

Las redes tolerantes al retardo como apoyo para los sistemas virtuales universitarios panameños



Delay-tolerant networks as support for Panamanian university virtual systems

Gordon Graell, Roberto Daniel

 Roberto Daniel Gordon Graell ¹

roberto.gordon@up.ac.pa

Universidad de Panamá, Panamá

Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios

Universidad de Panamá, Panamá

ISSN-e: 2313-7819

Periodicidad: Semestral

vol. 9, núm. 1, 2022

revista.colon.ciencias@gmail.com

Recepción: 15 Octubre 2021

Aprobación: 14 Diciembre 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/215/2152932009/>

Resumen: El avance exponencial de las tecnologías digitales permite la interconexión inmediata y en tiempo real de miles de millones de usuarios tanto humanos como maquinas en un sistema digital mundial. Aunque la red es global, no llega a todos los rincones del planeta ni cubre a todos los usuarios en el mismo momento. Son fenómenos de latencia de transmisión de datos y conexiones como producto de diferentes causas desde geográficas, pasando por las sociales hasta tecnológicas, que encuentran solución parcial en diferentes aplicaciones y desarrollos de software ya sea complementarios de sistemas o independientes. Una de esas soluciones son las redes tolerantes al retardo cuya implementación soluciona problemas de latencia, retardo de datos y diferencias de arquitecturas y lenguajes de programación lo que permite minimizar las pérdidas en términos de datos, tiempo y recursos. La investigación es de tipo documental sobre la red, descriptiva de las condiciones en que se transmiten los datos digitales y como, estas condiciones, están presentes en Panamá, El objetivo fue determinar las características geográficas y estructurales del país, así como de la ubicación de la infraestructura y sus campus virtuales, para soportar la necesidad de la implementación de las tecnologías de redes tolerantes al retardo en sus plataformas y sistemas. La principal conclusión es que, en los sistemas virtuales universitarios del país, se presentan las condiciones naturales, de infraestructura y sociales para que las DTN sirvan como herramienta para lograr una conectividad eficaz y de calidad.

Palabras clave: Conectividad, sistemas, entornos, inalámbrico, virtualidad.

Abstract: The exponential advance of digital technologies allows the immediate and real-time interconnection of billions of users, both human and machine, in a worldwide digital system. Although the network is global, it does not reach all corners of the planet, nor does it cover all users at the same time. These are latency phenomena of data transmission and connections as a product of different causes from geographical, through social to technological, which find partial solution in different applications and software developments either complementary to systems or independent. One of these solutions are delay tolerant networks whose implementation solves latency problems, data delay and differences in architectures and programming languages, thus minimizing losses in terms of data, time, and resources. This is documentary research on the network, descriptive of the conditions in which digital data are

transmitted and how these conditions are present in Panama. The objective was to determine the geographical and structural characteristics of the country as well as the location of the infrastructure and its virtual campuses, to support the need for the implementation of delay tolerant network technologies in their platforms and systems. The main conclusion is that the country's virtual university systems present the natural, infrastructural, and social conditions for DTNs to serve as a tool to achieve effective and quality connectivity.

Keywords: Connectivity, systems, environments, wireless, virtuality.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico de la humanidad en los últimos dos siglos ha sido positivamente progresivo y exponencial en los últimos setenta años. Gracias a la invención del computador se observan avances que hacen realidad los sueños y las más calenturientas invenciones de los antiguos guionistas de ciencia ficción. En ese ámbito y con especial interés, se desarrollan las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) cuya evolución es, intrínsecamente, una serie de desafíos a la eficacia de la aplicación del conocimiento humano.

Las TIC van desde un programa de presentación de láminas o power point, hasta complejas máquinas de producción industrial que no requieren de la intervención humana para su trabajo y que funcionan dentro de una premisa básica: la conectividad permanente. Miles de millones de usuarios que son gentes y aparatos conectados las 24 horas del día en una red global, que abarca todos los ámbitos de la vida del ciudadano digital y de la producción de bienes de servicio y consumo con el Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés). Los datos se mantienen tanto en servidores como en la nube, en la niebla o en las tecnologías de borde. Es toda la arquitectura mundial del Internet y su universo virtual (451 Research, 2018).

Pero la red no llega todos los rincones del globo terráqueo y el volumen incalculable de datos que se mueven día a día crea problemas de conexión. El término latencia aparece para describir el fenómeno del retraso en la conectividad, o no conectividad, de las redes. Supone retraso de comunicación que van desde pocos milisegundos hasta minutos u horas, como ha ocurrido ya varias veces a nivel mundial. Esos retrasos suponen costos asociados a las pérdidas y procesos que se detienen en detrimento del servicio del ciudadano y de la producción industrial a las que se buscan soluciones como las tecnologías de borde (Vertiv, 2018).

La latencia puede compararse con el tráfico en una autopista en hora pico. El retraso en la vía terrestre será directamente proporcional como lo sean el número de canales que tengan, el control del uso correcto de los carriles por parte de los usuarios, las vías y los espacios de servicio, las señales de tránsito y la velocidad en la atención a los accidentes o inconvenientes que se puedan presentar. Así, la red sufre los mismos problemas además de los que le son inherentes a sus sistemas virtuales.

Pero, al igual que las autopistas, las redes no pueden llegar de manera física a todas partes. Como no todos los caminos cubren la totalidad de todos los rincones de un país, de igual forma la transmisión de datos por vía física, como la fibra óptica, tampoco llega a todos los rincones de una nación. Se recurre a la transmisión de datos a través del éter, de manera inalámbrica, para lo que se utilizan varias modalidades desde transmisión de punto a punto, pasando por microondas hasta servicios satelitales (Salazar, 2016).

NOTAS DE AUTOR

- 1 Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Panamá Oeste, Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación, Departamento de Informática, Panamá.

No por usar vías alternas y de canales casi infinitos las transmisiones se escapan a los problemas de la latencia y la desconexión. Aparecen fenómenos como la obsolescencia, programada o no, que supone la disfuncionalidad de equipos y sistemas de computación como parte natural y permanente del avance de las tecnologías disruptivas. Al igual que el tamaño de la autopista, que se queda corta para el volumen creciente de vehículos, equipos y sistemas viejos, software en desuso por evoluciones de su propia casa matriz y adecuaciones con arquitecturas cada vez más complejas forman parte del fenómeno que retrasa o impide, en algunos casos, la transmisión de datos (Martínez et al., 2020).

El mismo sistema planetario interconectado, las empresas de tecnología digital y los diseñadores de programas, requieren de estrategias que permitan superar estos obstáculos en las redes que se suman a los de infraestructura, geográficos y ambientales de cada país. La aparición de Las Redes Tolerantes al Retardo o Delay/Disruption Tolerant Networking (DTN por sus siglas en inglés) es una de las características resaltantes de las tecnologías disruptivas. Aparece con la necesidad de llevar las comunicaciones a los sitios más apartados y/o en condiciones que pueden calificarse de hostiles pues presenta una arquitectura diseñada para salvaguardar datos cuando se presentan problemas de conexión que impiden la inmediatez de la internet (Romero y Sánchez, 2010)

Las definiciones para DTN son variadas, aunque todas similares pues refieren el uso y la arquitectura del algoritmo. De La Casa (2015) lo describe como:

“La arquitectura DTN proporciona un método para interconectar puertas de enlace heterogéneas o proxys que emplean enrutamiento de mensajes con el modelo store-and-forward (almacenamiento y envío) para superar las interrupciones de las comunicaciones. Es un servicio similar al e-mail, pero con nombres evolucionados, enrutamiento, y opciones de seguridad” (p. 24).

El sistema se basa en relajar la trayectoria entre dos puntos durante la transmisión de datos. También cuando se interrumpe la conexión y los protocolos de respaldo fallen o redes de conexión ocasional. Los datos se almacenan en nodos para su envío posterior cuando haya un enlace funcional. Es la conmutación de mensajes. Los DTN basan su arquitectura en la tolerancia al retardo o las Interrupciones, permiten el almacenamiento y los retardos durante la transferencia para su rescate, de ser necesario (Tanenbaum y Wetherall, 2012).

También es una arquitectura pensada y diseñada para funcionar sobre pilas de protocolos existentes, en diferentes arquitecturas de red como una función de pasarela de almacenamiento y reenvío entre nodos de dos, o más redes, distintas, de diferentes lenguajes, cuya función es la de proteger y reenviar datos como una arquitectura superpuesta. La DTN está pensada para funcionar por encima de las pilas de protocolos existentes en diversas arquitecturas de red y proporcionar una pasarela de almacenamiento y reenvío (Fall, 2003).

De igual forma las DTN funcionan con diferentes tecnologías inalámbricas como WiFi, y Bluetooth, se incluyen en redes ópticas y acústicas, terrestres puesto que las señales inalámbricas no se desplazan igual de manera subacuática. Eso permite una diversidad de desarrollos de aplicaciones que pueden acoplarse con efectividad en las infraestructuras de telecomunicaciones (Chancay, 2015).

Características importantes integran la tecnología: Es portadora de los datos, los salvaguarda hasta que se completa la transmisión total, funciona para todas las tecnologías digitales, trabaja bajo condiciones de latencia de red y conexiones asincrónicas y en condiciones que pueden calificarse de hostiles. Aunque estas características no se presentan necesariamente juntas, y no parecieran similares, si comparten peculiaridades en las condicionantes de la comunicación a nivel del uso de los nodos en diferentes escenarios que pueden sintetizarse como se muestra en la Tabla 1.

TABLA 1
Características de entornos que requieren

Conexión intermitente	Movilidad de los nodos. Circunstancias del entorno: Densidad de transmisión y uso compartido de canales.
Niveles bajos de seguridad	Predominancia de tecnologías de transmisión inalámbricas. Altos niveles de ruido o de escucha de terceros.
Topología de red cambiante	Asociada al movimiento de los nodos y sistemas multimedia diferentes.
Conexiones de muy bajo rendimiento	Tiempos de transmisión y/o de "encolado" muy elevados. Eficiencia baja en transmisión.
Nodos de bajas capacidades y/o tiempos de vida limitados	Limitaciones de tamaño y/o disponibilidad de energía. Vida corta del dispositivo
Tecnologías de conexión heterogéneas	Tecnologías de transmisión disponibles diferentes. Nodos en entornos diferentes (tierra - espacio profundo)

Elaborado con base en Páez (2013).

Si bien las condiciones que se describen en la tabla 1 son escenarios inherentes al mundo virtual de los sistemas digitales, en la subregión latinoamericana son más frecuentes por las condiciones de la brecha digital con las economías desarrolladas a las que deben sumarse los indicadores socioeconómicos del acceso a los servicios de internet y como estos repercuten en la calidad de vida (Zamora, 2020).

La brecha es cada vez más grande. Las políticas económicas latinoamericanas no llevan el ritmo de las economías desarrolladas. Eso se traduce en un avance asincrónico y deficiente de los procesos productivos de bienes de consumo y servicio. Es una situación en que están incluidas las universidades de Panamá como prestadoras del servicio docente que implica el derecho a la educación como parte de todos los derechos. El proceso de virtualización que iniciaron hace más de una década y que avanzó al ritmo de las particularidades de cada universidad (Herrera, 2017) se vio espoleado para cubrir, a distancia, el ciento por ciento de la demanda estudiantil, y no de la mejor manera, fue a la fuerza con la aparición de coronavirus COVID-19.

Se presenta una situación social que se mantendrá en el tiempo pues, aunque en la nueva normalidad, la Organización Mundial de la Salud (OMS) se refiere al regreso de la interacción social muy parecida a tiempos prepandemia, se deben mantener restricciones preventivas necesarias y la educación, masiva, tendrá mucho de digital. De igual forma, no se prevé en el País una inversión extraordinaria de recursos para cubrir toda su extensión con redes de fibra óptica como solución a las necesidades de conectividad para la educación y la producción, aunque la tecnología digital a cualquier nivel requiere inversión del Estado (CEPAL, 2021b).

El objetivo del estudio es determinar dónde y cómo las características y benéficos que ofrecen las DTN son necesarias en el entramado complejo de la informática virtual universitaria de Panamá. En ese orden de ideas es necesario hacer un mapa de necesidades de DTN para el subsistema educativo superior del país que pasa por determinar las condiciones geográficas y sociales en que la tecnología se convierte en un recurso que permita un continuo del proceso educativo en razones de progresividad y ubicuidad en el entendido de que, los campus universitarios, se decantarán por el crecimiento virtual.

METODOLOGÍA

La investigación es de tipo cualitativo y diseño documental, descriptiva de los condicionantes estructurales, geográficas y sociales que determinan la necesidad de utilización de las DTN en apoyo a la atención del proceso educativo de Panamá.

Para determinar las características de utilización de las DTN, se diseñó una revisión documental con el propósito de determinar el funcionamiento básico de las tecnologías referidas y las condiciones de comunicación en las que se hacen necesarias. Se recurrió a documentos científicos y tecnológicos de diferentes autores, presentes en la red, con características de investigaciones científicas y descripciones técnicas para publicaciones universitarias o de negocios. El criterio de búsqueda y revisión fue ambientes de funcionamiento y características de los mismos. No se limitó temporalmente, pero se privilegiaron las publicaciones realizadas desde el año 2010 en adelante.

De igual forma se hizo una revisión documental en diferentes plataformas educativas universitarias panameñas para establecer su número en el país y la distribución de edificaciones de servicio educativo universitario nacional, por institución y la presencia de una oferta de cursos virtuales. El criterio de búsqueda fue el tipo de institución, el número de sedes, su distribución geográfica y presencia de oferta de cátedras virtuales.

RESULTADOS

Las DTN están diseñadas para trabajar en diferentes escenarios de comunicación como se reflejan en la Tabla 2.

La tabla muestra que, a excepción del entorno espacial, todos los ambientes proclives para el uso de las DTN están presentes en la geografía panameña. Las características de densidad de volumen de tráfico, obsolescencia de equipos, conexiones inalámbricas y escaso, o nulo, cubrimiento de red en zonas del país las hacen una herramienta con campos de acción y necesaria.

TABLA 2
Entornos comunicacionales proclives a DTN

Entorno	Característica comunicacional
Urbano	Alta densidad de volumen de datos Conexiones inalámbricas u obsolescencia
Rural	Carecer de conectividad convencional a Internet. Requieren mulas de datos Redes de sensores de reducida conectividad convencional. Seguimiento de fauna salvaje
Especializado	Comunicaciones militares tácticas
Espacial	Naves espaciales en espacio profundo donde no es viable la comunicación con protocolos y aplicaciones convencionales Aviones en vuelo: Telefonía y mensajería de usuarios telefónicos
Submarino	Tecnología acústica para vehículos submarinos no tripulados, sistemas de monitorización de canalizaciones submarinas, etc.

Elaborado con base en Páez (2013)

Para cumplir con el objetivo del algoritmo se fundamentan en arquitecturas que les permiten ser, básicamente, un transporte de datos entre dos puntos conectados. Tiene la misma abstracción que el internet y trabaja con protocolo de paquetes que denominan Bundle. Técnicamente es una capa situada entre la aplicación y el transporte, que se denomina fardo. También sirve como resguardo de datos ante desconexiones y de traductor de redes de naturaleza heterogénea (Romero y Sánchez, 2010).

Los datos viajan de un nodo a otro con un sistema de resguardo que almacenan los datos hasta que el siguiente nodo en la ruta esté disponible. Esta técnica permite que los datos viajen en su conjunto o por fragmentos desde el nodo que almacena hasta el siguiente. Este último verifica que la información este completa para enviarlo al siguiente hasta llegar al nodo destino, tal como muestra la Figura 1.

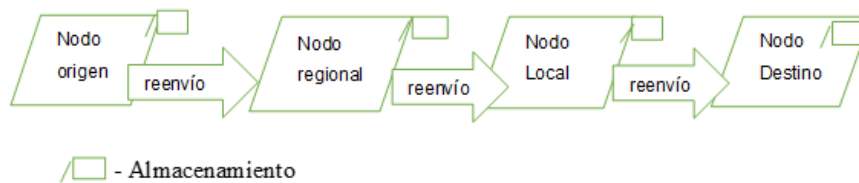


FIGURA 1
Esquema de mecanismo de transmisión de datos con DTN
Elaborado con base en Romero y Sánchez (2010).

El mapa universitario de Panamá para el año 2019 representaba más de 400 instituciones con sede física (Reisberg, 2021), como se observa en la Tabla 3.

La tabla anterior es una síntesis de la presencia geográfica de las universidades de Panamá en el que se puede observar que el sistema universitario es complejo, más allá de sus características de servicio público. De las universidades públicas, la Universidad de Panamá (UP) es la de mayor presencia física en el país. En una revisión de su mapa virtual son las provincias de Colón, Santiago y Darién las que menos sedes presentan. En el occidente del país, en la provincia de Darién, tiene tres programas de educación a distancia a través de sistemas multimedia.

La Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) le sigue en presencia nacional pero no tiene sedes en el occidente del país. De igual forma la Universidad especializada de Las Américas (UDELAS) y la Universidad Nacional Autónoma de Chiriquí (UNACHI) que solamente tiene presencia en su provincia. La Universidad Marítima Internacional de Panamá (UMIP) no tiene sedes regionales. El grueso de las universidades privadas tiene una sola sede ubicada en la ciudad de Panamá.

TABLA 3
Distribución geográfica universitaria de Panamá, año 2019

Tipo	Institución	Observación
Institutos superiores	Más de 100 en operación	Ubicados en Panamá Centro y Chiriquí
	Instituto Técnico Superior Especializado (ITSE)	Una sede: Ciudad de Panamá
Universidades Públicas	Universidad de Panamá (UP)	10 centros regionales, 5 extensiones, 27 programas anexos
	Universidad Tecnológica de Panamá (UTP)	10 centros regionales
	Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI)	5 centro regionales, 2 subsedes
	Universidad Marítima Internacional de Panamá (UMIP)	Una sede: Ciudad de Panamá
	Universidad Especializada de las Américas (UDELAS)	6 centros regionales
Universidades Privadas	32 universidades	Más de 50 sedes en su mayoría concentradas en la ciudad de Panamá
	8 en proceso de creación	No hay datos disponibles

Elaborado con base en portales web de instituciones universitarias panameñas (2021)

La gran mayoría de las instituciones tiene página web y campus virtual con ofertas de cátedras a distancia, no así los institutos universitarios. Un porcentaje de la población seguía estudios por la red a través de cursos que pueden verificarse en cada uno de sus campus virtuales, pero, a raíz de la estrategia preventiva de aislamiento social producto del COVID-19, todas las universidades ampliaron la prestación del servicio de manera virtual al ciento por ciento de la población. Eso incrementó de forma importante el volumen de datos y su transmisión.

A nivel de algoritmos y lenguajes de programación, las plataformas universitarias de Panamá se fundamentan en diferentes sistemas multimedia. Se encuentra que Moodle soporta un 23%, Educativa un 16%, Google Classroom un 15%, Microsoft Teams un 14%, Canvas un 14%, Chamilo un 13% y Schoology un 5% (León et al., 2021). Es una variedad que permite el diseño de arquitecturas diferentes, adaptadas a las necesidades y las expectativas de crecimiento de cada universidad, pero que requieren del servicio de pasarela de datos (Fall, 2003).

Desde la perspectiva social las universidades no están formadas solo por sedes físicas y su representación virtual en plataformas digitales. Es un sistema social que incluye sujetos en diferentes roles entre los que destacan estudiantes y profesores como eje del proceso. En el país muchos de los que se conectan lo hacen desde un teléfono móvil y no de gama alta sino de baja conectividad (García et al., 2021) es de suponer que en la estadística también entran los usuarios universitarios.

Los números en la subregión centroamericana son un ejemplo de la brecha digital a nivel social. Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (IUT por sus siglas en inglés) para el año 2018 la conexión de sus ciudadanos a internet estaba en el 45%. Panamá se encontraba por arriba del promedio con un 58%. En cifras significa que, en las suscripciones de banda ancha 137 de cada 100 habitantes tiene una, o más de una, suscripción activa de banda móvil en teléfonos y/u otros dispositivos, y 13 de cada 100 habitantes

tiene suscripción de banda fija (Del Carmen et al., 2020) lo que significa que el número de hogares con un computador en casa con acceso a internet no llega al 15% de la población.

Esa combinación de porcentajes entre bandas fija y ancha deja 68,5% de utilización de redes inalámbricas, cifra congruente con la penetración del internet en la subregión de América latina (CEPAL, 2021a). Entre otras lecturas significa que, aunque Panamá está en una situación geográfica privilegiada como ruta internacional de conexión de cuatro cables submarinos de fibra óptica (García et al., 2021) los ciudadanos se decantan por el uso de la tecnología móvil. Ya sea por preferencia de ubicuidad, alcance de recursos o necesidad obligada, los sistemas Wifi, microondas, Bluetooth, Satelitales o cualquier otro que implique la transmisión de datos en el éter cobra vital importancia en el país.

Las condiciones geográficas y climatológicas de la región, la variedad de entornos con características proclives a la latencia de datos, la distribución geográfica de las universidades panameñas, la variedad de lenguajes y proveedores de servicio de sus plataformas virtuales y las características socio económicas de los usuarios hacen de los DTN una herramienta de gran utilidad y que hace más dúctil la forma en que los usuarios se sirven de la red.

DISCUSIÓN

Las características comunicacionales de los entornos urbanos y rurales descritos en la tabla 2 son comunes en Panamá. Algunas áreas de las ciudades principales presentan gran densidad de datos y otras están sin conexión por redes físicas. La realidad de la ruralidad panameña es de poca conexión a Internet por medios físicos por lo que la latencia es un fenómeno constante. Son condiciones presentes actualmente en la red nacional para los que Páez (2013) determina que las DTN son una respuesta adaptativa eficaz.

El crecimiento de las universidades sigue el modelo de desarrollo centro - periferia que privilegia las ciudades principales, de las principales regiones del país y la tecnología digital es la una muestra más como lo reflejan los números de penetración de servicios de cobertura de fibra óptica (García et al., 2021) Las universidades siguen el mismo esquema, como parte del modelo, por lo que la tecnología que desarrollan y utilizan también. Es una de las debilidades que deben convertirse en oportunidades para acercarse a la llamada cuarta revolución industrial (Martínez et al., 2020).

El universo digital del sistema universitario panameño se caracteriza por tecnologías de conexión heterogéneas: diferentes plataformas, tipologías de red cambiante, diversidad de modelos, multiplicidad de lenguajes y aplicaciones representan un complejo software que es creciente. Los hardware tienen la misma heterogeneidad algunos representados en nodos con bajas capacidades como las sedes en pueblos alejados en los programas de anexos o de colaboración en trabajos de campo en zonas rurales alejadas o en condiciones de entornos silvestres.

No puede dejar de notarse la inclinación hacia los sistemas inalámbricos, entre otras causas por la brecha social y tecnológica y el modelo de desarrollo social (CEPAL, 2021a). La desigualdad social hace que muchos estudiantes, y docentes, solo tengan el recurso del móvil para conectarse y con las dificultades inherentes a las conexiones inalámbricas.

CONCLUSIONES

Las redes tolerantes al retardo son un recurso importante para la conexión. Desde su aparición y desarrollo fueron concebidas para entornos hostiles de comunicación en las condiciones extremas del vacío del espacio exterior o en transmisiones submarinas profundas. Aunque Panamá no tiene programas en ese tipo de ambientes, las condiciones de selva tropical al occidente del país y su difícil penetración hacen necesaria la presencia de los sistemas inalámbricos y de las DTN.

La heterogeneidad del sistema de informática educativa de las casas de estudio a nivel superior de Panamá obliga el uso de mecanismos de protección de datos en transmisión inalámbrica. Más de cuatrocientas instituciones implican millones de usuarios y picos de uso en épocas muy determinadas. En inscripciones, evaluaciones, cierres de cuatrimestres, etc., hay millones de transmisiones en diversas etapas y de diferentes calibres, con diferentes lenguajes y hacia/desde diferentes sitios del País de manera inalámbrica. Las condiciones geográficas, de uso y de heterogeneidad del sistema pueden calificarse de entornos hostiles para los que los DTN son un apoyo tecnológico necesario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 451 Research. (2018). *El impacto de la nube y del Internet de las cosas en la demanda de centros de datos*. 451 Research: https://www.vertiv.com/globalassets/documents/reports/vertiv_451-data-at-the-edge_es-emea_227929_0.pdf
- Chancay, L. (2015). *Análisis y rendimiento del protocolo bundle con la implementación DTN2 en escenarios oportunistas*. [Tesis de Maestría, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/55228/CHANCAY%20-%20An%C3%A1lisis%20y%20Rendimiento%20del%20Protocolo%20Bundle%20con%20la%20Implementaci%C3%B3n%20DTN2%20en%20Escenarios%20O....pdf?sequence=1>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021a). *Datos y hechos sobre la transformación digital*. Documentos de proyectos (LC/TS.2021/20). https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/46766/S2000991_es.pdf
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021b). *Tecnologías digitales para un nuevo futuro*. Naciones Unidas (LC/TS.2021/43). https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/46816/S2000961_es.pdf
- De la Casa, D. (2015). *Estudio de la arquitectura DTN y desarrollo de una aplicación Android como caso de uso*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Carlos III de Madrid]. <https://core.ac.uk/download/pdf/288498558.pdf>
- Del Carmen, G., Díaz, K. & Ruiz, M. (2020). *A un clic de la transición: economía digital en Centroamérica y la República Dominicana*. Publicaciones del BID. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/A-un-clic-de-la-transicion-Economia-digital-en-Centroamerica-y-la-Republica-Dominicana.pdf>
- Fall, K. (2003). *A delay-tolerant network architecture for challenged internets*. SIGCOMM '03 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications. <https://doi.org/10.1145/863955.863960>
- García, A., Martínez, R., Puig, P., Schneider, C. & Iglesias, E. (2021). *La situación actual y los desafíos del sector de telecomunicaciones de Panamá*. Publicaciones del BID. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-situacion-actual-y-los-desafios-del-sector-de-telecomunicaciones-de-Panama.pdf>
- Herrera, V. (2017). *La Educación Virtual en UDI- Panamá. La Educación Virtual: experiencias significativas en América Latina*. Fundación Universitaria del Área Andina. https://www.researchgate.net/publication/342902264_La_Educacion_Virtual_en_UDI_Panama/link/5f0cb2fa92851c38a51b5a56/download
- León, M., López, A., Mapp, U., Reyes, S., Suárez, M., Pacheco, A., Rangel, V., De La Salas, M. y Carrasquero, E. (2021). Evaluación de plataformas de aprendizaje virtual usadas en universidades de Panamá. *Investigación y Pensamiento Crítico*, 9 (1), 46-61. <https://doi.org/10.37387/ipc.v9i1.210>
- Martínez, R., Palma, A. & Velásquez, A. (2020). *Revolución tecnológica e inclusión social. Reflexiones sobre desafíos y oportunidades para la política social en América Latina*. Publicaciones de la CEPAL, Serie Políticas Sociales. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45901/1/S2000401_es.pdf
- Páez, M. (2013). *Análisis y evaluación de prestaciones de protocolos de encadenamiento en redes tolerantes al retardo*. [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Madrid]. http://www.dit.upm.es/~posgrado/doc/TFM/TFMs2012-2013/TFM_Maria_Irene_Paez_2013.pdf

- Reisberg, L. (2021). *Diagnóstico de la educación superior en Panamá. Retos y oportunidades*. Publicaciones del BID. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Diagnostico-de-la-educacion-superior-en-Panama-Retos-y-oportunidades.pdf>
- Romero, L. & Sánchez, H. (2010). Las redes tolerantes al retardo (dtn). Una solución a las comunicaciones rurales en cuba. *Télématique. Revista electrónica de estudios telemáticos*, 9 (2), 1-13. <http://ojs.urbe.edu/index.php/telematique/article/view/2483>
- Salazar, J. (2016). *Redes Inalámbricas*. TechPedia. European Virtual Learning Platform for Electrical and Information Engineering. Czech Republic. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf
- Tanenbaum, A. & Wetherall, D. (2012). *Redes de computadoras*. Pearson Educación, 5ta ed. México. https://bibliotecavirtualapure.files.wordpress.com/2015/06/redes_de_computadoras-freelibros-org.pdf
- Vertiv. (2018). *Definición de los cuatro arquetipos del borde de la red y sus requisitos tecnológicos*. VertivCo.com https://www.vertiv.com/4a4691/globalassets/documents/white-papers/vertiv-edgearchetypes-wp-sl-latam-sl-11490-sp_238602_0.pdf
- Zamora, I. (2020). Una aproximación a la ciudadanía digital en México: acceso, habilidades y participación política. *Cuaderno de Investigación* (72). http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/5094/CI_72.pdf?sequence=1&isAllowed=y