



Lista de observaciones exponenciales

Innovaciones de ciencia y tecnología en el horizonte

Esta es una traducción al español de la versión oficial en inglés del **Tech Trends 2017 – The kinetic Enterprise** (<https://www2.deloitte.com/global/en/pages/technology/articles/tech-trends.html>) – **Exponentials watch list. Science and technology innovations on the horizon** – Pgs. 106 – 127. Traducción realizada por Samuel A. Mantilla, asesor de investigación contable de Deloitte & Touche Ltda., Colombia, con la revisión técnica de César Cheng, Socio Director General de Deloitte & Touche Ltda., Colombia

Lista de observaciones exponenciales

Innovaciones de ciencia y tecnología en el horizonte

SI BIEN LAS APLICACIONES DE NEGOCIOS PARA NANOTECNOLOGÍAS, SISTEMAS DE ENERGÍA, BIOTECNOLOGÍA, y tecnologías cuánticas pueden parecer a años luz de distancia, en realidad se están acercando rápidamente. En los próximos tres a cinco años, se espera surjan casos de uso de negocio y que los despliegues pioneros se aceleren alrededor de las tecnologías que alguna vez fueron futuristas. Con esto en mente, números crecientes de CIO, CTO, y estrategias de negocio ya están dando pasos exploratorios con esas y otras tecnologías exponenciales. Están sintiendo y escaneando las fuerzas disruptivas y poniendo en funcionamiento respuestas de innovación disciplinadas, deliberadas. Esos líderes entienden que esperar que los exponenciales se manifiesten como tendencias de tecnología maduras antes de tomar acción puede ser esperar demasiado tiempo.

A diferencia de otras tendencias examinadas en este reporte que demuestran claro impacto de negocios en los próximos 18 a 24 meses, las exponenciales que estamos discutiendo parecen muy pequeñas en el horizonte. Son fuerzas de tecnología emergentes que probablemente se manifestarán en el horizonte dentro de 3 a 5 años – entre 24 y 60 meses. Pero cuando se manifiesten, la velocidad con la cual impacten los mercados probablemente crecerá exponencialmente.

Para los negocios, las exponenciales representan oportunidades sin precedentes así como también amenazas existenciales. Por lo tanto, el análisis de las fuerzas exponenciales es parte honrosa de nuestra discusión anual de las tecnologías emergentes. En nuestro reporte *Tech Trends 2014*, por ejemplo, colaboramos con la facultad de Singularity University, una institución de investigación líder, para explorar inteligencia artificial, robótica, seguridad cibernética, y manufactura aditiva. En ese momento, esas tecnologías emergentes estaban superando la ley de Moore – esto es, su desempeño en relación con costo (y tamaño) se estaba más que doblando cada 12 a 18 meses.¹ Pocos años después, vemos que esas mismas tecnologías están

generando disrupción en industrias, modelos de negocio, y estrategias.

En el reporte de este año, nosotros probamos aspectos específicos de cuatro fuerzas exponenciales que están siendo impulsadas por inversión e investigación importantes a través de los sectores público y privado: materiales de nano-ingeniería, almacenamiento de energía, biología sintética, y optimización cuántica. Para cada una, proporcionamos una introducción de alto nivel – una instantánea de qué es, de dónde viene, y a dónde va.

En cada fuerza, buscamos identificar los usos precursores o las migas de adopción para la aplicación temprana a usos de negocio. Algunas, si no todas, de esas exponenciales pueden generar disrupción en industrias en 24 meses o más, pero puede haber oportunidades competitivas para la adopción temprana. Como mínimo, los ejecutivos pueden comenzar a contemplar cómo sus organizaciones pueden acoger las exponenciales para orientar la innovación.

No se deje llevar por la inacción. El tiempo para prepararse es ahora.

MI PARTE

**ROB NAIL, CEO AND
ASSOCIATE FOUNDER
SINGULARITY UNIVERSITY**

Vivimos en tiempos tumultuosos. Como hemos visto en el año pasado, los panoramas políticos están cambiando bajo nuestros pies. Noticias, señales, e información aleatoria nos llega por torrentes. Al mismo tiempo, tecnologías exponenciales tales como biología sintética, almacenamiento avanzado de energía, nanotecnología, y computación cuántica, entre otras, están a punto de generar disrupción en cada parte de nuestras vidas, en cada modelo de negocios y mercado, en cada sociedad. Eventualmente, incluso pueden redefinir qué significa ser humano.

**“LAS TECNOLOGÍAS EXPONENCIALES
INCLUSO PUEDEN REDEFINIR QUÉ
SIGNIFICA SER HUMANO.”**

¿Qué vamos a hacer con todo esto? El cambio está ocurriendo a nuestro alrededor a un ritmo que solo se acelerará. Particularmente en el reino de los exponenciales, cuando usted ve que surgen innovaciones aparentemente exponenciales, a menudo las experimentamos emocionalmente. Sentimos ansiedad respecto del cambio. Nuestra primera reacción a menudo es pagarnos a algo que sentimos estable – el pasado.

En Singularity University, estamos intentando entender a dónde se dirige este cambio. Contrario a lo que algunos pueden ver, nosotros vemos un futuro que es esperanzador y está lleno de posibilidad histórica. Mediante aprovechar las exponenciales, podríamos tener

un futuro en el cual el cáncer ya no aflija a nuestras familias. Todos – incluso los más pesimistas – pueden estar de acuerdo con que esta es una meta deseable. Estos son los lentes a través de los cuales debemos percibir todas las exponenciales. Mediante fortalecer el poder de la optimización cuántica, de los materiales de nano-ingeniería, o de la biología sintética para eliminar la escasez y elevar a los humanos, podemos resolver problemas que tradicionalmente han parecido tan desalentadores que nunca hemos imaginado un mundo sin ellos. Las exponenciales son un conductor de oportunidad, algo a lo cual no temer.

Cuando los casos de uso para las exponenciales surjan y las tecnologías maduren en los próximos tres a cinco años, no será suficiente que tecnología, ciencia, academia, y sectores de negocio se centren solamente en sus propias metas. Colectivamente, también tenemos que ayudar a construir entendimiento a través de la sociedad respecto de lo que son esas tecnologías y a dónde nos pueden llevar.

El futuro ya está aquí. El mundo que nos rodea está cambiando cada día, y continuará haciéndolo. A menos que nos equipemos con una nueva visión del futuro y con las herramientas para navegarlo, nos despertaremos cada mañana y estaremos sorprendidos. En Singularity University, nosotros consideramos que está llegando un nuevo camino para construir conciencia de hacia dónde vamos y, con algún rigor, hablar acerca de cómo las exponenciales pueden ayudarnos a que todos construyamos un futuro de abundancia.



Centro de atención: Materiales de nano- ingeniería

La palabra nano a menudo es usada para describir algo inusualmente pequeño. Por ejemplo, Tata Motors desarrolló un automóvil compacto principalmente para el mercado de la India, al cual denomina el Nano.² Pero más allá de su uso descriptivo diminutivo en el mercadeo de productos, nano tiene una definición mucho más precisa. Usando un metro como unidad de medición, un nanómetro es definido como la billonésima parte de un metro (esto es, $1/1,000,000,000$). Si es difícil imaginarla, intente usar un átomo de carbón como unidad de medición. Un nanómetro es del tamaño de tres átomos de carbón ubicados lado a lado. En comparación, un solo cabello humano tiene entre 80,000 y 100,000 nanómetros de ancho.³

La nano-fabricación – el proceso de elaborar cosas a escala nano – representa una importante capacidad emergente. Para crear cosas más pequeñas que 10 nanómetros, típicamente giramos a la química avanzada; en algún grado, uno puede atribuir los logros de la industria farmacéutica a su capacidad para crear moléculas precisas a esas escalas de longitud. Las tecnologías más tradicionales de fabricación, tales como las mecanizadas, pueden mostrar características que estén cercanas al tamaño de un cabello humano, pero dejan una brecha de mil veces en las escalas de longitud entre la elaboración de moléculas y la mecanización. La nano-fabricación es un conjunto de tecnologías y técnicas que permiten hacer cosas en este rango de tamaño.⁴

El conductor para desarrollar capacidades de nano-fabricación viene de una variedad de desafíos y oportunidades diferentes que surgen a esta escala. Quizás el conductor más visible ha sido la demanda por computadores más baratos y de desempeño más alto. La ley de Moore, el doblaje periódico de la densidad del transistor – el número de transistores que pueden caber en un chip – es un resultado directo del desarrollo de máquinas que puedan crear patrones cada vez más finos de semiconductores. En el año 2014, Intel envió chips con resolución de 14 nanómetros. Las características más pequeñas incluidas en esos chips fueron cubiertas por menos de 50 átomos de silicio.⁵

La medicina también conduce la demanda para la nano-fabricación. La vida surge a una escala nano a través de un conjunto complejo de “máquinas” moleculares que copian el DNA y sintetizan las proteínas; las moléculas que llevan a cabo esos procesos tienen tamaño de 10-100 nanómetros. La nano-fabricación podría ser usada para elaborar objetos que ya sea imiten este proceso – por ejemplo, para fabricar proteínas que luego puedan ser usadas como drogas – o lo inhiban directamente para tratar enfermedades.⁶

Una tercera área que conduce el desarrollo de la nano-fabricación es el rol que las nano-estructuras tienen en las superficies, en la forma de revestimientos, lubricantes, y adhesivos. Las nano-estructuras pueden impedir que el agua se filtre en la superficie, haciendo fábricas resistentes al agua y espejos y ventanas que no se empañen. De manera similar, las superficies nano-estructuradas pueden impedir la formación de hielo, por ejemplo, en las alas de una aeronave, haciendo mucho más seguro volar y eliminando la necesidad de la aplicación repetida de agentes descongelantes.⁷ Una importante aplicación de negocios aborda hoy el desgaste y la fricción. Esos factores físicos, así como también la adhesión, son producto de la interacción entre superficies a escala nano.

Verificación de la realidad

¿Entonces cuáles son algunos ejemplos actuales de productos de nano-ingeniería que probablemente impacten los negocios hoy o en el futuro cercano?

Además de los circuitos integrados, los ejemplos de productos hechos mediante nano-fabricación incluyen nano-partículas de plata que matan bacterias y están integradas en ropa y en dispositivos médicos para prevenir la infección; nano-partículas de titanio que bloquean la luz UV y cuando se integran en una loción o en un atomizador y son aplicados a la piel previenen la quemadura por acción de la luz solar; y nano-partículas de pigmentos que hacen más brillantes las pinturas y revestimientos que impiden la corrosión.⁸

Las asperezas de fabricación – imperfecciones que permanecen en las superficies luego de las técnicas modernas de fresado y maquinado – son comunes a escala micrón, pero las moléculas lubricantes todavía son más grandes que ellas. Mediante cambiar las características de la superficie a escala nano, o mediante introducir materiales nano-estructurados entre las superficies, la fricción puede ser reducida para proporcionar súper-lubricación, o pueden ser mejoradas para proporcionar súper-adhesión.⁹

NanoMech elabora un lubricante nano-estructurado diseñado para mitigar esos efectos para componentes mecánicos críticos tales como engranajes, rodamientos, válvulas, y puntos de chasis. Está diseñado para abordar problemas como desempeño bajo presión extrema, anti-desgaste, anti-fricción, protección ante la corrosión, y estabilidad a temperatura extrema, con el fin de permitir la extensión de la vida de servicio y reducir el costo de mantenimiento de sistemas mecánicos. Más allá del hecho de que el lubricante o el revestimiento esté diseñado y fabricado para casos de uso de negocio específicos, más que inventar maneras completamente nuevas para elaborar materiales nano-estructurados, la compañía usa tecnología de fabricación fuera-de-la-plataforma abajo y a

Sin embargo, las capacidades de la nanotecnología similares-a-ciencia-fricción, se están volviendo evidentes hoy. Por ejemplo, AtomOil y AtomLube, de NanoMech, realizan auto reaprovisionamiento, lo cual significa que cuando la fricción deja aparte las moléculas del lubricante nano-fabricado, moléculas adicionales son atraídas hacia la interfaz. Las aplicaciones pueden incluir equipo para producción de petróleo y gas; motores y otras máquinas usadas en los sectores de marina, agricultura, y minería; y técnicas de macro-fabricación, incluyendo fundición y mecanizado.¹⁰

MI PARTE

JIM PHILLIPS, CHAIRMAN AND CEO NANOMECH

En NanoMech, nos consideramos pioneros en nano-mecánica. Nosotros diseñamos y hacemos ingeniería de productos a escala nano al tiempo que continuamos produciéndolos a escala macro. El lema de nuestra compañía es, "Hacemos que los átomos trabajen duro."

“DE ACUERDO CON ALGUNOS ESTIMADOS, CADA DÍA CADA HUMANO EN LA TIERRA USA EN PROMEDIO 10 MÁQUINAS. EN LA MEDIDA EN QUE LA POBLACIÓN CREZCA, LO HARÁ EL NÚMERO DE MÁQUINAS EN OPERACIÓN.”

En el mundo de los lubricantes industriales, hay un viejo dicho: el mejor mantenimiento es el mantenimiento bajo. Los lubricantes y revestimientos de nano-ingenería les ayudan a nuestros clientes en los sectores de fabricación, energía, automotores, y defensa a incrementar el desempeño mecánico, la eficiencia, y la durabilidad al tiempo que se reducen los tiempos muertos. Esos diseños también respaldan la sostenibilidad: a escala nano, podemos eliminar materiales tradicionalmente usados en lubricantes tales como cromo y derivados del petróleo.

Si todos los problemas en los sistemas mecánicos y de fabricación son a escala nano, se sigue que las soluciones también deben ser a escala nano. Nuestras soluciones son hechas posibles por poderos sistemas de lentes mecánicos a través de los cuales vemos tanto las necesidades del presente como las oportunidades del futuro.

Considere el mercado potencial para esos productos: de acuerdo con algunos estimados, cada día cada humano en la tierra usa en promedio 10 máquinas. En la medida en que la población crezca, lo hará el número de máquinas en operación, todas ellas requiriendo productos como los nuestros.

La habilidad para hacer ingeniería a escala nano nos está ayudando a satisfacer esta demanda. En el curso de seis años, NanoMech ha crecido de la oferta de un producto a la de 80. Por otra parte, hemos podido orientar esos niveles de crecimiento usando componentes fuera-de-la-plataforma. Como práctica, tomamos máquinas diseñadas y utilizadas para otros propósitos y las adaptamos para uso en la elaboración de productos de nano-ingenería y nano-fabricados. Ocasionalmente vemos compañías que enfocan la nano-ingenería mediante elaborar desde el principio las máquinas que necesitan. Trabajar a escala nano no requiere que usted reinvente la rueda; hacerlo es, en mi opinión, un desperdicio de tiempo y dinero.

Se espera ver que la nanotecnología despegue en los próximos dos a tres años con la expansión de la robótica, lo cual representa una intersección de los mundos mecánico y electrónico. A plazo más largo, probablemente veremos una proliferación de soluciones de nanotecnología en nichos de mercado. Por ejemplo, la industria farmacéutica ya está haciendo ingeniería de nuevas moléculas a escala nano. Y más probablemente le seguirán. En la medida en que avancemos hacia el futuro, la ciencia de materiales puede ser el catalizador para realizar nuevas posibilidades.

Centro de atención: almacenamiento de energía

A medida que el mundo aborda su dependencia de la energía basada-en-el-carbón, el sol brilla intensamente y el viento sopla a nuestras espaldas. En el año 2014, las fuentes eólicas y solares representaron aproximadamente el 1 por ciento de la energía consumida globalmente – solo una parte minúscula del consumo, pero una que está creciendo rápidamente.¹¹ Durante los últimos 15 años la capacidad eólica se ha doblado casi cuatro años y la solar cada dos.¹² Y con los costos de generación continuamente cayendo, esta tendencia exponencial se espera continúe, con esas fuentes renovables proyectándose proporcionen dos tercios de las adiciones de capacidad de nueva generación en los próximos 25 años.¹³

Sin embargo, los logros de las fuentes de energía renovable también anuncian un desafío que en últimas puede limitar su adopción. A diferencia de muchos modos tradicionales de generación de electricidad, las fuentes eólica y solar están a la merced de los caprichos de la naturaleza – sin viento o sol, no se produce energía. Hay maneras para aliviar este desafío. Por ejemplo, dado que la producción del viento típicamente es mayor en las horas de la noche que en el día,¹⁴ puede haber oportunidad para desplegar de manera sinérgica capacidades eólicas y solares.

Incluso si fuéramos a acoger este enfoque, persiste un desafío fundamental: alinear la producción de energía con el consumo de energía. El desafío de almacenar energía a escala masiva hasta que sea necesitada por los consumidores no es nuevo. Una solución, impulsada por el almacenamiento hidroeléctrico, tiene aplicaciones que vienen desde el siglo 19. En una facilidad de almacenamiento impulsada por hidroeléctrica, el agua es bombeada hacia arriba cuando la electricidad es abundante (y barata) y luego liberada para que fluya cuesta abajo hasta las turbinas de generación de energía cuando la electricidad sea escasa (y valiosa). Por algunas razones, el enfoque hidroeléctrico impulsado es ampliamente efectivo: esta tecnología representa un estimado del 99 por ciento del almacenamiento total de energía en el mundo.¹⁵

Pero si bien el almacenamiento impulsado es un mecanismo de almacenamiento útil y relativamente eficiente, está restringido por el acceso al agua y a los depósitos, así como también por la topografía. Por consiguiente, el dominio de la hidroeléctrica impulsada habla menos de sus ventajas que de la ausencia histórica de alternativas creíbles orientadas al almacenamiento centralizado de gran escala en la red eléctrica. Y este es un problema real: con la ampliación masiva de fuentes de energía tales como eólica y solar, y la creciente descentralización de la producción de energía, necesitaremos más capacidad de almacenamiento de

energía así como también la habilidad para desplegarla de manera flexible en diferentes geografías, tamaños de unidades, y aplicaciones industriales y de consumo.

Verifique la realidad

La buena noticia: la última década ha visto que surge una explosión de tecnologías de almacenamiento nuevas y mejoradas, incluyendo baterías más eficientes, aire comprimido, y sal fundida. Las empresas de servicios públicos están desplegando esos enfoques en o cerca de las fuentes de generación. Los siguientes ejemplos resaltan algunos desarrollos notables:

- Favorecida por el sol pero enfrentando algunos costos para importar combustible, la isla hawaiana de Kauai es un consumidor líder de energía renovable. En los días soleados, la luz solar aporta el 70 por ciento de la generación de energía, lo cual disminuye con la llegada de nubosidad. Lo que es más, el pico de la demanda de energía es por la noche. Para cerrar la brecha, la Kauai Island Utility Cooperative está trabajando con el proveedor de sistemas de energía SolarCity para construir una nueva granja solar y facilidad de almacenamiento, con energía almacenada en baterías de ion de litio suministradas por la compañía fabricante de automotores y almacenamiento de energía Tesla. La planta generará capacidad durante el día, almacenará toda la cantidad de energía generada, y luego la liberará durante las horas nocturnas de alta demanda.¹⁶
- En Lake Ontario, la compañía canadiense que inicia Hydrostor ha lanzado un programa piloto usando aire comprimido. En este enfoque, el aire es comprimido e impulsado a una serie de globos submarinos. Cuando la energía es requerida, el aire es liberado, expandido, y usado para crear electricidad.¹⁷
- En operaciones comerciales el Crescent Dunes Solar Energy Project de 110 megawatios por hora de Solar Reserve, en el desierto de Nevada, ha desplegado un sistema solar térmico en el cual un campo grande de espejos concentra los rayos del sol para calentar la sal fundida. La sal caliente es luego almacenada, a una temperatura de 1,000 grados Fahrenheit en un tanque de almacenamiento aislado de 140 pies de diámetro, hasta cuando se necesite. En ese punto, la sal caliente es usada para crear una corriente de turbinas de energía, igual que una planta convencional de fósiles o nuclear. Usando este método, cada día la facilidad de Crescent Dunes puede almacenar hasta 1,100 MWh de energía generada mediante concentrar la matriz solar dentro de la sal.¹⁸

Quizás más importante, las tecnologías de almacenamiento de energía pronto pueden ofrecer más opciones para el consumidor final, permitiendo que los consumidores almacenen energía en o cerca del punto de consumo. Los siguientes ejemplos destacan algunos desarrollos notables:

- En Japón, el gobierno ha establecido la meta de que todos los edificios públicos recientemente construidos, para el 2020 sean capaces de generar toda la energía que necesiten, con el mismo estándar de energía cero para las residencias privadas para el 2030, proporcionando un fuerte incentivo para el desarrollo de almacenamiento a escala residencial.¹⁹
- En los Estados Unidos, varias empresas de servicios públicos están ofreciendo a sus clientes productos de almacenamiento de energía, y con el crecimiento de las instalaciones de paneles solares, innovadores del almacenamiento de energía tales como Tesla, Orison, y SimpliPhi Power están mercadeando sus tecnologías de batería directamente a los consumidores finales.

Si bien la piedra angular de la disrupción puede ser los mejoramientos exponenciales tanto en generación como en almacenamiento de energía, la piedra clave puede muy bien ser la próxima revolución en el modelo de negocios, dado que nuevos modelos complementan el modelo tradicional de generación centralizada de energía y distribución de-una-vía para múltiples puntos de consumo distribuidos. Con tal conjunto amplio y creciente de tecnologías emergentes de almacenamiento de energía – cada uno con diferentes características de desempeño y económicas – los patrones de adopción de los negocios y del consumidor minorista probablemente serán difíciles de predecir para el futuro previsible. Pero independiente de cuáles tecnologías surjan como líderes, tanto a los consumidores como a los productores de energía se les presentarán más opciones y más complejidad, transformando las relaciones tradicionales de oferta, demanda, y económicas entre muchas partes.

Si su negocio consume grandes cantidades de energía, ¿cuál es su respuesta de innovación ante esta fuerza de disrupción?

MI PARTE

TOMÁS DÍAZ DE LA RUBIA, PH.D.
CHIEF SCIENTIST AND EXECUTIVE
DIRECTOR, DISCOVERY PARK
 PURDUE UNIVERSITY

Una de las mega-tendencias globales clave que los investigadores estudian en Discovery Park es el crecimiento de la demanda de energía, el cual para el 2050 se incrementará entre el 40 y el 60 por ciento, de acuerdo con el World Energy Council. El transporte probablemente representará una parte considerable de esa demanda que crece. Mi punto de vista siempre ha sido que no estamos muy cerca de desarrollar tecnologías *óptimas* de almacenamiento de energía que puedan ser usadas en carros, buses, trenes, y otros modos de transporte. Si bien hoy estamos viendo la expansión del uso de baterías de iones de litio, hay mucho por hacer para mejorar el desempeño de la batería y reducir costos mediante la fabricación masiva. Por otra parte, en este espacio hay demasiada innovación como para considerar que el ion de litio sea la única respuesta a nuestras necesidades de almacenamiento. Si bien el desarrollo en esta área actualmente está en la etapa inicial de investigación, está ocurriendo a nivel global.

Recientemente compré un carro eléctrico. Este modelo es promocionado como que tiene un rango de 85 millas, lo cual es suficiente para conducir alrededor del pueblo. Sin embargo, me he dado cuenta que si la temperatura exterior se hace más cálida o fría, este carro puede perder hasta el 30 por ciento de este rango. Esta es la realidad de las baterías de ion de litio en los carros – el rango que ofrecen puede ser menor que el que esperamos.

Pero ello es en el corto plazo. Hay una tendencia exponencial en el almacenamiento de energía; actualmente hay en desarrollo tecnologías que probablemente proporcionarán una densidad mucho más alta de energía.

También, pronto podremos ver que surjan tecnologías diferentes que puedan ser usadas en la red, más que para el transporte. Las características de volumen y peso no son tan importantes para la red – y el almacenamiento no tiene que ser un paquete de la batería. Las baterías redox, que son una combinación de batería de flujo y sistema de dos-electrolitos, están entre las tecnologías más prometedoras. Tal y como ocurre con muchas innovaciones, puede haber desafíos de materiales, pero en principio las baterías redox pueden ser más baratas que las de ion de litio, lo cual podría ubicarlas mejor para uso en la red – ya sea centralizada o distribuida alrededor de puntos de generación y consumo.

“SI BIEN HOY ESTAMOS VIENDO EXPANSIÓN DEL USO DE LAS BATERÍAS DE ION DE LITIO, ES MUCHO LO QUE SE PUEDE HACER.”

Si bien pienso que los avances en las tecnologías de almacenamiento de energía pueden, en los próximos años, entregar una penetración que haga posible \$100 por kWh de almacenamiento de red, en el futuro previsible el sector del transporte probablemente orientará la innovación. Viene más demanda del transporte que de la red, donde la generación de energía renovable continúa creciendo. También pienso que el sector público tiene un rol crítico para jugar en este espacio, específicamente en la reducción de algunos riesgos asociados con investigación y desarrollo.

Centro de atención: biología sintética

La Convention on Biological Diversity define la biotecnología de manera amplia como cualquier aplicación tecnológica que use sistemas biológicos, organismos vivos, o sus derivados para hacer o modificar productos o procesos para uso específico.²⁰ Esta definición deja claro que el potencial impacto disruptivo de la biotecnología no está limitado a los grandes jugadores en atención en salud y agricultura. Además, a medida que aumenta su impacto potencial, la biotecnología tiene relevancia para productos industriales, energía y recursos naturales, alta tecnología, y otras industrias.

Este año nos estamos centrando en un área de la biotecnología – la biología sintética – y en un inminente precursor de tecnología para la edición y reparación de genes. Asif Dhar, directivo y director de informática jefe de Deloitte Consulting LLP, de manera sucinta describe la biología sintética como “hacer bio-ingeniería de una cosa que luego crea una sustancia.” Un ejemplo puede ser la ingeniería de algas para producir alcoholes para combustibles, polímeros, o materiales de construcción tales como pinturas y recubrimientos.²¹ Buena parte del progreso en la biología sintética no se refiere a editar el comportamiento básico de la célula sino a adicionar código a la célula para hacer que responda de manera diferente a señales de una manera que la célula aceptará. Esta es una redirección específica de la intención de la célula, lo cual requiere un entendimiento profundo de la célula específica para hacerlo con confianza.

Las implicaciones van más allá de la ciencia y de los modelos de negocio a través de las industrias. Las enfermedades genéticas son relativamente raras pero usualmente severas – se puede requerir cuidado para toda la vida o terapéuticas de largo plazo. El cuidado crónico hoy a menudo es visto que impulsa la fisiología de nuevo en su lugar con los regímenes farmacéuticos en curso. Concebiblemente la biología sintética podría ofrecer terapia de una vez sin necesidad de volver a tratamiento. En tal caso, ¿cuál es el mejor enfoque para el pago y el reembolso cuando toda una vida de beneficio proviene de un tratamiento?

De manera comprensible, las aplicaciones médicas de la biotecnología están rodeadas de controversia. ¿Alguna parte de la sociedad determinará qué línea germinal o ingeniería en el útero es aceptable? ¿Las personas comenzarán a reclamar otros cambios en su genoma? ¿La ética variará según el país o la cultura? Esas son grandes preguntas.

Independiente de ello, el prospecto de corregir permanentemente desórdenes genéticos heredados tales como fibrosis quística, anemia falciforme, y ciertos tipos de cáncer pueden incitar optimismo para quienes sufren esas condiciones y, potencialmente, miedo para quienes

imaginan manipulación del genoma humano de maneras maliciosas. Los debates regulatorios y éticos han sido tan vibrantes como la investigación científica, y esos problemas están lejos de ser solucionados. No obstante ello, entender las aplicaciones médicas, industriales, y de la biología sintética que tiene esta fuerza de disrupción es un paso importante hacia percibir importantes consideraciones de negocio que pueden darle forma a nuestro futuro.

Verifique la realidad

Actualmente, hay una ráfaga de invenciones de biología sintética, e IPO, con un área en particular crujiendo de actividad: la edición de gene con CRISPR.

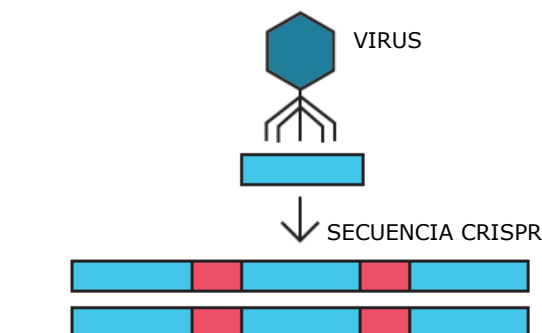
CRISPR - clustered regularly interspaced short palindromic repeats (repeticiones palindrómicas cortas agrupadas intercaladas regularmente) – es una tecnología de edición genómica. Más que centrarse en crear nuevas capacidades o comportamiento, la enzima de CRISPR actúa como tijeras moleculares, cortando el DNA en el punto especificado para permitir la edición y corrección del código genético para que trabaje tal y como originalmente se tuvo la intención.²² Tom Barnes, director científico jefe de Intellia Therapeutics Inc., se refiere al proceso de edición del genoma como “corregir tipos en el Libro de la Vida.” Los biólogos han tenido las herramientas para editar el genoma, pero CRISPR representa una técnica más eficiente, exacta, y maleable que otras herramientas a su disposición.

Para entender más claramente este proceso, imagine una fábrica que produce un solo componente para una máquina compleja, grande. Este componente es una de las numerosas partes de la máquina, pero no obstante ello es crítica. Así, debido a un pequeño error en el software de fabricación, este componente tiende a fallar tan pronto como la máquina comienza la operación. Por suerte, la compañía identifica el error y repara el software, y el componente se convierte en una parte confiable de la máquina mayor.

La célula humana es similar a una facilidad de fabricación minúscula, con el DNA actuando como instrucciones de software para la función celular. La célula humana posee varios pesos y contrapesos para asegurar su integridad genómica, y si bien es eficiente en su tarea, algunas veces ocurren errores.²³ En algunos casos, el daño ambiental o la herencia genética causan errores en esas instrucciones. Antes de CRISPR, no había un mecanismo sintético preciso, no costoso y eficiente, para identificar la localización para reparar un gene específico y manipular el código hacia un resultado terapéutico positivo – esto es, no había un método sintético de “reparación” de errores en el genoma humano a través del conjunto amplio de defectos genéticos conocidos que resultan en enfermedad o en condiciones crónicas.²⁴

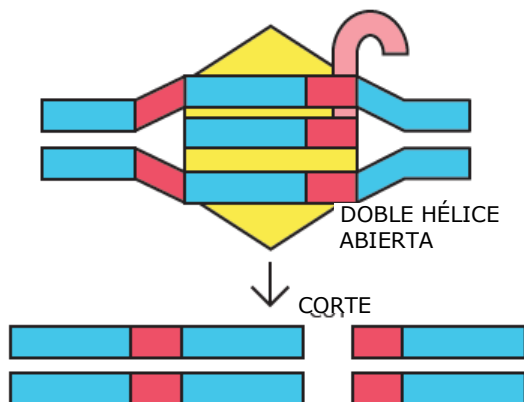
Figura 1. ¿Cómo funciona el CRISPR/Cas9?

El sistema CRISPR/Cas9 es derivado del sistema bacteriano inmune, un proceso usado para defendernos contra los virus. Las regiones CRISPR están compuestas de DNA corto que se repite y esparce, así como regiones hacia arriba que se codifican por la maquinaria requerida para editar el genoma (Proteínas Cas). El sistema bacteriano CRISPR inmune edita de manera efectiva el genoma usando los siguientes pasos básicos:



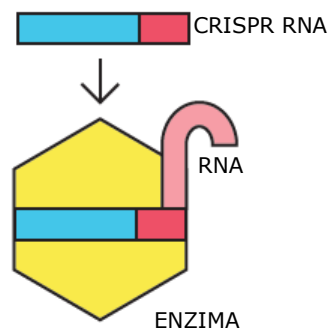
1 Adaptación

El DNA de virus invasores previamente no visto es procesado en segmentos cortos que son insertados en secuencias de CRISPR como nuevos esparcidos.



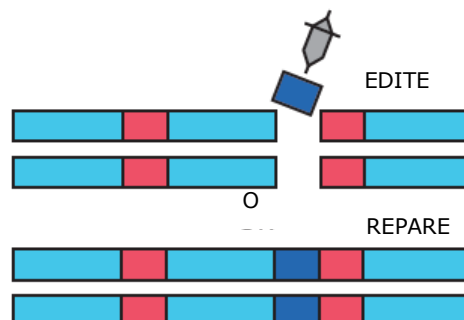
3 Orientación

Dado que las secuencias CRISPR RNA son copiadas del DNA viral, son ajustes exactos del genoma viral y por lo tanto sirven como guías excelentes. Cuando se encuentra una hebra coincidente del DNA, la enzima abre la doble hélice y corta ambos lados, deshabilitando el DNA viral.



2 Producción de CRISPR RNA

CRISPR repite y esparce el DNA sometido a transcripción, el proceso de copiar el DNA en el RNA. El RNA resultante es una molécula de una sola-cadena que es cortada en piezas cortas denominadas CRISPR RNA. La enzima Cas9 y la segunda pieza de RNA son adheridas, formando una estructura que desenrollarán y atarán al DNA que se ajusta con la secuencia del esparcido.



4 Edición

Los investigadores hacen reingeniería del sistema bacteriano para permitirle que edite más que el DNA viral. Usan herramientas de CRISPR/Cas9 para orientar regiones del genoma, desactivar genes, o cortar e insertar nuevo DNA, editando de manera efectiva la secuencia del DNA.

Fuentes: Andrew Pollack, "A powerful new way to edit DNA," *New York Times*, March 3, 2014, <https://nyti.ms/2k5xxdx>; Ekaterina Pak, "CRISPR: A game-changing genetic engineering technique," Harvard University blog post, July 31, 2014, <http://sitn.hms.harvard.edu/-flash/2014/crispr-a-game-changing-genetic-engineering-technique>.

Si bien los avances en la biología sintética pueden hacer posible cambiar cualquier sistema viviente en uno que podamos manipular genéticamente, pocos sistemas están suficientemente entendidos hoy para que sean susceptibles a tal manipulación. Los sistemas y trucos actualmente usados para manipular las moscas de la fruta, por ejemplo, fueron desarrollados en el curso de 100 años. Actualmente hay poco conocimiento o experiencia comparable que pueda ser usado como base para de manera similar manipular otras líneas de células potencialmente valiosas.

Los usos actuales de CRISPR se centran en reparar las células de nuevo para la función que se tiene la intención. Eso permite un punto de partida menos complejo y un conjunto de capacidades potencialmente menos controversial.

De manera similar, la industria de la agricultura está usando técnicas de CRISPR para moverse más rápido que en el pasado en lo que tiene que ver con reproducción e hibridación selectivas. Por ejemplo, los champiñones

modificados con CRISPR no se negrean con la manipulación y el envío.²⁵

En la actualidad CRISPR está avanzando desde una herramienta de plataforma a terapéutica. Los académicos están colaborando con los negocios para abordar la regulación, la escala, y los rigores del desarrollo. Los desarrollos y las aplicaciones de la tecnología de CRISPR continuarán siendo reportados y debatidos en la medida en que avancen, pero no es temprano para que los negocios comiencen a considerar los impactos.²⁶ Con el National Institutes of Health proyectando que los costos del cáncer lleguen a \$158 billones para el 2020,²⁷ el potencial de CRISPR como un tratamiento para el cáncer ofrece esperanza para consumidores y proveedores de atención en salud que sucumben ante el costo y complejidad incrementados de los nuevos tratamientos. Farmacéuticas, petróleo y gas, y fabricantes de químicos están siguiendo de manera cuidadosa el potencial de la biología sintética para hacer ingeniería a organismos con el fin de producir químicos complejos y otros componentes.

MI PARTE

**THOMAS BARNES, PH.D.,
CHIEF SCIENTIFIC OFFICER
INTELLIA THERAPEUTICS**

Desde que el genoma humano fue mapeado en el año 2000, los científicos han identificado los genes individuales responsables por 4,300 desórdenes genéticos, muchos de los cuales pueden afectar negativa y drásticamente la calidad de vida de un individuo o reducir su esperanza de vida.

“MIS COLEGAS Y YO CONSIDERAMOS QUE CRISPR TIENE EL POTENCIAL PARA TRANSFORMAR LA MEDICINA MEDIANTE PERMANENTEMENTE EDITAR EN EL CUERPO HUMANO, LOS GENES ASOCIADOS CON ENFERMEDAD, DENTRO DEL CURSO DE UN SOLO TRATAMIENTO.”

Imagine un futuro en el cual esos desordenadores genéticos – condiciones crónicas tales como fibrosis quística y hemofilia, que han afligido a los humanos desde épocas inmemoriales – ya no constituyen una carga para nosotros. En Intellia Therapeutics, estamos desarrollando terapias basadas en tecnología CRISPR que consideramos harán realidad esta visión.

En Intellia, mis colegas y yo consideramos que CRISPR tiene el potencial para transformar la medicina mediante permanentemente editar en el cuerpo humano, los genes asociados con enfermedad, dentro del curso de un solo tratamiento.

CRISPR permite la edición del genoma – la modificación precisa y orientada del material genético de las células. Como una tecnología exponencial, su potencial disruptivo es profundo. En la industria farmacéutica hemos visto considerable trabajo durante los últimos 20 años para identificar genes y variantes de genes que directa o indirectamente orienten la enfermedad. En agricultura, los científicos están explorando oportunidades para hacer los cultivos más resistentes a hongos y bacterias, y

al ganado más resistente a la enfermedad. Y en la industria y la academia, los científicos se están preparando para usar CRISPR para editar células en humanos para luchar contra un rango de enfermedades. Al igual que las ondulaciones que se extienden en un estanque, CRISPR probablemente generará disrupción por muchos años en las industrias farmacéutica, agrícola, y otras. En el centro está el efecto en quienes sufren enfermedad genética. Así, si bien surge una serie de preguntas éticas, por ejemplo, en la edición de la línea germinal (DNA de espora y huevo para permanentemente afectar generaciones futuras), y en editar y liberar organismos en el entorno para cambiar balances ecológicos (orientadores de genes). Esas cuestiones necesitan consideración cuidadosa de parte de la sociedad en general, y requieren que sean abordadas. En Intellia, hemos escogido no participar en la edición de la línea germinal y estamos centrados en las células somáticas, donde hoy podemos orientar de manera directa las enfermedades genéticas.

Durante los próximos cinco años, veremos diferentes esfuerzos clínicos usando tecnologías de edición del genoma. Probablemente veremos avances orientados por CRISPR en el desarrollo de drogas, con terapias útiles siguiéndoles brevemente después.

Más allá de ello, es difícil predecir cómo será la ciencia de la edición digital en el 2027 o siguientes. En este momento, tenemos la herramienta para ir al interior de una célula y cambiar su DNA. El desafío que encontramos es ir al interior de la célula correcta. En la medida en que mejoremos ese proceso, exponencialmente ampliaremos las posibilidades de CRISPR. Y cuando amplíemos esas posibilidades, de manera inevitable encontraremos cuestiones éticas acerca de cómo esta tecnología puede y debe ser desplegada. En Intellia, nos estamos centrando en el bien que potencialmente podemos hacer por las personas que sufran enfermedades genéticas. Piense acerca de ello: en el futuro, es posible que no tengamos que tomar las cartas que nos repartan – podemos intercambiar algunas.

Centro de atención: optimización cuántica

La tecnología cuántica puede ser definida de manera amplia como la ingeniería que explota las propiedades de la mecánica cuántica en aplicaciones prácticas en computación, sensores, criptografía, y simulación.²⁸

La mecánica cuántica, una rama de la física que trata la naturaleza de la materia a nivel atómico o sub-atómico – puede ser contraintuitiva. Las partículas se comportan como ondas, experimentan incertidumbre cuántica, y muestran el fenómeno de maraña no-local que Einstein famosamente denominó “acción espeluznante a distancia.” Dado que la mayoría de los fenómenos cuánticos están confinados a la escala de los átomos y las partículas fundamentales, los materiales y métodos no-tradicionales están requeridos a explorarlos y explotarlos.²⁹

Como resultado, los esfuerzos para utilizar la tecnología cuántica para la computación están orientados-al-hardware, usan materiales exóticos, y están centrados en la meta de lograr estados cuánticos durables que sean programables – esto es, buscar un computador cuántico de propósito-general. Permanecen obstáculos difíciles de ingeniería. No obstante, hay en camino una carrera activa para lograr un estado de “supremacía cuántica” en el cual un computador cuántico demostrable sobrepase la capacidad combinada de solución de problemas de los actuales supercomputadores del mundo – al menos para una cierta clase de problema.

Actualmente, el computador Sunway TaihuLight en Wuxi, China, puede operar 10.6 millones de núcleos que comprenden 40,960 nodos, y puede realizar 93 peta operaciones de punto flotante por segundo (FLOPS = floating-point operations per second). Eso es cerca de 10,000 veces más rápido que una GPU de gama alta actual. En contraste, un chip de una sola puerta cuántica con alrededor de 60 bits cuánticos (qubits) podría, teóricamente, ser más poderoso que el computador TaihuLight.³⁰

Cualesquiera compañías que ganen la carrera por la “supremacía cuántica” aprovecharán algunos efectos cuánticos clave en sus arquitecturas, incluyendo superposición, tunelización, y enredo.

La superposición permite que un bit cuántico tenga valores de cero y uno *simultáneamente*, y en la tunelización cuántica, las partículas se comportan como ondas para cruzar ciertos estados de energía. Estos

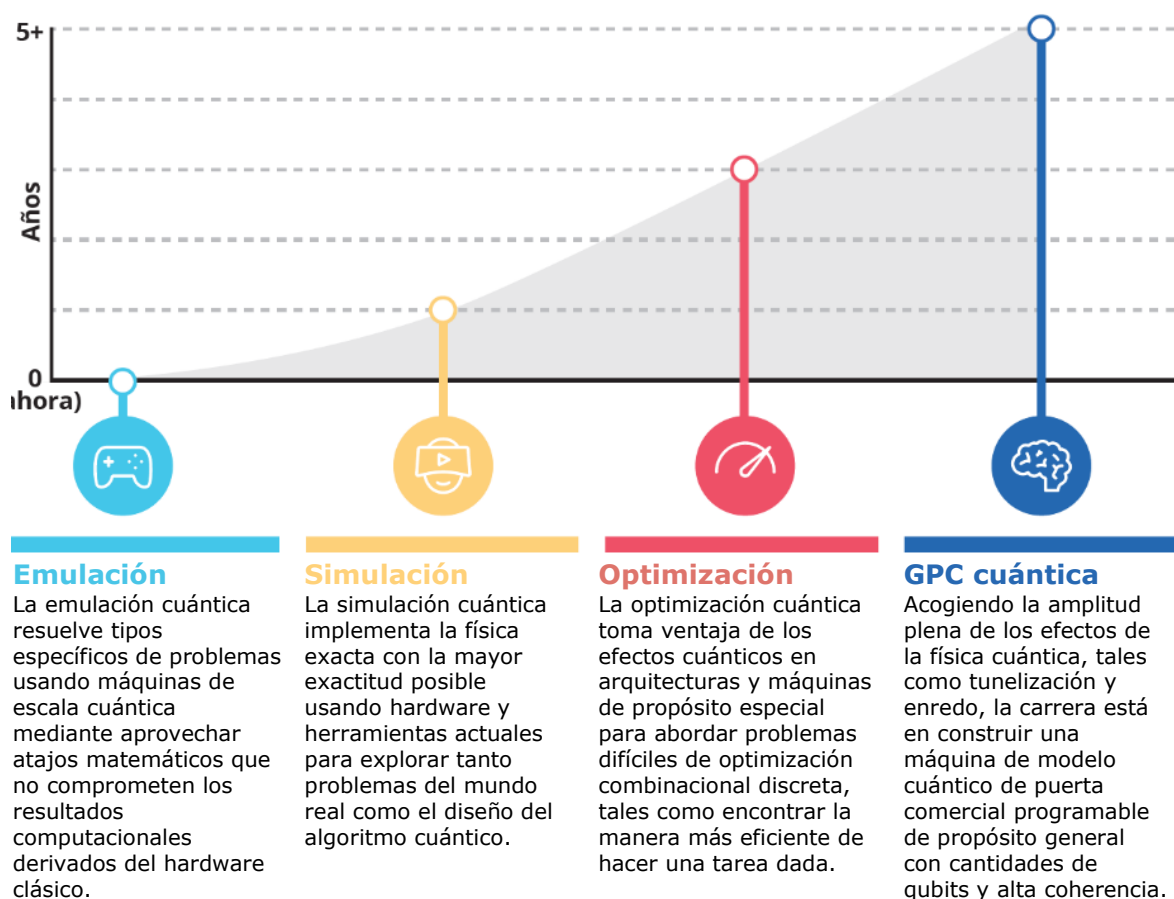
hechos no-intuitivos permiten que los computadores cuánticos resuelvan problemas combinatoriales discretos complejos que sean intratables por los computadores clásicos en franjas de tiempo prácticas. Por ejemplo, el aprendizaje de máquina aprovecha el reconocimiento de patrones – comparar muchos casos de grandes conjuntos de datos para encontrar el modelo de aprendizaje que efectivamente describe esos datos. Aplicar superposición y tunelización, permite manejar muchos más patrones en muchas más permutaciones mucho más rápidamente que un computador clásico. Un efecto colateral clave es el agrietamiento de los esquemas actuales de encriptación y protección de datos.³¹

Afortunadamente, el efecto de enredo respalda la criptografía cuántica, usando el “ruido compartido” del enredo para empoderar una almohadilla de una sola vez. En el enredo cuántico, qubits físicamente distantes están relacionados de manera que las mediciones de uno puedan depender de las propiedades del otro. Medir cualquier miembro de un par enredado destruye el enredo compartido. Esto crea un uso de negocios para que remitentes o receptores más fácilmente detecten el “pinchado de líneas” en las comunicaciones digitales.³²

La computación cuántica en gran escala, si ocurre, podría ayudar a abordar desafíos de negocios y gubernamentales del mundo real. Peter Diamandis ofrece ejemplos de varias disciplinas dispares. Hacia la medicina personalizada, los computadores cuánticos podrían modelar interacciones de drogas para todas las 20,000 y más proteínas codificadas en el genoma humano. En la ciencia del clima, la simulación facilitada-cuánticamente podría descubrir nuevas luces en el impacto humano ecológico. Finalmente, las simulaciones cuánticas parecen ser un modelo mucho mejor para muchos sistemas del mundo real como la fotosíntesis. Abordar tales procesos con computadores cuánticos podría llevar a avances y descubrimientos biomiméticos a través de muchas industrias y casos de uso.³³

Verifique la realidad

En la medida que las compañías esperan un modelo que abra la puerta comercial para la máquina cuántica con cantidades de qubits y alta coherencia – esto es, un computador cuántico de propósito general – pueden experimentar con ciertas aplicaciones que usan simulación cuántica y emulación cuántica. Esos enfoques hoy están en uso y pueden mostrar tanto el camino hacia como el potencial de la GPC [general purpose computing = computación de propósito general] cuántica plena.

Figura 2. El futuro de lo cuántico: años para el impacto general de negociosDeloitte University Press | dupress.deloitte.com

La simulación cuántica implementa la física cuántica exacta (tal y como la conocemos hoy) con el hardware y las herramientas que tenemos hoy. Esto es, la simulación cuántica imita directamente las operaciones que un computador cuántico realiza, usando la computación clásica para entender los efectos exactos de cada puerta cuántica en la máquina simulada.

La emulación cuántica orienta los procesos aventajados-cuánticamente sin la física exacta, usando atajos matemáticos que no comprometen los resultados. Esto es, la emulación cuántica solo es requerida para retornar al mismo *resultado* que obtendría un computador cuántico perfecto. En lugar de compilar un algoritmo para hardware cuántico específico, atajos clásicos rápidos pueden ser ejecutados por el emulador. Dependiendo del nivel de abstracción para la emulación, esto puede mejorar tanto la velocidad como el número total de operaciones.³⁴

Como ejemplo, Kyndi aprovecha la emulación cuántica para manejar la complejidad combinatorial de hacer inferencia de datos complejos, poniendo el resultado a trabajar como parte de un enfoque más amplio de

inteligencia de máquina en lugares donde el volumen de datos abruma a los expertos humanos. El intento no es reemplazar al experto – más aún, es automatizar las partes rutinarias del análisis a escala grande y liberar a los humanos para que se centren en agregar valor alto. Una prueba de concepto de Kyndi entregó análisis en siete horas de procesamiento que el cliente estimó habría llevado todo un año usando solo analistas humanos.

Los enfoques tanto de simulación cuántica como de emulación cuántica están respaldados por la teoría formal de la prueba – resultados matemáticos derivados de científicos y físicos teóricos de la computación que han hecho el trabajo para mostrar que los cálculos cuánticos pueden ser hechos en arquitecturas clásicas de computador. Esas teorías, si bien, generalmente no especifican el diseño del algoritmo o la abstracción de la emulación.

En el plazo ligeramente más largo, las soluciones de la optimización cuántica – tales como la tunelización o el recocido arriba mencionados – no proporcionan computación plena de propósito general, pero abordan problemas difíciles de optimización combinatorial

discreta, tales como hallar la manera más corta, más rápida, más barata, o más eficiente de hacer una tarea dada. Los ejemplos familiares incluyen programación de aerolíneas, simulación Monte Carlo, y búsqueda web.³⁵ Los usos más actuales incluyen reconocimiento de imágenes, aprendizaje de máquina y procesamiento profundo de aprendizaje basado-en-patrones, y transparencia algorítmica de los sistemas de inteligencia (en los cuales un algoritmo se puede explicar a sí mismo y cómo llega a sus conclusiones).

La optimización cuántica aborda las limitaciones del razonamiento tanto basado-en-reglas como el tradicional basado-en-casos en el cual múltiples ejemplos de casos son usados para mostrar niveles de relaciones mediante un conjunto compartido de características. Un problema práctico para la optimización cuántica no solo sería reconocer los objetos contenidos en una foto sino también hacer inferencias con base en esos objetos – por ejemplo, detectar un perro, un balón, y una persona en una foto y luego inferir que lo que el grupo está haciendo

es jugar balón juntos. Este tipo de “problema de marco” es combinatoriamente grande en los enfoques clásicos de motores de reglas.

Para el futuro de más largo plazo de la optimización cuántica, la habilidad para aprovechar el poder de la computación a una escala que, hasta recientemente, parecía no imaginable, tiene profundas implicaciones disruptivas para los sectores tanto público como privado, así como también para la sociedad en su conjunto. Hoy, usamos modelos estadísticos para patrones de minería, perspectivas, y correlaciones de grandes datos. Aun así para pequeños datos esos flujos en corrientes de alta velocidad con tasas bajas de repetición, esos métodos estadísticos no aplican; solo el cerebro humano puede identificar y analizar tales señales débiles y, muy importante, entender la causación – la razón por la cual. En los próximos años, se espera que la computación cuántica rompa el monopolio humano en esta área, y se convierta en uno de los modelos más poderosos del razonamiento probabilístico disponible.

MI PARTE

**ARUN MAJUMDAR, FOUNDER
AND CHIEF SCIENTIST**
KYNDI

En Kyndi, estamos trabajando para cambiar cómo problemas difíciles de la sociedad pueden ser resueltos cuando la creatividad y recursividad humanas sean complementadas con máquinas inteligentes. Nuestra tecnología toma de las ciencias cuánticas para transformar texto en cualquier lenguaje en una estructura cristalina que proporcione respuestas a muchas preguntas.

El lenguaje es usado en muchas formas diferentes, y las palabras pueden tener múltiples significados. Los computadores normales luchan con el razonamiento de cara a tal complejidad. Nosotros resolvemos esto con una representación práctica de datos inspirada por métodos de la computación cuántica. Nuestra tecnología de mapeo automáticamente aprende la composición de cualquier lenguaje y cómo es usado en un campo dado. Nosotros almacenamos esos papas en estructuras cristalinas como gráficas que muestran cómo las cosas se relacionan unas con otras. Nosotros podemos almacenar eficientemente muchos mapas con interrelaciones complejas y aun así recordarlápidamente usando relativamente poco poder clásico de computación. Luego ponemos esas estructuras a que trabajen vía lenguaje de máquina.

**“LOS HUMANOS INTUYEN A ALTAS
VELOCIDADES; LOS COMPUTADORES
NORMALES NO.”**

En un mundo crecientemente inundado por grandes datos, datos oscuros, y cacofonías de señales e información aparentemente aleatoria, la creciente necesidad por tecnología que pueda analizar y obtener inferencias plausibles, realistas, y oportunas a partir de la complejidad orienta nuestros esfuerzos.

Los humanos intuyen a altas velocidades; los computadores normales, por otro lado, no. La computación cuántica – y los algoritmos que emulan esa computación – enfocan la solución de aprendizaje e inferencia de alta complejidad con las mismas escalas de tiempo que como los sistemas tradicionales basados-en-reglas lo hacen con conjuntos más pequeños de problemas. Nosotros hemos abordado este

desafío usando algoritmos que emulen la computación cuántica. Técnicamente la emulación no es computación cuántica, pero realiza analogía con los computadores actualmente disponibles.

Este enfoque hace posible resolver problemas de complejidad súper-exponencial que frustrarían los sistemas tradicionales de computación basados-en-reglas. Por ejemplo, un paciente de cáncer trabaja con su doctor para desarrollar un plan de tratamiento que puede incluir quimioterapia, radiación, cirugía, y regímenes dietéticos. En este caso, hay 24 combinaciones posibles de la terapia estadísticamente planeada al comienzo: un paciente puede comenzar con dieta, otro con cirugía, etc. Pero si el tratamiento permite la re-optimización del plan en cada paso, el número de posibilidades se eleva de 24 opciones hasta 24 opciones *factoriales*. ¡Esto es, 6.2×10^{23} combinaciones potenciales!

Kyndi trabaja en la solución de otros problemas similarmente desafiantes en la seguridad global hoy, tales como inteligencia competitiva – escaneando el horizonte por sorpresas y entendimiento de los patrones emergentes de ciencia y tecnología. El cerebro humano puede intuir alrededor de este tipo de complejidad; los computadores tradicionales no. Aun así hay situaciones que involucran grandes datos en los cuales una cadena de pensamiento rápidamente crea enormes explosiones combinatorias que superan incluso a los pensadores más avanzados.

En el futuro, la computación cuántica probablemente superará a los humanos en áreas de razonamiento probabilístico e inferencia. Hasta tanto lleguen esos días, usted no tiene que ser un purista cuántico. La simulación cuántica puede ayudarle a usted a entender los nuevos conceptos, y la emulación puede ayudarle a usted a escalar los conceptos cuánticos para resolver algunos tipos importantes de problemas. Por ejemplo, mientras a un humano puede llevarle meses leer y entender 500 artículos sobre un tema dado, los sistemas de emulación cuántica de Kyndi pueden analizar esos 500 artículos en segundos y reducir la lista de lectura a seis que expliquen completamente el tema. Los días del quantum llegarán. Hasta entonces, piense de simulación y emulación como dos pasos intermedios separados – aprender y aplicar – así que bien vale la pena explorar.

Puede ser varios años antes que sea viable, surgen casos de uso de negocios importantes para biología sintética, almacenamiento avanzado de energía, computación cuántica, y nanotecnología. Pero incluso en esos días tempranos de innovación y exploración, ciertas consideraciones de riesgo y seguridad rodean varias de esas tecnologías exponenciales que ya están llegando.

Por ejemplo:

Nanotecnología: El sector de atención en salud está desarrollando muchos usos innovadores para dispositivos de nanotecnología, desde herramientas microscópicas que los cirujanos pueden usar para reparar tejidos dañados, hasta estructuras moleculares sintéticas que forman la base para la regeneración del tejido. Al igual que los dispositivos médicos, la nanotecnología lleva riesgo importante de cumplimiento. Por otra parte, el tamaño microscópico de esas innovaciones hace casi imposible asegurar lo que sería en el mismo grado con otras tecnologías. En algunos casos, el riesgo relacionado-con-lo-nano probablemente necesitará que sea administrado a escala-nano.

Almacenamiento de energía: Las tecnologías de baterías y almacenamiento-de-red, por sí mismas, no conllevan niveles importantes de riesgo. Sin embargo, los componentes digitales usados para controlar el flujo de electricidad, y el cargue y descargue de baterías, lo tienen. Como los componentes de almacenamiento se vuelven más densos, más compactos, y pesan menos, surgirán nuevas interfaces digitales y herramientas de administración de energía, requiriendo por lo tanto nuevos enfoques para asegurarlas.

Biología sintética: En el cruce de biología e ingeniería, la biología sintética está a punto de generar disrupción en agricultura, medicina, farmacéuticas, y otras industrias que manejan sistemas biológicos naturales. Aun así su

aparente potencial sin límites estará delimitado por regulación formidable que, a su vez aumenta el perfil de su riesgo de cumplimiento.

Computación cuántica: Con el tipo de algoritmos y modelos de datos que la computación cuántica puede soportar, la modelación predictiva del riesgo puede volverse un componente aún más valioso de la administración del riesgo. La diferencia entre modelar unos pocos cientos atributos de datos, tal y como se puede hacer, y operar los mismos modelos con 20,000 o más atributos representa un salto, que potencialmente puede cambiar el juego, en capacidad, detalle, y conocimiento. Debido a la creciente complejidad de la administración del riesgo cibernético, en el futuro plataformas tales como las cuánticas probablemente serán componentes esenciales de lo cibernético.

“INCLUSO EN ESTOS DÍAS TEMPRANOS, LAS CONSIDERACIONES QUE RODEAN VARIAS DE ESAS TECNOLOGÍAS EXPONENCIALES YA SE ESTÁN DANDO.”

Cuando comenzamos a pensar acerca de las tecnologías exponenciales y su potencial disruptivo – aun cuando pueda verse distante – es importante considerar no solo cómo pueden ser aprovechadas para propósitos de negocio sino también las potenciales consideraciones de riesgo y seguridad que podrían introducir a partir del despliegue. ¿Harán que sus ecosistemas sean más vulnerables? ¿Expondrán a sus organizaciones a riesgo adicional financiero, de cumplimiento, o de reputación? O, como es el caso de la computación cuántica, ¿pueden turbo-cargar sus enfoques existentes para la seguridad mediante revolucionar el encriptado, la modelación predictiva, y el análisis de datos?

Si bien no podemos responder esas preguntas con certeza hoy, sabemos que mediante adoptar el enfoque el “primero el riesgo” para diseñar y desarrollar ahora, los CIO pondrán en funcionamiento los bloques de construcción fundamentales que se necesitan para explorar y aprovechar las tecnologías exponenciales en su potencial pleno.

¿Dónde comienza usted?

Si bien el potencial pleno de las cuatro exponenciales que se examinan en este reporte puede estar varios años en el futuro, hay capacidades y aplicaciones relevantes que emergen ahora. Si usted espera tres años antes de pensar seriamente acerca de ellas, su primer rendimiento no-accidental probablemente puede estar tres a cinco años más allá. Dado que esas fuerzas se están desarrollando a un ritmo atípico, no-lineal, a más usted espere para comenzar a explorarlas, más lejos su compañía puede quedarse atrás.

Cuando usted inicie su camino de exponenciales considere un enfoque programático del ciclo de vida que involucre los siguientes pasos:

- **Detección e investigación:** Para comenzar a explorar las fuerzas exponenciales y su potencial, considere, como primer paso, elaborar hipótesis con base en detección e investigación. Identifique una fuerza – nanotecnología, por ejemplo – y genere una hipótesis sobre su impacto en sus productos, sus métodos de producción, y su entorno competitivo en el surgimiento de una etapa temprana y media. Luego realice investigación suficiente alrededor de esa hipótesis, usando umbrales o niveles de origen para con el tiempo incrementar o disminuir la actividad y la inversión. Es importante observar que detección e investigación no son I&D – son pasos preliminares en lo que será un esfuerzo más largo para determinar una potencial fuerza exponencial para su negocio.
- **Exploración:** Mediante detección e investigación, usted ha detectado unas pocas exponenciales que parecen prometedoras. En este momento, usted puede comenzar a explorar el “estado de lo posible” para cada una mediante mirar cómo otros están acercándose a esas fuerzas, y determinar si cualquiera de esos enfoques podría aplicar de manera amplia a su industria. Luego convoque alrededor del “estado de lo práctico:” específicamente, ¿esos mismos enfoques podrían impactar o beneficiar su negocio? Si es así, usted puede comenzar a desarrollar casos de uso para evaluar el “estado de lo valioso” en la fase de experimentación.

- **Experimentación:** El movimiento desde exploración hacia experimentación involucra priorizar los casos de negocio y elaborar prototipos iniciales, haciendo estudios en-el-lugar-de-trabajo, y poniéndolos en uso. Cuando la propuesta de valor del experimento satisfaga las expectativas que se establecen en su caso de negocio, entonces usted puede considerar invertir mediante moverse hacia la incubación. Sin embargo, tenga cautela acerca de moverse demasiado rápido desde la incubación hacia la producción plena. Incluso con un caso de negocios sólido y con experimentos alentadores con circunstancias y usos contenibles, en esta etapa su producto no está probado a escala. Usted probablemente necesitará una incubadora que tenga capacidad plena de escalado para llevar a cabo el nivel de mejoramiento, prueba, y arreglo que se necesita antes de colocar este producto en el mundo.
- **Sea programático:** Llevar cualquier producto – pero particularmente uno basado en fuerzas exponenciales – de detección a producción no es un proceso de dos pasos, ni es un proceso accidental. Algunos piensan que la innovación no es nada más que momentos de *jeureka!* Si bien hay elemento de ello, innovación es más acerca de un esfuerzo programático disciplinado, llevado a cabo en el tiempo, que de inspiración.

Finalmente, en su camino exponencial usted puede encontrar un desafío común de innovación: la inversión que usted hará a menudo rinde menos – al menos inicialmente – que los enfoques del día-a-día que usted tiene en funcionamiento. Esto hace parte del proceso. Para mantener las cosas en perspectiva y ayudar a que todos estén centrados en las metas finales, usted probablemente necesitará un programa metódico que guíe y cuente el tiempo y el dinero que usted esté gastando. Sin tal plan, los esfuerzos de innovación a menudo rápidamente se vuelven insostenibles.

La línea de resultados

Si bien la promesa que nanotecnologías, sistemas de energía, biotecnología y tecnologías cuánticas tienen para los negocios todavía no está plenamente definida, algunas, si no todas, de esas exponenciales probablemente crearán disrupción en la industria en los próximos 24 a 60 meses. Tal y como ocurre con otras tecnologías emergentes, puede haber oportunidades competitivas para la adopción temprana. CIO, CTO, y otros ejecutivos pueden y deben comenzar a explorar hoy las posibilidades de las exponenciales.

AUTORES



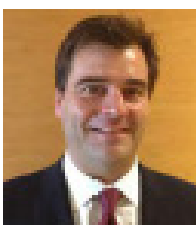
MARK WHITE

Mark White es jefe de tecnología de la US Innovation Office de Deloitte Consulting LLP, lidera detección disruptiva de tecnología, desarrollo de conocimiento, y experimentación. Ha servido como director de tecnología jefe de consultoría en los Estados Unidos, a nivel global y federal. Sus clientes incluyen organizaciones federales, de servicios financieros, alta tecnología, telecomunicaciones, y otras industrias. White entrega soluciones críticas de negocio en áreas que incluyen arquitectura de soluciones, analíticas de datos, operaciones de TI, y diseño de infraestructura.



TOM NASSIM

Tom Nassim tiene más de 15 años de experiencia en consultoría, trabajando a través de dominios de estrategia e innovación, con un centro de atención puesto en construcción de capacidades de innovación en organizaciones grandes, complejas. Trabaja con clientes de Deloitte Consulting LLP para ayudarles a aprovechar las amenazas y oportunidades disruptivas asociadas con el cambio tecnológico exponencial en los campos de monedas digitales, inteligencia artificial, robótica, crowdsourcing, biología digital, y más.



JEFF CARBECK

Jeff Carbeck es un especialista líder en la práctica de Advanced Materials and Manufacturing de Deloitte Consulting LLP y co-autor de las series de Deloitte sobre Advanced Materials Systems. Preside el Global Council on the Future of Advanced Materials, del World Economic Forum. Antes de unirse a Deloitte, fue miembro de la facultad de Princeton University y co-fundador de varias compañías, incluyendo Nano-Terra, Arsenal Medical, 480 Biomedical, y MC10.



ASIF DHAR

Asif Dhar es un directivo de la práctica Monitor Deloitte, de Deloitte Consulting LLP. Sirve como director de informática de salud jefe y ayuda a orientar la oferta de la Therapeutic Area Transformation Integrated. El Dr. Dhar es un líder del pensamiento en temas tales como efectividad comparativa y clínica, exponenciales e innovación, medicina personalizada, informática, y transformación de enfermedades. Tiene un entendimiento profundo de las complejidades del re-uso de datos clínicos para seguridad, calidad, y resultados.

El contenido de biotecnología fue desarrollado en colaboración con **Jason Williamson**, director ejecutivo, XPRIZE. Williamson anteriormente fue gerente senior en la práctica de Innovation de Deloitte Consulting LLP.

NOTAS FINALES

- ¹ Bill Briggs, *Tech Trends 2014: Exponentials*, Deloitte University Press, February 20, 2014, <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/tech-trends/2014/2014-tech-trends-exponentials.html>.
- ² Tata Motors, <http://nano.tatamotors.com/>, accessed January 19, 2017.
- ³ The National Nanotechnology Initiative, www.nano.gov, accessed December 26, 2016.
- ⁴ Ibid.
- ⁵ Don Clark, "Intel details 14-nanometer chip aimed at tablets," *Wall Street Journal*, August 11, 2014, www.wsj.com/articles/intel-details-new-chip-aimed-at-tablets-1407775008.
- ⁶ Alliance for NanoHealth, www.nanohealthalliance.org, accessed December 26, 2016.
- ⁷ The National Nanotechnology Initiative.
- ⁸ NanoMech, www.nanomech.com, accessed December 26, 2016.
- ⁹ Ibid.
- ¹⁰ NanoMech, Products & services, www.nanomech.com/products-services/atomoil/, accessed December 26, 2016.
- ¹¹ REN21 (Renewables Energy Policy Network for the 21st Century), *Renewables 2016: Global Status Report*, 2016, www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_Full_Report.pdf, accessed December 26, 2016.
- ¹² Tom Randall, "Wind and solar are crushing fossil fuels," *Bloomberg News*, April 6, 2016, www.bloomberg.com/news/articles/2016-04-06/wind-and-solar-are-crushing-fossil-fuels.
- ¹³ Bloomberg New Energy Finance, *New Energy Outlook 2016*, June 12, 2016, www.bloomberg.com/company/new-energy-outlook/.
- ¹⁴ Susan Kraemer, "Siemens figures out what to do with night wind," *CleanTechnica*, April 19, 2012, <https://cleantechnica.com/2012/04/19/siemens-figures-out-what-to-do-with-night-wind/>.
- ¹⁵ *Economist*, "Packing some power," March 3, 2012, www.economist.com/node/21548495.
- ¹⁶ Katie Fehrenbacher "An exclusive look at Tesla and Solar City's battery solar farm in paradise," *Fortune*, November 17, 2016, <http://fortune.com/tesla-solarcity-battery-solar-farm/>.
- ¹⁷ Katherine Tweed, "Toronto pilots world's first offshore compressed-air energy storage project," *Green Tech Media*, November 25, 2015, www.greentechmedia.com/articles/read/toronto-hydro-pilots-worlds-first-offshorecompressed-air-energy-storage.
- ¹⁸ Knvul Sheikh, "New concentrating tower is worth its salt with 24/7 power," *Scientific American*, July 14, 2016, www.scientificamerican.com/article/new-concentrating-solar-tower-is-worth-its-salt-with-24-7-power/.
- ¹⁹ Real Estate Japan K.K., "The present and future of net zero energy houses in Japan," August 6, 2015, <http://resources.realestate.co.jp/buy/the-present-and-future-of-net-zero-energy-houses-in-japan/>.
- ²⁰ Convention on Biological Diversity, Text of the convention: Article 2, use of terms, www.cbd.int/convention/articles/default.shtml?a=cbd-02, accessed November 28, 2016.
- ²¹ Dani Bancroft, "Ultimate review: The unlimited biotech potential of algae," *GreenTech Reviews*, February 2, 2016, <http://labiotech.eu/algae-review-industry-biotech-greentech-biofuels-nutrition-scrubbing/>.
- ²² YourGenome, "What is CRISPR-Cas9?", www.yourgenome.org/facts/what-is-crispr-cas9, accessed December 26, 2016.

- ²³ 1000 Genomes Project Consortium, "A map of human genome variation from population-scale sequencing," *Nature*, October 28, 2010, www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20981092?dopt=Abstract.
- ²⁴ Heidi Ledford, "CRISPR: Gene editing is just the beginning," *Nature*, March 7, 2016, www.nature.com/newscrispr-gene-editing-is-just-the-beginning-1.19510.
- ²⁵ Emma Stoye, "CRISPR-edited mushroom dodges regulation," *Chemistry World*, April 26, 2016, www.chemistryworld.com/news/crispr-edited-mushroom-dodges-regulation/1010298.article.
- ²⁶ Susan Noakes, "CRISPR gene editing heads to human trial as cancer treatment," CBC News, June 24, 2016, www.cbc.ca/news/health/human-trial-crispr-1.3651755.
- ²⁷ National Institutes of Health, "Cancer costs projected to reach \$128 billion in 2020," January 12, 2011, www.nih.gov/news-events/news-releases/cancer-costs-projected-reach-least-158-billion-2020.
- ²⁸ Dylan Love, "From unbreakable codes to incredible computers, quantum technology is clearly the future," *Business Insider*, August 5, 2013, www.businessinsider.com/why-quantum-technology-matters-2013-7.
- ²⁹ Chad Orzel, "Six things everyone should know about quantum physics," *Forbes*, July 8, 2015, www.forbes.com/sites/chadorzel/2015/07/08/six-things-everyone-should-know-about-quantum-physics/.
- ³⁰ Nicole Hemsoth, "A look inside China's chart-topping new supercomputer," *Next Platform*, June 20, 2016, www.nextplatform.com/2016/06/20/look-inside-chinas-chart-topping-new-supercomputer/.
- ³¹ Jun-ichi Yoshikawa et al., "Generation of one-million-mode continuous-variable cluster state by unlimited timedomain multiplexing," *APL Photonics*, September 27, 2016, <http://aip.scitation.org/doi/full/10.1063/1.4962732>; Frank Wilczek, "Entanglement made simple," *Quanta Magazine*, April 28, 2016, www.quantamagazine.org/20160428-entanglement-made-simple/.
- ³² Peter Diamandis, "What are the implications of quantum computing?" *Tech Blog*, 2016, www.diamandis.com/blog/massive-disruption-quantum-computing, accessed December 31, 2016.
- ³³ Thomas Haner, Damian S. Steiger, Mikhail Smelyanskiyy, and Matthias Troyer, *High performance emulation of quantum circuits*, April 2016, <https://arxiv.org/pdf/1604.06460.pdf>.
- ³⁴ D-Wave Systems Inc., "Applications," www.dwavesys.com/quantum-computing/applications, accessed December 6, 2016.
- ³⁵ Project on Emerging Nanotechnologies, www.nanotechproject.org/inventories/medicine/, accessed October 10, 2016.