuarios.

Algunos temas a investigar para resolver este problema son: la reducción del retardo de extremo a extremo sin generar pérdida de paquetes adicionales, la optimización de los servidores según el género de videojuegos, métodos para

gestionar las cargas del servidor y los retrasos del trayecto, métodos heurísticos para la selección del servidor según el área geográfica con el objetivo de minimizar la latencia en la transferencia de datos [34], técnicas de enrutamiento de red para reducir la latencia para aplicaciones sensibles al retardo, uso de redes definidas por software para optimizar la distribución de los flujos entre las diversas rutas redundantes dentro de la red de la nube y cualquier otra técnica para reducir el retardo y jitter (fluctuación) experimentada por los jugadores para así mejorar la calidad de experiencia.

C. Adaptabilidad

Conforme pasa el tiempo, la demanda de los videojuegos hace necesaria una alta capacidad de respuesta y una alta calidad de vídeo, que deben brindarse a bajos costos y con la mínima latencia. Por lo tanto, los proveedores del servicio de juego en la nube no solo necesitan el diseño de los sistemas que cumplan las necesidades de los diferentes usuarios, sino la capacidad de recuperación de errores, la escalabilidad y la asignación de recursos. Esto hace que el diseño e implementación de sistemas de juego en la nube sea desafiante. Por lo anterior es necesaria la creación e implementación de modelos de arquitectura de centros de datos especializados para videojuegos, algoritmos de distribución de datos descentralizados para el cálculo de rutas en los centros de datos, como RUSH (Replication Under Scalable Hashing) [51] y CRUSH (Controlled, Scalable, Decentralized Placement of Replicated Data) [52] y la investigación de infraestructuras de juego en la nube usando redes definidas por software

D. Transmisión de video

Por otro lado, aunque la transmisión de video es una tecnología madura a primera vista, los sistemas de juego en la nube deben encargarse de su procesamiento, codificación, decodificación, renderización, transmisión y visualización; así mismo deben capturar las entradas y salidas del usuario y el tráfico de datos [9]. Todo lo anterior debe hacerse en tiempo real, haciendo que este tipo de sistemas sean más difíciles de optimizar, por lo cual debe existir software especializado para ello, como es el caso de plataformas de juego en la nube, y deben probarse nuevos formatos de codificación de video de alta compresión para mejorar el rendimiento y la compresión del juego en la nube, tales como H.264/MPEG-4 AVC, H.264/MVC (para video estereoscópico y 3D), H.265, VP9 (para contenidos en 4K), Daala, entre otros.

También hay que tener en cuenta que la experiencia de juego es sensible a la latencia de la red (en general un retardo de interacción tolerable es de menos de 120 ms) [53]. En consecuencia, un desafío crítico de investigación es el establecimiento de un video en tiempo real que tenga una compresión, descompresión y transmisión efectiva diseñados específicamente para videojuegos.

E. Plataformas y servicios de juego libres en la nube

Aunque existen plataformas de juego en la nube, no hay suficientes alternativas libres como se puede observar en la Tabla 1, por lo cual está presente la necesidad de crear nuevas plataformas de juego en la nube. Los servicios comerciales

de juego en la nube son más avanzados que las plataformas convencionales, pero son privativos y no ofrecen acceso al código fuente, impidiendo replicar una plataforma con características similares, y en la actualidad sólo existe una plataforma prototipo de éste tipo de código abierto llamada Unikitous basada en Unity [54], por lo cual la creación de nuevas plataformas y servicios comerciales libres son un tema abierto de investigación .

F. Uso de otras arquitecturas

La arquitectura más usada en el juego en la nube en la actualidad es RR-GaaS, la cual depende mucho de la conexión a internet, provocando un problema de cuello de botella entre el tiempo de transmisión de la codificación de video y la red, creando la necesidad de enormes cantidades de ancho de banda para aumentar la velocidad de los fotogramas.

El reto más importante en esta área es diseñar un conjunto de instrucciones que pueda representar todas las imágenes de los juegos sin necesidad de un gran procesamiento o renderizado de parte del usuario, con una buena optimización de parte de los servidores y que puedan ser transmitidos de manera eficiente a través de internet, como es el caso de LR-GaaS. Cómo interpretar de manera eficiente y precisa la instrucción del jugador, y que se vea reflejada en el juego de forma instantánea también es un tema de investigación abierto, al igual que el mejoramiento o creación de otras arquitecturas de juego en la nube.

G. Redes inalámbricas

El uso de redes móviles para sistemas de juego en la nube es un tema importante de exploración, ya que los dispositivos móviles están en un crecimiento exponencial y los videojuegos cada vez tienen más exigencias gráficas o de hardware para su correcto funcionamiento, causando un rápido decremento de la batería de estos dispositivos o un impedimento de su ejecución, que pueden ser evitados ofreciendo juegos alojados en la nube, ya que los servidores se encargarían de todo el procesamiento y el terminal sólo accedería a ellos en forma de streaming. Pero las redes 4G-LTE convencionales no son suficientes, por lo cual deben proponerse optimizaciones para reducir el retraso y la latencia, además de brindar una mayor velocidad de fotogramas por segundo con buena calidad gráfica. La investigación de nuevas propuestas basadas en los beneficios que están previstos en las redes 5G [55] en un sistema de juego en la nube, es un tema abierto de exploración.

VIII. CONCLUSIONES

El juego en la nube abre nuevos campos de investigación y ofrece un modelo de servicio en el cual los proveedores de la nube podrán ofrecer aplicativos para cualquier tipo de dispositivo con conexión a internet, de modo que la implementación de esta tecnología serviría para ofrecer no solamente videojuegos, sino programas de gran uso de unidades de procesamiento gráfico como los de edición de video, desarrollo de videojuegos, entre otros, creando de esta manera modelos de negocio donde no se vende solamente

software sino una forma de ejecutarlo por medio de la nube.

GaaS se considera la próxima generación de la industria del juego, en un futuro los jugadores serán capaces de acceder a contenidos de juegos de forma globalizada a través de dispositivos con capacidades diferentes, mitigando de esta forma la necesidad de equipos de alto procesamiento gráfico o de CPU.

El éxito actual del juego en la nube es sólo la punta del iceberg, muchas ideas creativas y nuevas formas de aprovechamiento de los abundantes recursos y elasticidad de la nube, para una mejor experiencia interactiva con el usuario, saldrán a la superficie pronto. Por ejemplo, los dispositivos móviles pueden visualizar imágenes de un juego de alta calidad prestados en uno o varios servidores distribuidos en la nube, lo cual no era posible en dispositivos móviles con recursos limitados.

Es factible la creación de juegos optimizados específicamente para plataformas en la nube, además de proveedores de software y de servicios en un futuro. Fabricantes de hardware también han mostrado un gran interés en los juegos en la nube, y algunos han comenzado a trabajar en soluciones de hardware dedicado para abordar las cuestiones importantes del GaaS como es el caso de NVIDIA y ATI.

Si bien estas nuevas ideas incrementarán el potencial de la computación en la nube, también se espera hacer frente a nuevos y emocionantes retos de investigación en los años venideros.

REFERENCIAS

- [1] R. Jain and S. Paul, "Network virtualization and software defined networking for cloud computing: a survey," *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, pp. 24-31, 2013.
- [2] A. Ananth and K. C. Sekaran, "Game theoretic approaches for job scheduling in cloud computing: A survey," in *Computer and Communication Technology (ICCCCT), 2014 International Conference on*, 2014, pp. 79-85.
- [3] S. Shirmohammadi, M. Abdallah, D. T. Ahmed, K. T. C. a. k. a. S. Chen, Y. Lu, and A. Snyatkov, "Introduction to the Special Section on Visual Computing in the Cloud: Cloud Gaming and Virtualization," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 25, pp. 1955-1959, 2015.
- [4] K.-T. Chen, Y.-C. Chang, P.-H. Tseng, C.-Y. Huang, and C.-L. Lei, "Measuring the latency of cloud gaming systems," presented at the Proceedings of the 19th ACM international conference on Multimedia, Scottsdale, Arizona, USA, 2011.
- [5] E. Piehl. (2016, May). *G-Cluster Global*. Available: <http://www.gcluster.com/eng/>
- [6] T. Lynas. 2005, April). Club iT and Alcatel Bring G-cluster Gaming-on-Demand to Cyprus Telecommunications Authority Interactive TV Service as Part of Alcatel's Open Media Platform. Available: <http://www.businesswire.com/news/home/20050415005167/en/Club-Alcatel-Bring-G-cluster-Gaming-on-Demand-Cyprus-Telecommunications>
- [7] M. Maal. (2012, January). *G-cluster Global receives the support of the investment funds of SFR* Available: http://www.gcluster.com/eng/pdf/20120119_001_E.pdf
- [8] GAIKAI. (2016). *The Journey Continues*. Available: <https://www.gaikai.com/#!/history>
- [9] C.-Y. Huang, C.-H. Hsu, Y.-C. Chang, and K.-T. Chen, "GamingAnywhere: an open cloud gaming system," presented at the Proceedings of the 4th ACM Multimedia Systems Conference, Oslo, Norway, 2013.

- [10] A. Khalifa, "Tele-Rehabilitation Games on the Cloud: A Survey and a Vision," *American Journal of Computer Science and Engineering Survey (AJCSES)*, vol. 3, pp. 143-151, 2015.
- [11] W. Cai, M. Chen, and V. C. M. Leung, "Toward Gaming as a Service," *IEEE Internet Computing*, vol. 18, pp. 12-18, 2014.
- [12] G. D'Angelo, S. Ferretti, and M. Marzolla, "Cloud for Gaming," *arXiv preprint arXiv:1505.02435*, 2015.
- [13] R. Shea, J. Liu, E. C. H. Ngai, and Y. Cui, "Cloud gaming: architecture and performance," *IEEE Network*, vol. 27, pp. 16-21, 2013.
- [14] M. Semsarzadeh, A. Yassine, and S. Shirmohammadi, "Video Encoding Acceleration in Cloud Gaming," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 25, pp. 1975-1987, 2015.
- [15] W. Cai, V. C. M. Leung, and M. Chen, "Next Generation Mobile Cloud Gaming," in *Service Oriented System Engineering (SOSE), 2013 IEEE 7th International Symposium on*, 2013, pp. 551-560.
- [16] W. Cai, M. Chen, C. Zhou, V. C. M. Leung, and H. C. B. Chan, "Resource management for cognitive cloud gaming," in *2014 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2014, pp. 3456-3461.
- [17] R. Gharsallaoui, M. Hamdi, and T. H. Kim, "A Comparative Study on Cloud Gaming Platforms," in *Control and Automation (CA), 2014 7th Conference on*, 2014, pp. 28-32.
- [18] C. Gutman, D. Waxemberg, A. Neyer, M. Bergeron, and A. Hennessy. (2013). *Moonlight an open source NVIDIA Gamestream Client*. Available: <http://moonlight-stream.com/>
- [19] V. Corporation. (2016). *Steam in-home streaming*. Available: <http://store.steampowered.com/streaming/>
- [20] S. M. Communications. (2016). *PS4 Remote Play*. Available: <http://www.sonymobile.com/global-es/apps-services/remote-play/>
- [21] U. Inc. (2013, May). *Ubitus GameCloud*. Available: http://www.ubitus.net/pdf/Ubitus_Unlocking_the_True_Potential_of_Cloud_Gaming.pdf
- [22] Nvidia. (2016). *GEFORCE NOW: The new way to game*. Available: <https://shield.nvidia.es/game-streaming-with-geforce-now>
- [23] Q. Hou, C. Qiu, K. Mu, Q. Qi, and Y. Lu, "A Cloud Gaming System Based on NVIDIA GRID GPU," in *Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science (DCABES), 2014 13th International Symposium on*, 2014, pp. 73-77.
- [24] I. Lunden. (2015). *Sony Is Buying OnLive's 140 Cloud Gaming Patents And Other Tech, OnLive To Close April 30 (AOL Inc ed.)*. Available: <http://techcrunch.com/2015/04/02/sony-is-buying-onlives-cloud-gaming-patents-and-other-tech-onlive-to-close-april-30/>
- [25] S. Shuman. (2009, OnLive: Will it Beat Xbox 360, PS3 and Wii at Their Own Game? *GamePro*. Available: http://www.pcworld.com/article/161852/onlive_stream_games.html
- [26] B. Sinclair. (2009). *David Perry demos Gaikai game streaming*. Available: <http://www.gamespot.com/articles/david-perry-demos-gaikai-game-streaming/1100-6212832/>
- [27] S. I. E. LLC. (2016). *Playstation now - PS Now Subscription for PS Games*. Available: <https://www.playstation.com/en-us/explore/playstationnow/>
- [28] G. Streaming. (2016). *Stream high quality games directly to your TV*. Available: <https://www.gamefly.com/#1/stream>
- [29] H. J. Hong, D. Y. Chen, C. Y. Huang, K. T. Chen, and C. H. Hsu, "Placing Virtual Machines to Optimize Cloud Gaming Experience," *IEEE Transactions on Cloud Computing*, vol. 3, pp. 42-53, 2015.
- [30] K. T. Chen, Y. C. Chang, H. J. Hsu, D. Y. Chen, C. Y. Huang, and C. H. Hsu, "On the Quality of Service of Cloud Gaming Systems," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 16, pp. 480-495, 2014.
- [31] H. Guan, J. Yao, Z. Qi, and R. Wang, "Energy-Efficient SLA Guarantees for Virtualized GPU in Cloud Gaming," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 26, pp. 2434-2443, 2015.
- [32] S. P. Chuah, C. Yuen, and N. M. Cheung, "Cloud gaming: a green solution to massive multiplayer online games," *IEEE Wireless Communications*, vol. 21, pp. 78-87, 2014.
- [33] Y. Li, X. Tang, and W. Cai, "Play Request Dispatching for Efficient Virtual Machine Usage in Cloud Gaming," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 25, pp. 2052-2063, 2015.
- [34] M. Amiri, H. A. Osman, S. Shirmohammadi, and M. Abdallah, "An SDN Controller for Delay and Jitter Reduction in Cloud Gaming," presented at the Proceedings of the 23rd ACM international conference on Multimedia, Brisbane, Australia, 2015.
- [35] H. A. Osman, M. Amiri, S. Shirmohammadi, and M. Abdallah, "SDN-based game-aware network management for cloud gaming," in *Network and Systems Support for Games (NetGames), 2015 International Workshop on*, 2015, pp. 1-6.
- [36] D. Kreutz, F. M. V. Ramos, P. E. Ver, x00Ed, ssimo, C. E. Rothenberg, et al., "Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey," *Proceedings of the IEEE*, vol. 103, pp. 14-76, 2015.
- [37] P. Ligia Rodrigues, A. A. Shinoda, C. M. Schweitzer, and R. L. S. d. Oliveira, "Simulation in an SDN network scenario using the POX Controller," in *Communications and Computing (COLCOM), 2014 IEEE Colombian Conference on*, 2014, pp. 1-6.
- [38] K. Teemu, inen, Y. Shan, M. Siekkinen, A. Yi, J., et al., "Virtual machines vs. containers in cloud gaming systems," in *Network and Systems Support for Games (NetGames), 2015 International Workshop on*, 2015, pp. 1-6.
- [39] A. Ribí, x00E, and re, "Emulation of obsolete hardware in open source virtualization software," in *2010 8th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, 2010, pp. 354-360.
- [40] C. Anderson, "Docker [Software engineering]," *IEEE Software*, vol. 32, pp. 102-c3, 2015.
- [41] S. Hykes. (2016). *Docker: Build, Ship, Run*. Available: <https://www.docker.com/>
- [42] S. Shi, C.-H. Hsu, K. Nahrstedt, and R. Campbell, "Using graphics rendering contexts to enhance the real-time video coding for mobile cloud gaming," presented at the Proceedings of the 19th ACM international conference on Multimedia, Scottsdale, Arizona, USA, 2011.
- [43] S. Wang and S. Dey, "Rendering Adaptation to Address Communication and Computation Constraints in Cloud Mobile Gaming," in *Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010), 2010 IEEE*, 2010, pp. 1-6.
- [44] C.-Y. Huang, Y.-L. Huang, Y.-H. Chi, K.-T. Chen, and C.-H. Hsu, "To Cloud or Not to Cloud: Measuring the Performance of Mobile Gaming," presented at the Proceedings of the 2nd Workshop on Mobile Gaming, Florence, Italy, 2015.
- [45] Y. Lu, Y. Liu, and S. Dey, "Optimizing Cloud Mobile 3D Display Gaming user experience by asymmetric object of interest rendering," in *2015 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2015, pp. 6842-6848.
- [46] K. T. Chen, C. Y. Huang, and C. H. Hsu, "Cloud gaming onward: research opportunities and outlook," in *Multimedia and Expo Workshops (ICMEW), 2014 IEEE International Conference on*, 2014, pp. 1-4.
- [47] J. A. Shiraeef, "An exploratory study of high performance graphics application programming interfaces," 2016.
- [48] F. Pianese, "Information Centric Networks for Parallel Processing in the Datacenter," in *2013 IEEE 33rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops*, 2013, pp. 208-213.
- [49] M. Jarschel, D. Schlosser, S. Scheuring, T. Ho, #946, and feld, "An Evaluation of QoE in Cloud Gaming Based on Subjective Tests," presented at the Proceedings of the 2011 Fifth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, 2011.
- [50] I. Slivar, M. Suznjevic, L. Skorin-Kapov, and M. Matijasevic, "Empirical QoE study of in-home streaming of online games," in *2014 13th Annual Workshop on Network and Systems Support for Games*, 2014, pp. 1-6.
- [51] R. J. Honicky and E. L. Miller, "Replication under scalable hashing: a family of algorithms for scalable decentralized data distribution," in *Parallel and Distributed Processing Symposium, 2004. Proceedings. 18th International*, 2004, p. 96.
- [52] S. A. Weil, S. A. Brandt, E. L. Miller, and C. Maltzahn, "CRUSH: controlled, scalable, decentralized placement of replicated data," presented at the Proceedings of the 2006 ACM/IEEE conference on Supercomputing, Tampa, Florida, 2006.
- [53] A. Kaiser, D. Maggiorini, N. Achir, and K. Boussetta, "On the Objective Evaluation of Real-Time Networked Games," in *Global Telecommunications Conference, 2009. GLOBECOM 2009. IEEE*, 2009, pp. 1-5.
- [54] M. Luo and M. Claypool, "Uniquitous: Implementation and evaluation

of a cloud-based game system in Unity,” in *Games Entertainment Media Conference (GEM), 2015 IEEE*, 2015, pp. 1-6.

- [55] J. Liu, T. Zhao, S. Zhou, Y. Cheng, and Z. Niu, “CONCERT: a cloud-based architecture for next-generation cellular systems,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 21, pp. 14-22, 2014.

Frannier Daniel Trejos Martínez. Nació en Pereira, Risaralda, Colombia el 18 de Julio de 1994. Es estudiante de noveno semestre de Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones en la Universidad Católica de Pereira-UCP. Es integrante del semillero de investigación ENGINET, donde lleva a cabo un trabajo de grado relacionado con la implementación de Redes Definidas por Software (SDN) en un sistema de juego en la nube. Sus principales intereses de investigación son las SDN y la computación en la nube.

Néstor Álzate Mejía, graduado como Ingeniero de Sistemas de la Universidad Cooperativa de Colombia, obtuvo el título de Especialista en Telecomunicaciones de la Universidad Autónoma de Bucaramanga y es aspirante a Magister en Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad Tecnológica de Pereira. Actualmente es profesor de tiempo completo en la Universidad Católica de Pereira, donde se unió al Grupo de Investigación e Innovación en Ingeniería de la UCP (GIII-UCP). Sus principales intereses de investigación son la Virtualización de Redes y las Redes Definidas por Software.