

LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL Y LAS COMUNICACIONES

***ING. SEBASTIÁN SANTISI**

**CENTRO DE SIMULACIÓN COMPUTACIONAL PARA
APLICACIONES TECNOLÓGICAS (CSC), CONICET**

PROFESOR FACULTAD DE INGENIERÍA, UBA

**SEBASTIÁN SANTISI ES INGENIERO EN ELECTRÓNICA
POR LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. SU
ÁREA DE TRABAJO ABARCA LA PROGRAMACIÓN,
LOS SISTEMAS EMBEBIDOS Y LA MODELACIÓN
NUMÉRICA. ACTUALMENTE TRABAJA EN EL CENTRO DE
SIMULACIÓN COMPUTACIONAL PARA APLICACIONES
TECNOLÓGICAS DEL CONICET ESTANDO A CARGO
DEL MANTENIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA DEL
CLÚSTER DE SIMULACIÓN COMPUTACIONAL TUPAC. ES
PROFESOR DEL DEPARTAMENTO DE COMPUTACIÓN EN
LA FACULTAD DE INGENIERÍA, UBA**

TRANSFORMACIÓN DIGITAL

Empecemos por una definición, según la Wikipedia en castellano la transformación digital es el cambio asociado con la aplicación de tecnologías digitales en todos los aspectos de la sociedad humana, definición bastante ambiciosa que contrasta con la definición análoga de la Wikipedia en inglés que se circunscribe a empresas y organizaciones. ¿Pero, de qué estamos hablando exactamente?

Arranquemos un poco más atrás. Cuando hablamos de la adopción de tecnologías digitales estamos refiriéndonos a la transición de sistemas analógicos en sistemas capaces de procesar y almacenar la información cuantizada en forma de bits, es decir dígitos binarios. En los últimos 50 años hemos vivido un proceso de digitalización donde la forma de almacenar o transmitir información ha transicionado de soportes analógicos (como por ejemplo una fotografía sobre papel, un disco de vinilo o un cassette, una llamada telefónica, o la televisión) a formatos digitales, donde de alguna forma estas señales se representan como unos y ceros y utilizamos sistemas informáticos para codificarlos y decodificarlos.

La irrupción de las tecnologías digitales ha promovido una digitalización creciente, donde de forma paulatina fuimos migrando nuestra información a soportes digitales. Ahora bien, cuando hablamos de transformación digital no nos referimos a digitalizar diferentes aspectos de nuestra vida sino al paso posterior a la adopción digital: Hacer uso de esos datos de forma integral.

Nos digitalizamos cuando reemplazamos la Guía Filcar o la GuíaT por sus equivalentes digitales como Google Maps, pero entramos en el terreno de la transformación digital cuando esos mapas se combinan con la información que entrega nuestro GPS que nos dice dónde estamos, o cuando la misma aplicación del mapa nos dice por qué camino tomar, o nos informa en tiempo real del estado del tránsito. La transformación digital se produce cuando esta información

que almacenamos en los dispositivos digitales se incorpora al proceso para mejorarlo, realimentarlo y obtener algo nuevo que no era posible con la fragmentación de esos datos de forma analógica.

INDUSTRIA 4.0

Sin entrar en discusiones sobre si se trata de algo en sí mismo o simplemente de un slogan marketinero, hoy en día se habla de la transformación digital aplicada a la industria como de la cuarta revolución industrial. La primera revolución industrial fue la mecanización, la segunda la producción en masa y la tercera la automatización. Ahora bien, la integración de todos los sistemas y partes del proceso dentro de una misma red y base de datos es algo nuevo. De hecho el término “cuarta revolución industrial” fue acuñado hace menos de 10 años.

Si aplicamos las mismas ideas de transformación digital pero al ámbito de los procesos industriales hablamos ya no de conocer un stock o el estado de la producción de un componente si no de integrar todo lo referido a la cadena en una única base de datos que no sólo aporte información sobre cada uno de los procesos en tiempo real sino que permita utilizar esa información para proyectar y predecir otras variables y tomar decisiones anticipadas.



Figura 1: Porcentaje de empresas que invierten en soluciones digitales. Notas: Asia oriental y el Pacífico (AOP), Europa y Asia central (EAC), América Latina y el Caribe (ALC), Oriente Medio y Norte de África (OMNA), Asia meridional (AM), África al sur del Sahara (ASS). Vía [1].

El informe “La digitalización mundial en 10 gráficos” del Banco Mundial [1] muestra la tendencia creciente a la digitalización en las empresas a nivel mundial (figura 1).

BIG DATA

Recopilar información no es algo tan complicado en primer lugar, sólo hay que elegir un determinado número de variables y tener constancia en almacenarlas. Ahora bien, almacenar esa información de manera que sea útil, que pueda ser indexada, que pueda consultarse y extraer patrones no evidentes de esos datos y, más aún, pensar y diseñar esas consultas que extraigan la información relevante es una cosa diferente. No por nada recordamos a Johannes Kepler por sus leyes sobre el movimiento de los planetas pero solemos olvidarnos de Tycho Brahe que dedicó casi la mitad de su vida a observar y anotar la posición de los planetas de forma sistemática, la única fuente de datos que utilizó Kepler para deducir sus leyes.

Recopilar información no es algo tan complicado, lo que no es trivial es dónde almacenar esa información. Es cierto que la información en soportes analógicos ocupa mucho más que la información digital y es más costosa de conservar, pero cuando hablamos de transformación digital también hablamos del almacenamiento indiscriminado de millones de datos incluso de forma previa a saber qué podemos hacer con ellos y cuáles son los que realmente nos sirven.

Es por esto que la explosión de la transformación digital es un proceso reciente, de la última década. La misma está estrechamente vinculada con las nuevas tecnologías de minería de datos, inteligencia artificial, aprendizaje automático, y también con el incremento en la conectividad global que permite la centralización de esos datos en la nube para su procesamiento de forma también centralizada.

LAS COMUNICACIONES

Entonces parte importante de la transformación digital está atravesada por las

comunicaciones. El QR que reemplazó (¿la reemplazó?) a la carta del bar no es más que una imagen con cuadraditos si mi teléfono no dispone de acceso a internet para descargar la carta digital. Los dispositivos pueden digitalizar información, pero para tener transformación digital es necesario una globalización de esa información, es decir, estos dispositivos necesitan de conectividad a internet, tanto para descargar información procesada, como para contribuir con la información que genera el enjambre de dispositivos que están midiendo la misma variable en otros sitios.

La necesidad de integrar cada vez más datos genera una demanda sobre la infraestructura de las empresas de telecomunicaciones y sobre las tecnologías, que son las que proveen el soporte para ese acceso.

Cuando hablamos de tecnologías por ejemplo nos referimos a las distintas versiones de protocolo de redes sobre telefonía móvil, por ejemplo, 3G, 4G o 5G. Yendo a números el protocolo 3G permite alcanzar velocidades de descarga de hasta 7Mbps contra los 150Mbps de 4G o los 10Gbps de 5G. Más o menos hay 10 años de diferencia entre tecnología y tecnología, y observamos un incremento de más de un orden de magnitud entre cada una de ellas en la tasa de transferencia de datos.

Cuando hablamos sobre infraestructura, por ejemplo para el caso de la República Argentina la conectividad móvil está asociada a centros urbanos o a trazas de rutas [2]. La tecnología 4G surge más o menos para el año 2010, licitándose la explotación de ese espectro en la Argentina en el año 2014, para el año 2023 la empresa con más penetración era Personal que tenía cobertura en cerca de 2000 localidades, contra 1600 de Claro y unas 1100 de Movistar. Ahora bien, si vamos a las redes 5G tecnología que se encuentra disponible desde hace 5 años de forma comercial, Personal tiene cobertura en unas 25 localidades, seguida por 10 para Movistar y apenas 2 para Claro [3].

Hogares con acceso a Internet

	2016	2017	2018	2019	2020
Total	71,8%	75,9%	80,3%	82,9%	90,0%

Fuente: Encuestas de Hogares. Módulo TIC, cuarto trimestre 2016-2020, INDEC.

Usuarios de Internet

		2016	2017	2018	2019	2020
Total		71,0%	74,3%	77,7%	79,9%	85,5%
Edad	4-12 años	69,1%	68,5%	72,1%	72,1%	82,8%
	13-17	87,3%	89,2%	89,7%	90,7%	95,3%
	18-29	86,3%	89,1%	90,2%	91,9%	93,9%
	30-64	74,1%	79,3%	83,0%	85,3%	88,4%
	65 o más	29,9%	35,2%	41,5%	47,7%	55,2%

Fuente: Encuestas de Hogares, Módulo TIC, cuarto trimestre 2016-2020, INDEC.

Acceso a teléfonos móviles

		Sí	No	N/A
Total		87,9%	12,0%	0,1%
Edad	4-12 años	63,0%	36,8%	0,1%
	13-17	92,70%	7,30%	0,0%
	18-29	96,6%	3,2%	0,2%
	30-64	96,0%	4,0%	0,1%
	65 o más	71,0%	28,7	0,4%

Fuente: Encuestas de Hogares, Módulo TIC, cuarto trimestre de 2020, INDEC.

Figura 2: Acceso a internet y telefonía celular en Argentina. Vía [4].

Como puede verse el reemplazo de tecnologías que vayan permitiendo el incremento en la transferencia de datos tiene diferentes etapas, partiendo desde la tecnología, la legislación, asignación de bandas y finalmente la inversión de infraestructura de los diferentes proveedores.

Según el informe “Evaluando el desarrollo de Internet en Argentina” de la UNESCO de 2024 en base a datos del INDEC de 2020 [4], el 87% de la población tiene telefonía celular, siendo el acceso del 96% para el rango etario entre 18 y 64 años. Yendo a acceso a internet 90% de los hogares tienen acceso, teniendo acceso el 85% de la población, y

con una penetración de más del 95% en la franja etaria de 13 a 29 años y un 88% en la franja de 30 a 64. En la figura 2 se pueden observar estas tablas, si bien la fuente original discrimina además por región geográfica y por género, se omiten estas filas dado que no se observaba una dispersión significativa para esas variables.

Por fuera de los centros urbanos, y circuncribiéndonos a internet fija, cabe destacar que en el año 2024 Starlink comenzó a prestar servicios de internet satelital con cobertura en todo el país, que si bien no está diseñada para ser consumida en movimiento, a diferencia de las tecnologías móviles, puede

utilizarse desde cualquier punto de la extensión del país.

Volviendo al eje de la transformación digital en la Argentina, que es uno de los países con más penetración de internet de la región, es limitante la oferta y calidad de los servicios que se ofrecen.

SERVICIOS

Desde el punto de vista de los prestadores de comunicaciones, la transformación digital es vista a su vez como una herramienta y como una oportunidad para brindar servicios.

Como una herramienta, hay pocas industrias más digitales que el servicio de infraestructura para transmisión de datos digitales. La incorporación de la información de sus sistemas a la propia gestión de los mismos permite una optimización de los recursos y la incorporación de modelos que permitan predecir las demandas permite anticiparse en la operatoria de las redes o prevenir fallas en la infraestructura de hardware.

Siendo el producto que trafican los nodos de comunicación datos digitales, los mismos se pueden modelar de forma precisa en el mundo digital, generando un gemelo digital del sistema real, permitiendo ensayar escenarios realistas y poder realimentar con eso el desarrollo de las futuras redes.

Del mismo modo los datos generados por la misma red pueden analizarse en tiempo real para detectar funcionamientos anormales en la red, como por ejemplo amenazas que atenten contra la seguridad de nodos de su propia infraestructura, de terceros, campañas masivas de fraude, ataques coordinados, etc.

Como oportunidad de negocios, las empresas de telecomunicaciones están en el centro nodal del tráfico. Eso las pone en una posición privilegiada en cuanto a ofrecer servicios de nube. Es decir, una empresa que brinda servicios de comunicaciones puede ahorrar ancho de banda y reutilizar su propia infraestructura al proveer cómputo en la nube.

Y, señalando el elefante en la habitación, si vamos a hablar sobre oportunidades de negocios los datos de millones de personas son un negocio en sí mismo. La globalización en las comunicaciones también nos expone a que el encargado de brindarnos esa conectividad conozca un montón de información sobre nosotros que generamos de forma más o menos involuntaria e inconsciente y que puede ser aprovechada tanto para generar información estadística anónima como para hacernos objeto de marketing dirigido. Incluso aunque estos datos sean únicamente datos de tráfico y de hábitos de consumo de

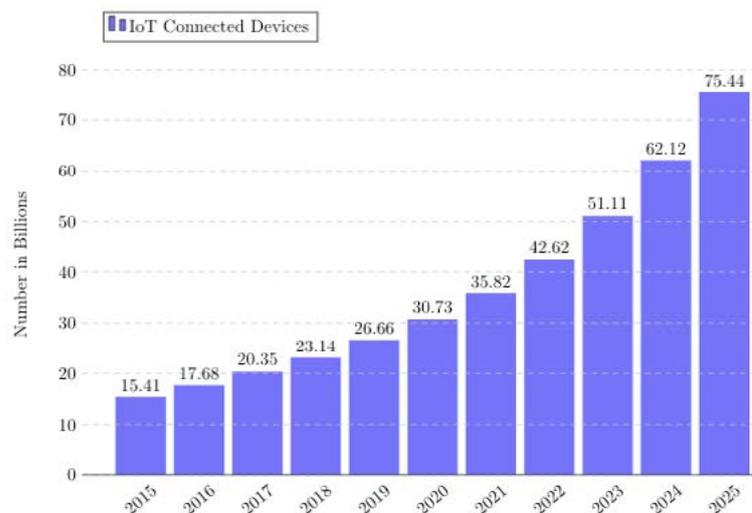


Figura 3: Cantidad de dispositivos de IoT conectados en función del tiempo. Vía [6], en base a datos de Statista.

red, es decir, asumiendo que la información que transmitimos sean sólo paquetes de bytes y no haya acceso a su contenido [5].

DISPOSITIVOS

Si hasta ahora cada vez que ejemplificamos sobre tecnología del lado del usuario hablamos de teléfonos celulares, la revolución digital de las últimas décadas estuvo dada en los dispositivos embebidos que poseen no sólo capacidades de cómputo análogas a las de una computadora o celular, sino que además poseen acceso a la internet. Cuando hablamos de dispositivos tecnológicos conectados hablamos de IoT, la “internet de las cosas”.

Hoy en día un televisor, un reloj, una cámara de seguridad, un automóvil, o, como bien sabe la farándula local, un lavarropas, pueden estar conectados a la internet, compartiendo datos y nutriéndose de los mismos. Este año se llegará a 75 mil millones de dispositivos IoT conectados a la red, el doble que hace 3 años (figura 3). Dispositivos que permiten obtener datos de telemetría de forma distribuida en todo el mundo y que cada vez más van a moldear la forma de relacionarnos con nuestro entorno.

SEGURIDAD

Entonces surge la pregunta de cómo afecta en la seguridad toda esa información colectiva que está transitando por las redes.

Dejando de lado de momento cuestiones referidas a la privacidad, ¿podemos confiar en los datos? Volvamos al ejemplo inicial, hoy en día una aplicación de mapas nos indica dónde hay un embotellamiento. En el año 2020 el artista alemán Simón Weckert puso 99 teléfonos en un carrito y salió a caminar por Berlín arrastrándolo tras de sí. ¿El resultado? Logró hacer que Google Maps informara de embotellamientos a su paso [7].

Si, por ejemplo, los automóviles autónomos generan información real sobre las calles que se utilizan para reentrenar de forma automática los modelos neuronales que

después se descargan en todos los autos del mundo, ¿qué tan vulnerables son esos sistemas?, ¿podría alguien manipularlos?

Y, ahora sí, yendo a la privacidad, ¿cómo podemos garantizarla en la era de la transformación digital?

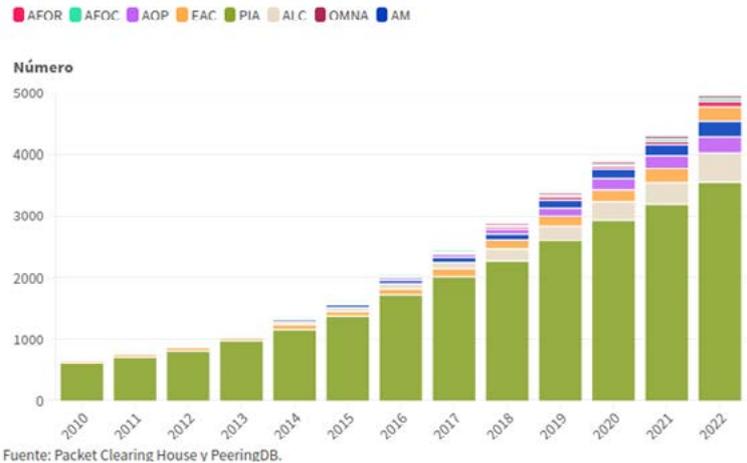


Figura 4: Cantidad de centros de datos según categoría de país. Notas: África oriental (AFOR), África occidental (AFOC), Asia oriental y el Pacífico (AOP), Europa y Asia central (EAC), PIA (Países de Ingreso Alto), América Latina y el Caribe (ALC), Oriente Medio y Norte de África (OMNA), Asia meridional (AM). Vía [1].

Volviendo a los operadores de telecomunicaciones, más allá de proveer la infraestructura de las capas de software y hardware, es importante también señalar la situación de poder en la que se encuentran tanto las operadoras como los proveedores de servicios en la nube. Si habláramos de regulación para limitar ese poder lo primero que deberíamos preguntarnos es cuál es la jurisdicción a la cual responden estos operadores, basta ver los problemas que tuvieron todas las ciudades que, por ejemplo, quisieron regular aplicaciones de viajes o de alojamiento y no encontraron a quién golpearle la puerta. Y también si habláramos de jurisdicciones tampoco podemos omitir hechos como cuando posteriormente a los atentados del 9/11 la NSA (National Security Agency) obligó a las empresas de telecomunicaciones norteamericanas a espiar el tráfico de datos, información revelada por los documentos filtrados por Edward Snowden [8]. Más allá de que nosotros estemos en

Argentina se observan dos cosas: La primera es que nos conectamos a la internet a través de cables submarinos algunos conectados directamente contra Norteamérica (Firmina) y otros indirectamente a través de Brasil, y la segunda es que el grueso de los centros donde se aloja la información mundial están en países centrales (figura 4), entonces decisiones de ese estilo en países donde no tenemos injerencia nos afectan de forma directa y afectan nuestra soberanía digital.

MINIMIZACIÓN DE LAS COMUNICACIONES

En muchas aplicaciones tanto por cuestiones de privacidad como de ahorro de necesidad de datos, la tendencia actual es resolver las aplicaciones digitales minimizando la exposición al exterior.

En el caso del entrenamiento de modelos de inteligencia artificial, un dispositivo puede realizar un preprocesamiento de los datos que los anonimice y subir a la nube información que ya no permita reconstruir la información original. Por ejemplo, tal vez para ejecutar un reconocimiento de una imagen en vez de subir la imagen original puede redimensionarse la imagen a un tamaño mínimo que no permite reconstruir la imagen original pero que es suficiente para realizar el reconocimiento. Esto a la vez ahorra ancho de banda y además convierte los datos en seguros. En otras aplicaciones los modelos se preentrenan con datos públicos y los dispositivos descargan los pesos de esos entrenamientos, el reconocimiento se realiza de forma local sin nunca exponer nuestros datos a la red

A medida que los dispositivos de IoT van creciendo en potencia, cada vez son capaces de procesar más operaciones por segundo y operar con mayor cantidad de datos, por lo que conforme evolucionan las tecnologías se gana en autonomía que permite depender menos de procesamientos externos y, por lo tanto, de exponer nuestros datos.

En los últimos años se están desarrollando modelos de inteligencia artificial basados

en aprendizaje federado. En este tipo de modelos el dispositivo es el que reentrena su modelo local y luego comparte con la red su actualización propia, de alguna forma ese aporte se integra a lo computado localmente por los demás nodos de la red. En este enfoque los datos nunca abandonan el dispositivo. Otra ventaja que tienen es que los datos pueden reflejar mejor las condiciones locales de los dispositivos, a diferencia de modelos de nube donde todo ocurre de forma centralizada sin importar el contexto local de los dispositivos.

Se mencionan dos ejemplos de minimización de comunicaciones y anonimidad de datos, pero es un tema candente en investigación y diariamente surgen nuevas soluciones a estos problemas.

CONCLUSIÓN

Estamos inmersos en un mundo que cambió mucho en las últimas décadas y que va a seguir cambiando. Estando dentro de esos cambios muchas veces los mismos ocurren sin que paremos a verlos y analizarlos y sin que terminemos de entender sus alcances, riesgos, ventajas, etc.

La idea de este artículo es contextualizar un proceso que está ocurriendo y que nos atraviesa en mayor o menor medida, para bien o para mal, y abrir un par de ejes de discusión y reflexión sobre esas implicancias. No pretendemos cerrar ninguna discusión sino al contrario abrir la misma.

REFERENCIAS

- [1] "La digitalización mundial en 10 gráficos", Banco Mundial, 2024. <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2024/03/05/global-digitalization-in-10-charts>
- [2] "Mapa de cobertura 3G / 4G / 5G, Argentina", nPerf, 2025. <https://www.nperf.com/es/map/AR/-/-/signal>
- [3] "Anexo:Localidades con cobertura de telefonía móvil 4G en Argentina", Wikipedia, 2025. https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Localidades_con_cobertura_de_

telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_4G_en_Argentina

[4] "Evaluando el desarrollo de internet en Argentina", UNESCO, 2024. <https://www.unesco.org/es/articles/evaluando-el-desarrollo-de-internet-en-argentina>

[5] "Digital Transformation in Telecom Industry", Wavetec, 2025. <https://www.wavetec.com/blog/telecom/digital-transformation/>

[6] "Grammatical Evolution for Detecting Cyberattacks in Internet of Things Environments", Aliasiri, Clark, Malik, de Fr  n, 2021. https://www.researchgate.net/publication/351075753_Grammatical_Evolution_for_Detecting_Cyberattacks_in_Internet_of_Things_Environments

[7] "Google Maps hack", Simon Weckert, 2020. <https://www.simonweckert.com/googlemapshacks.html>

[8] "NSA files decoded", The Guardian, 2013. <https://www.theguardian.com/world/interactive/2013/nov/01/snowden-nsa-files-surveillance-revelations-decoded>