

# Programa Nacional para la aceleración de Proyectos de Innovación Tecnológica

Oportunidades globales hacia  
emprendimiento de alto valor  
en Costa Rica  
*Fronteras, tecnología, referentes y estrategia*

Santiago Núñez Corrales



MINISTERIO  
DE CIENCIA, TECNOLOGÍA  
Y TELECOMUNICACIONES



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA

2018

# Extracto del documento: Oportunidades globales hacia emprendimientos de alto valor en Costa Rica

## Fronteras, Tecnologías, Referentes y Estrategias

Santiago Núñez-Corrales - Consultor  
AUGE-UCR

Preparado por Luis Alonso Jiménez Silva  
Director de AUGE-UCR y Director del proyecto

Febrero 2018

### Acerca del consultor

Santiago Núñez Corrales es Ingeniero en Computación de Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), con un Ph.D en Informática de la Universidad de Illinois en Estados Unidos. Ha realizado investigaciones en el campo de ciencia computacional, modelado y simulación, fuentes de energías renovables, entre otros más. Se ha desempeñado como Director de Investigación y Desarrollo Tecnológico y Director de Tecnologías Digitales del MICITT, Miembro del Comité Director de Investigaciones Avanzadas y Tecnología Colaborativa para las Américas de la OEA, Coordinador del Programa de Investigación e-Science y de la Iniciativa de Redes Avanzadas del TEC.

## Prólogo

Cosechar proyectos de innovación tecnológica no es tarea sencilla y mucho menos en un ecosistema en vías de desarrollo como el costarricense. En mi experiencia de 30 años en vinculación universidad-empresa, tal cosecha ha sido todo un reto, hemos buscado plantas que den frutos en lugares inhóspitos y de difícil acceso, poco a poco hemos aprendido a distinguir las zonas y las plantas con mayor potencial, pero la curva de aprendizaje ha sido larga y complicada; sin embargo, hoy podemos decir que ésta ya no es una búsqueda solitaria, en el camino hemos encontrado a otros exploradores y juntos estamos aprendiendo más rápido.

Hoy entendemos que debemos convertirnos en agricultores, Costa Rica no puede darse el lujo de dejar este proceso a las posibilidades y caprichos de la naturaleza. Debemos recolectar semilla, plantar y mejorar esas plantas, así podremos esperar cosechas más abundantes, diversas y de calidad global; siempre y cuando, preparemos todos los detalles de manera premeditada y organizada. Eso es precisamente lo que un grupo grande de buscadores y buscadoras hemos pretendido con el proceso PITs. Trabajar en conjunto para dejar de buscar esos escurridizos frutos y juntos convertirnos en agricultores, ojalá de esos agricultores modernos, capaces de planear, predecir, prevenir, controlar y mejorar.

Afortunadamente, hoy estamos más cerca de convertirnos en aquello que aspiramos desde hace décadas. Santiago Núñez nos ha sorprendido con una propuesta que va más allá de nuestras más altas expectativas, ha fundamentado lo que otros buscadores solo intuíamos y nos muestra que es posible aspirar a más, que podemos de forma deliberada convertirnos en esos agricultores de innovación que Costa Rica y Latinoamérica tanto necesitan para lograr más con menos, muchas gracias Santiago por ir mucho más allá de lo que había que hacer, ojalá todos en Costa Rica hiciéramos lo mismo todo el tiempo, quizás así, finalmente entendamos que nuestro destino depende de nosotros y no de nuestros gobernantes.

**Luis Alonso Jiménez Silva**  
**Director de AUGE**

# Contenido

Introducción .....	1
Marco estratégico de Costa Rica .....	2
1.1 El reto del emprendimiento costarricense .....	2
1.2 Fallas de mercado hacia el emprendimiento .....	3
1.3 Oportunidades locales .....	6
1.4 Oportunidades globales .....	6
Acerca de la producción de este documento .....	7
Fronteras de investigación aplicada e innovación .....	7
4. Salud y Bienestar .....	11
4.1 Fármacos de siguiente generación contra la resistencia a antibióticos en patógenos peligrosos .....	12
4.2 Métodos de identificación y tratamiento temprano de enfermedades neurodegenerativas .....	14
4.3 Mecanismos para prevenir y reducir la obesidad .....	17
4.4 Métodos de prevención, detección temprana, mitigación y eliminación de riesgos por enfermedades cardiovasculares .....	20
4.5 Métodos para la prevención y detección de conductas que llevan a accidentes automovilísticos .....	23
4.6 Tecnologías para asistir en la identificación, detección temprana y tratamiento de estrés crónico .....	26
4.7 Integración de biomediciones hacia un expediente médico centrado en el paciente .....	29
4.8 Métodos y tecnologías para la detección efectiva de agentes alérgicos .....	32
4.9 Tecnologías para el incremento de la adherencia de pacientes a sus medicamentos y tratamientos .....	35
4.10 Desarrollo de tecnologías de diagnóstico clínico portátiles con bajo costo .....	38
5. Agroalimentarias .....	41
5.1 Detección automática de factores ecológicos del suelo que intervienen en la fertilidad .....	42
5.2 Intervenciones ecológicas de suelos para recuperar su fertilidad .....	45
5.3 Estrategias para la prospección ecológica de especies explotables con alto valor agregado .....	48
5.4 Control automático aplicado a buenas prácticas productivas .....	51
5.5 Intervenciones metagenómicas de ecosistemas para preservar la variedad en especies productivas .....	54
5.6 Transformación del mercado agrícola mediante relocalización de la venta de productos y reducción de la intermediación .....	57
5.7 Implementación de tecnologías de empaquetado biodegradable, de bajo costo y con alta preservación durante el ciclo de producto .....	60

5.8 Identificación de metabolitos primarios y secundarios de alto valor hacia diversificación productiva .....	63
5.9 Mecanismos integrales de trazabilidad inteligente del ciclo de vida de productos alimenticios .....	66
5.10 Tecnologías para la medición in situ de condiciones nutricionales y de higiene de productos alimenticios .....	69
6. Ambiente y Energía .....	72
6.1 Mecanismos eficientes para transformar carbono secuestrado en elementos industriales .....	73
6.2 Tecnologías para la biorremediación de recursos hidrográficos a gran escala .....	76
6.3 Tecnologías de horizonte infinito de planificación para integración de recursos no gestionables a redes eléctricas inteligentes .....	79
6.4 Aprovechamiento de biomasa residual para producción energética a nivel industrial .....	82
6.5 Desarrollo de baterías de ultra alto rendimiento y factor de forma reducido .....	85
6.6 Intervenciones ecológicamente sostenibles en zonas con fuentes naturales de riesgo .....	88
6.7 Desarrollo de fuentes de energía y tecnologías de siguiente generación basadas en fusión e hidrógeno ....	91
6.8 Desarrollo de variedades genéticas con resiliencia ecosistémica al cambio climático .....	94
6.9 Métodos novedosos de purificación ambiental de agua por contaminantes emergentes .....	97
6.10 Métodos de química verde para procesos catalíticos industriales .....	100
7. Sociedad Inteligente .....	103
7.1 Metodologías para construcción de tuberías de datos seguras en ciudades inteligentes .....	104
7.2 Implementación de servicios de confianza monetizables digitales mediante blockchain .....	107
7.3 Tecnologías para identidades digitales seguras y privadas de fácil administración y despliegue .....	110
7.4 Tecnologías para datos abiertos 2.0 .....	113
7.5 Tecnologías para el descubrimiento semántico automatizado de servicios digitales .....	116
7.6 Medios de transporte de datos en geografías adversas hacia una Internet resiliente y energéticamente efectiva .....	119
7.7 Diseño de hogares y espacios humanos de convivencia digitalmente integrados .....	122
7.8 Mecanismos y tecnologías para manufactura digital de alta repetibilidad y velocidad .....	125
7.9 Desarrollo de robótica y automática post-Turing de propósito general .....	128
7.10 Producción de intelectos sintéticos de propósito general consistentes con sistemas éticos .....	131
Evaluación global para Costa Rica .....	10
Índice de factibilidad nacional de emprendimiento .....	10
Referencia completa de fronteras con mayor índice en cada área temática .....	9

Salud y bienestar .....	11
4.3 Mecanismos para prevenir y reducir la obesidad .....	17
Contexto de control .....	18
Análisis factual de impacto .....	18
Análisis contrafactual de impacto .....	18
Objetivo transformacional .....	18
Objetivo de conocimiento .....	18
Métrica de impacto .....	18
Mercado potencial estimado .....	19
Población objetivo .....	19
Brecha de realización plena .....	19
Brecha de adopción .....	19
Firmas comerciales arquetípicas .....	19
Agroalimentarias .....	41
5.4 Control automático aplicado a buenas prácticas productivas .....	51
Contexto de control .....	51
Análisis factual de impacto .....	52
Análisis contrafactual de impacto .....	52
Objetivo transformacional .....	52
Objetivo de conocimiento .....	52
Métrica de impacto .....	52
Mercado potencial estimado .....	52
Población objetivo .....	52
Brecha de realización plena .....	53
Brecha de adopción .....	53
Firmas comerciales arquetípicas .....	53
Ambiente y Energía .....	72
6.7 Desarrollo de fuentes de energía y tecnologías de siguiente generación basadas en fusión e hidrógeno ...	91
Contexto de control .....	91
Análisis factual de impacto .....	92

Análisis contrafactual de impacto .....	92
Objetivo transformacional .....	92
Objetivo de conocimiento .....	92
Métrica de impacto .....	25
Mercado potencial estimado .....	92
Población objetivo .....	92
Brecha de realización plena .....	93
Brecha de adopción .....	93
Firmas comerciales arquetípicas .....	93
Sociedad Inteligente .....	103
7.2 Implementación de servicios de confianza monetizables digitales mediante blockchain .....	107
Contexto de control .....	107
Análisis factual de impacto .....	108
Análisis contrafactual de impacto .....	108
Objetivo transformacional .....	108
Objetivo de conocimiento .....	108
Métrica de impacto .....	108
Mercado potencial estimado .....	108
Población objetivo .....	108
Brecha de realización plena .....	109
Brecha de adopción .....	109
Firmas comerciales arquetípicas .....	109
Bibliografía .....	134

## ► **Introducción**

En 2017 y como parte del programa PITS, para el “Diseño de una estrategia país para la formulación y desarrollo de proyectos y empresas de base tecnológica”, se identificó la necesidad de ensayar para el caso de Costa Rica, una redefinición de las actividades económicas de mayor impacto en el país, a partir de las experiencias establecidas por Regina Dugan, ex-directora de investigación del Defence Advanced Research and Projects Agency (DARPA), fundadora y ex-directora del Google Advanced Technology and Projects group (ATAP). De ese proceso surge un estudio completo realizado por el investigador y consultor Santiago Núñez Corrales y Auge-UCR, en el que se identificaron 40 fronteras de investigación aplicada e innovación de alcance global, en las que el país podría tener una mayor probabilidad de éxito en virtud de sus recursos humanos, naturales y de infraestructura.

## ► **¿Qué es un meta-emprendimiento?**

De la misma forma que un emprendimiento productivo o social busca solucionar un problema con el fin de crear valor, un meta-emprendimiento es un tipo de emprendimiento que se enfoca en crear las herramientas y las condiciones para que otros esfuerzos de emprendimiento sean exitosos. Por ejemplo, emprendimientos que sistematicen mediante herramientas digitales los pasos para administrar el proceso de innovación, o nuevos emprendimientos que provean servicios de consultoría para evaluación de riesgo en mercados internacionales son ejemplos de lo que un meta-emprendimiento puede ser.

Al establecer las bases de emprendimientos de base científico-tecnológico para Costa Rica, creemos que es posible no solamente crear nuevas empresas de alto valor agregado en las áreas de interés nacionales descritas por el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2015-2021, sino que existen campos fértiles para solucionar carencias propias de los procesos de innovación con potencial de éxito internacional.



# ► Marco estratégico de Costa Rica

## 1.1 El reto del emprendimiento costarricense

Las mediciones efectuadas en el Informe de Indicadores de Ciencia, Tecnología e Innovación efectuado por MICITT y en reportes recientes de OCDE dentro del proceso de adhesión indican que existen cuatro retos centrales que deben ser atacados:

1. La baja inclusión en las actividades económicas, que conlleva a un aumento en la informalidad de los empleos y a mayores desigualdades sociales.
2. El delicado estado de la infraestructura nacional, fuente de múltiples ineficiencias en las cadenas productivas y de valor, así como de fricciones económicas que erosionan la economía.
3. La estructura productiva y empresarial nacional necesitada de mayor diversificación y fortalecimiento, con una fuerte apuesta a la Inversión Extranjera Directa en un contexto internacional de relativa inestabilidad en comparación a los últimos 20 años.
4. La existencia de política pública de Ciencia, Tecnología e Innovación con limitadas capacidades de acción a pesar de su visión actual, que de otra forma permitiría resolver grandes fallas de mercado hacia la integración de la investigación científica y el desarrollo tecnológico en las actividades productivas del país.

La estrategia costarricense de crecimiento a partir de firmas comerciales se ha visto artificialmente dividida en dos contextos: el de transnacionales, apoyado por CINDE bajo una agresiva estrategia de atracción de empresas de alto calibre, y el de las empresas nacionales, gestionado por MEIC y PROCOMER. La distribución porcentual de empresas registradas en la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS), en el Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC), y en los sondeos de MICITT de acuerdo con mediciones del Informe de Indicadores [Ministerio

de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones 2015a] y Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2015-2021 [Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones 2015b] apuntan a los siguientes hechos:

- De un estimado cercano a 61000 unidades productivas registradas en la CCSS como nacionales, solamente alrededor de 14000 presentan registro PYME en el MEIC. Lo anterior implica que las estimaciones productivas nacionales, así como el potencial latente, están severamente subestimados y subrepresentados.
- De las 14000 empresas nacionales involucradas en el proceso de creación de valor privado con registro en MEIC, se estima que cerca de 2000 (aprox. 15%) son las que registran algún nivel de innovación de proceso, producto, organización o servicio.
- Estas empresas se distribuyen en cuatro grandes categorías de acuerdo con su composición y tamaño. Dentro de estas, solamente un 2% pueden considerarse de innovación disruptiva, y a lo sumo un 20% cuentan con procesos de innovación de forma consciente. Innovación, en este contexto, debe interpretarse como un salto inventivo cuyo impacto es medible en el mercado (e.g. aumento sustancial de ventas, inalcanzabilidad de parámetros de calidad por otros competidores, mayor alcance dado por la escala de las operaciones).
- Los procesos de apoyo al emprendimiento dentro del Estado son en su mayoría motivacionales. No existe un pipeline fundamentado en estructuras nacionales que permita a los emprendimientos sostener condiciones adversas. Por el contrario, los mecanismos del Estado son en su mayoría adversos al emprendimiento desde lo administrativo (tiempos de respuesta y registro), lo financiero (incentivos escasos y pobremente direccionados) y lo relacionado al contexto de riesgo (procesos financieros del sector bancario conservadores en materia de préstamos para empresa). En el sector privado, los últimos cinco años han visto el nacimiento de un sector de

inversión, sin embargo, se mantiene incipiente en el capital ángel y el venture capital. A pesar de la existencia de cámaras industriales de diversa índole, no es posible encontrar efectos tangibles en el emprendimiento más allá de aquellos dirigidos a condiciones particulares de mercado.

- El proceso de atracción de inversión extranjera directa no ha sido llevado a cabo de forma coherente, en la línea de integración con las perspectivas de desarrollo del sector nacional y de los sistemas de encadenamiento productivo. Los escasos encadenamientos con valor agregado (no venta de servicios, productos o manufactura sin producción de propiedad intelectual) se deben a la adopción de estándares a lo largo de periodos prolongados por parte de las empresas nacionales. Sin embargo, no existe una medición formal del nivel de dependencia de los encadenamientos en estándares propietarios a una sola empresa transnacional, o de sus capacidades reales de producción de propiedad intelectual.

Las condiciones anteriores, aunadas a las condiciones estructurales del país, llevan con frecuencia a una alta tasa de desaparición de nuevos emprendimientos (alrededor del 90%) en el transcurso de los primeros 18 meses cuando estos son de alto valor [Monge-González y TorresCarballo, 2015]<sup>1</sup>. Una vez que un emprendimiento se vuelve insostenible, puede ocurrir al menos uno de los siguientes tres resultados:

1. La probabilidad de un nuevo emprendimiento de alto valor local dentro de una ventana similar de oportunidad alcanza a lo sumo un 5% en una siguiente iteración. Las condiciones que llevaron a la postulación de ideas para construir soluciones económicamente viables tienden a ser irrepetibles debido a factores como la disponibilidad inmediata de capital humano, la superación múltiple de barreras administrativas y estatales, y la disponibilidad de capital y percepción de riesgo por parte de financiadores ante el primer fracaso en el contexto nacional. En

su mayoría, los emprendimientos subsecuentes tienden a ser conservadores. Esto explica un porcentaje del 8-10% de empresas dedicadas a alguna actividad de manufactura, y a un estimado del 0.04% de ellas con innovación de alto valor.

2. Las personas emprendedoras buscan mejores condiciones y un emprendimiento que pudo ser local, se traslada a un contexto internacional. La propiedad intelectual se radica entonces bajo las reglas comerciales y legales de los financiadores internacionales. Las economías de escala de fondos se alcanzan y el emprendimiento se estabiliza.
3. Las personas emprendedoras involucradas regresan, en condiciones individuales desfavorables financieras, a un mercado laboral saturado. La posibilidad de nuevas fuentes de empleo desaparecen.

En resumen, el país debe salir de su ciclo acostumbrado de prototipos perpetuos: tecnologías promisorias en algún grado que únicamente catapultan a individuos ejemplares, pero no generan valor local o arraigo de capital.

## 1.2 Fallas de mercado hacia el emprendimiento

A partir del análisis anterior, es necesario explicitar las fallas de mercado particulares, y esbozar elementos de la estrategia general que puede seguirse para alcanzar estados seguros de inversión y generación de valor.

**Condiciones logísticas adversas [Monge-González et al., 2010]** El uso intensivo de tecnologías digitales para la comunicación, la fabricación digital y el uso de modelos será clave para reducir los costos de transporte, envío y distribución. Es indispensable, para aquellos casos en donde la fisicalidad de proceso sea inevitable, localizar las nuevas inversiones en ubicaciones cercanas a las condiciones de prueba.

<sup>1</sup> Este dato es extrapolado a partir de la diversidad de sectores, tamaño de empresa, años en el mercado y un prefactor de sofisticación industrial. Para más detalles, ver Schwarts [2013].

## **Propiedad intelectual poco utilizada**

**[Orozco y Ruiz, 2010]** Todas las invenciones deben evaluarse una vez que su potencial sea adecuadamente evaluado con el fin de erradicar políticas de propiedad intelectual como las existentes en la actualidad (100% de cero continúa siendo 0). En términos prácticos, las políticas de propiedad intelectual no deben reñir con el potencial de emprendimiento cuando las ideas no están suficientemente maduras, o no es posible aún establecer si existe el salto inventivo. Es necesario que en el proceso de formación de nuevos emprendimientos, las personas involucradas cuenten con guías apropiadas para determinar, de manera sistemática (no solo legal) con respecto al proceso de creación, dónde debe protegerse la información respectiva fuera del país basándose en un análisis de impacto potencial en el mercado correcto. Para aquellas invenciones en las que el conocimiento y la práctica sean el objeto de rédito, deberá evaluarse el esquema de replicabilidad de tal forma que además se habiliten modelos de consultoría empresarial. Existe un mercado abierto de oportunidades basadas en conocimiento alrededor de tecnologías abiertas que, si bien se sabe de su existencia, no ha sido planteado como una forma de solventar fallas de mercado. Para aquellas invenciones referentes a protocolos y procedimientos, el objetivo debe ser el constituir estándares o contribuir a aquellos que ya existen. Es necesario efectuar un análisis caso a caso en los proyectos disruptivos debido a su alto riesgo y, al mismo tiempo, alto potencial.

## **Capital humano limitado [Paus y Gallagher, 2008]**

Existen tres estrategias para superar la escasez profesional en áreas de alta tecnología. La primera consiste en utilizar instrumentos existentes de relocalización profesional de personas internacionales expertas por periodos promedio de tres años, con exclusividad para emprendimiento e innovación, donde exista una posibilidad realista de contar con conocimiento de punta en el país. La segunda es identificar las tecnologías promisorias dentro del sistema de educación superior costarricense

donde se cuente con evidencia de productividad sostenida, generación de artículos en revistas de primera categoría, indexadas fuera de América Latina y con citaciones en otras locaciones. Existe una importante población de personas en áreas científicas cuya posición de interinazgo a lo largo del sistema de educación pública costarricense puede transformarse en personal industrial de alto nivel, bajo la guía de personas expertas internacionales de tal forma que no se repliquen elementos inadecuados del contexto nacional, pero la invención se radique en el país. Finalmente, la tercer estrategia parte de la identificación de los elementos de la cadena de valor de tal forma que la pirámide técnica, profesional y de investigación y desarrollo actual del país se establezca tal como ocurre en Alemania, Austria y Noruega. Las tareas técnicas, de naturaleza más especializada, deben ser diseñadas con múltiples propósitos para garantizar que ante la formación de nuevas empresas, o el cierre eventual de aquellas existentes, siempre exista un pool de empleabilidad local con capacidad de retención en el territorio. Es poco realista suponer que la velocidad de cambio del sector universitario costarricense estará a tono con un nuevo sector industrial, y por ende será este conjunto de nuevas industrias lo que marque la pauta de la educación. Lo anterior es posible solamente cuando el Estado construya y diversifique instrumentos empresariales en la forma de incentivos fiscales [Sánchez-Ancochea, 2009]. Desde la perspectiva fiscal, los incentivos funcionan a con base en la hipótesis estadística de una alta ganancia a partir del éxito de iniciativas internas que, una vez que logran superar la etapa de riesgo, generan una ganancia exponencial con respecto a la inversión inicial [Köhler et al., 2012].

## **Mercado interno limitado [Giulani, 2008]**

La producción costarricense de emprendimientos de siguiente generación debe enfocarse en mercados distintos del nacional. Para este fin, es probable que se requiera la instauración de una sociedad, asociación u organización industrial cuyo funcionamiento sea

similar a aquellas en Europa [Camarinha-Matos et al., 2009], de administración lean y máxima automatización, cuyo rol último sea incrementar la cantidad de emprendimientos con potencial exportador que PROCOMER posteriormente reciba y articule en el futuro. Un resultado de lo anterior es extender los límites comerciales de las empresas costarricenses aún cuando no cuenten directamente con los recursos o conexiones apropiadas ante el desarrollo de tecnologías exportables a mercados internacionales; se debe generar asimismo varios mecanismos de captura de financiamiento para reinversión hacia nuevos emprendimientos. Las cámaras empresariales costarricenses en este último punto tienen un rol clave en catalizar esfuerzos concretos que trasciendan su tradicional rol de organización más estratégica y abstracta hacia uno más táctico y concreto [Amoako-Gyampah y Acquah 2008; Lin et al., 2009].

### **Financiamiento público limitado [Orozco y Ruiz, 2010]**

Toda iniciativa de alta tecnología requiere de financiamiento sostenido por periodos dentro los 2 y los 5 años, en especial cuando las tecnologías tienden a resultar en procesos u objetos de manufactura o estándares [Barney e al., 2011]. Dos estrategias tienen potencial de apoyar la solución de la carencia de financiamiento. Primero, la conformación de una organización permite socializar el riesgo y dar mayor solidez para solicitudes a distintos mecanismos financieros reembolsables. Para aquellos casos en los cuales existan instrumentos financieros públicos no reembolsables, debe evitarse la dispersión del acceso a los fondos. Es preferible la formación de alianzas estratégicas que esfuerzos pequeños y localizados. Cualquier decisión de inversión debe mostrar que la inyección de fondos resultará en un salto cuantitativo de productividad, acceso o creación de nuevos mercados al menos un 40% mayor del actual. Todo reto organizacional debería solucionarse mediante mecanismos distintos a inyección de capital a través de instrumentos financieros, y en el mejor de los casos, debería

prevenirse mediante el establecimiento de buenas prácticas desde el inicio de emprendimiento, tomando en cuenta desde los principios internos de comunicación hasta la toma de decisiones [Zattoni and Cuomo, 2008]

### **Escasa cultura local de innovación [Crespi y Zuñiga, 2012]**

La dificultad de experimentar procesos de innovación de alto nivel en Costa Rica proviene de una pobre cultura de invención, reflejada en los números de patentes nacionales y de publicaciones de alto nivel tanto en la academia como en la industria. Existen cuatro elementos clave para que exista un contexto de innovación sostenible en el largo plazo:

1. Es indispensable sistematizar el proceso de innovación mediante herramientas que implementen teorías y técnicas tales como TRIZ, SIT o USIT desde el inicio, incluyendo enlaces a teorías económicas. Este paso es en sí mismo el origen de un meta-emprendimiento nacional para un mercado meta internacional considerando que este tipo de herramientas es escaso.
2. La elección de proyectos debe ser juzgada mediante un panel mayoritariamente internacional en una proporción al menos 70-30 para los primeros cinco años de operación. Este panel debe estar compuesto por personas con experiencia de campo en sus disciplinas, que además hayan incursionado en emprendimiento o en innovación en un rol activo, y no solamente contemplativo o académico.
3. Será necesario establecer convenios con las organizaciones donde hay disponibilidad de financiamiento para condicionar la entrega de fondos a la utilización de metodologías de innovación, así como tales herramientas posterior a los dos primeros años. Con anterioridad, deberá existir al menos un esbozo de cómo se efectuará de forma sistemática el proceso de creación de nuevos procesos, estándares o productos.
4. Cuarto, es indispensable priorizar aquellos nuevos emprendimientos que en su plan de

negocios consideren la integración a grupos de trabajo para el establecimiento de estándares en su disciplina.

**Contexto estatal limitado [Padilla-Pérez y Gaudin, 2014]** El establecimiento de una organización o sociedad industrial costarricense en alta tecnología implica facilitar los aspectos legales y administrativos de los nuevos emprendimientos a través de la profesionalización y la automatización de acuerdo con el espíritu de la Ley No. 7169 de Promoción del Desarrollo Científico y Tecnológico<sup>2</sup>. Adicionalmente, el desarrollo de nuevos emprendimientos de alto impacto debe buscar una superficie mínima de contacto legal con la legislación nacional mediante el diseño de instrumentos generalizados y simples. Esto constituye un segundo meta-emprendimiento.

En síntesis, los emprendimientos de base científico-tecnológica deben buscar la optimización entre el alto valor y el alto impacto. Cualquier otro emprendimiento en un área distinta distorsiona la asignación de recursos para nuevos emprendimientos bajo la suposición de una segunda transformación productiva nacional [Ferreira y Harrison, 2012]<sup>3</sup>. Contar con un sistema de alta productividad requiere, de parte de quienes financian, una redefinición de sus escalas de tiempo y riesgo. Es poco razonable esperar que a partir de fondos semilla limitados y un análisis de riesgos conservador existan emprendimientos fuertes. Por otra parte, es indispensable reconocer que el riesgo es un factor relevante que puede ser mitigado por distintas intervenciones (tanto financieras como procedimentales) sin disminuir el grado de novedad de los resultados.

### 1.3 Oportunidades locales

Costa Rica, a pesar de las fallas de mercado anteriormente citadas cuenta con las siguientes oportunidades locales clave que son subestimadas en su potencial de emprendimiento:

<sup>2</sup> Ver: <http://bit.ly/2lbV4Ku>.

<sup>3</sup> La primera transformación productiva costarricense puede considerarse aquella en donde la economía agraria fue reemplazada por turismo, servicios y alta tecnología. Apuntamos a una donde sea tecnología de siguiente generación.

- Una cantidad significativa y creciente de personas investigadoras en el sector universitario en interinazgo, sin que las universidades estatales sean capaces de sostener mejores condiciones de empleo.
- Más de 310 unidades de investigación (e.g. centros, laboratorios, institutos, unidades de investigación) con financiamiento público o semi-público, con un 10% de ellas acreditadas en protocolos y estándares de distintos tipos. Un porcentaje de esta población tiene potencial de iniciar nuevos emprendimientos de muy alto valor.
- Un bono poblacional, con un nivel educativo que permite capacitación de técnicos especializados una vez diseñado el tipo de puestos en un horizonte de 10 años.
- Dominio del idioma inglés en las posiciones cercanas a ciencia y tecnología, en especial en el sector de tecnologías digitales desde hace más de 20 años [Rodríguez-Clare, 2001].
- Biodiversidad intensa a lo largo del territorio nacional.
- Una diáspora científica en instituciones internacionales de trayectoria científica y tecnológica con un porcentaje que, en condiciones favorables, valoraría relocalización a Costa Rica o al menos pertenecer a un consejo consultivo.
- Zona horaria adecuada para los mercados de alta tecnología y conectividad a la Internet mínima suficiente para llevar a cabo actividades de negocio.

### 1.4 Oportunidades globales

Al mismo tiempo, existe una serie de oportunidades globales que son difíciles de explotar de manera sistémica por esfuerzos nacionales o regionales en países de la OCDE<sup>4</sup> debido a factores tales como la inercia industrial de vías de desarrollo existentes,

<sup>4</sup> Esta discusión no contempla ningún país de América Latina como fuente de buenas prácticas, sino como objetivo de mercado.



riesgos comerciales de cambios en productos ampliamente difundidos, y presuposiciones sobre el funcionamiento de sistemas de larga data. Identificar, aprovechar y convertir estas oportunidades en emprendimientos es central para negocios escalables.

- En todos los países pertenecientes a la OCDE, y en algunos países de América Latina, la infraestructura sobre la cual se articula la sociedad proviene de diseños de sistemas que datan al menos de hace cuarenta años. A pesar de que forman la base de las condiciones sociales y económicas, son sistemas ineficientes debido a que fueron implementados bajo principios científicos y tecnológicos basados en menos información que la disponible en la actualidad. En muchos de estos casos, la capacidad de innovación en contextos limitados como el costarricense ha mostrado proveer perspectivas más eficientes y efectivas para problemas comunes [Govindarajan y Trimble, 2013].
- Articular esfuerzos de investigación que exigen amplia diversidad biológica es poco factible en geografías homogéneas o extensas. La variedad climática y biológica costarricense presenta un caso único para temas como energía, ambiente, agricultura y salud.
- Los procesos de prospectiva de naciones extensas tienden a ser generales, y salvo áreas ya consolidadas, pueden sobre-enfatizar finales de línea en materia de investigación y desarrollo. A pesar de la desarticulación del sector, las redes sociales informales y la demografía empresarial permiten rápidamente comprender los riesgos, oportunidades y posibles mecanismos de acción futura.
- Costa Rica cuenta con una dinámica geopolítica estable, además de una imagen internacional en general positiva. Ante un posible incremento en la inestabilidad mundial de las fuerzas políticas, la posición nacional es privilegiada en ese sentido. Es indispensable generar estrategias que conviertan a la nación en un laboratorio internacional para temas como cambio climático, reducción de la pobreza, mejoramiento de infraestructura

logística y desplazamiento de empleos debido a intelectos sintéticos.

## **Acerca de la producción de este documento**

Este proyecto fue llevado a cabo en su mayor parte gracias a tecnologías libres y abiertas. El análisis de fronteras y oportunidades para Costa Rica es en sí mismo un tipo de emprendimiento que debe demostrar por sí mismo el ejercicio de recursos disponibles y existentes desde una base común, democratizada y accesible. La disponibilidad actual de tecnologías permite, en un corto tiempo, amasar una cantidad razonable y confiable de conocimiento a partir de un alto grado de automatización del proceso de búsqueda, referencia y producción de información.

## **Fronteras de investigación aplicada e innovación**

Para el desarrollo del programa PITS se establecieron como áreas de interés prioritario las de agroalimentarias, salud y bienestar, ambiente y energía, además de sociedad inteligente. Para cada una de ellas se identificaron diez (10) fronteras de investigación aplicada e innovación, las cuales fueron caracterizadas mediante los siguientes atributos:

1. Contexto de control. Se efectuó una descripción sintética del estado de situación, con énfasis en los elementos de control que llevarían a un estado satisfactorio.
2. Análisis factual de impacto. Se extrapoló el resultado hipotético de una solución exitosa en términos del estado deseable en el marco de la teoría de control.
3. Análisis contrafactual de impacto. Si la hipótesis de realización era sujeta a contradicción, se estimó el efecto negativo de no continuar en esta frontera o tendencia.
4. Objetivo transformacional. Para cada problema, se identificó la intersección de factores descrita en el capítulo anterior.
5. Objetivo de conocimiento. Se identificó el estado

de conocimiento para la frontera o tendencia establecida en relación con la investigación aplicada o innovación. Se excluyeron elementos relacionados con la investigación básica cuando éstos no presentaban relación directa a un paso con el objeto del problema formal.

6. Métrica de impacto. Se indicó, dado el impacto, cuál es el factor que permite medir el cambio de estado.
7. Mercado potencial estimado. Suponiendo hipótesis de realización efectiva, se estimó el tamaño del mercado accesible.
8. Población objetivo. Se establecieron los rangos poblacionales para los cuales las fronteras o tendencias son relevantes.
9. Brecha de realización plena. Se analizaron los factores centrales que evitan alcanzar plenamente el estado de control deseado en términos de objetivos transformacionales y de conocimiento. Esta brecha es general, y fue complementada con el análisis de capacidades nacionales para determinar la viabilidad de los emprendimientos en un rango de fronteras.
10. Brecha de adopción. Se indicaron los factores que determinan si el resultado de un emprendimiento puede ser exitoso en el contexto de mercado, especialmente hacia la comercialización y crecimiento de operaciones.
11. Firmas comerciales arquetípicas. Se mencionaron datos de tres firmas comerciales involucradas en procesos de innovación de estas tendencias. Se consideraron emprendimientos o firmas generadas en los últimos dos años únicamente que además fueran consideradas empresas gacela enfocadas en internacionalización [Nordgren and Wilde, 2016] con un tamaño relevante para el caso de emprendimiento costarricense.

la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico, la Organización Mundial de la Salud, El Panel Internacional de Cambio Climático, la Organización Mundial de Alimentos y Agricultura, Banco Mundial y Fondo Monetario Internacional. De cada una de las colecciones consultadas, se utilizó aquellos reportes en donde existe intersección explícita con tecnologías.

2. Para cada uno de los retos prioritarios, cuyo ranking se determinó mediante la prioridad en cada una de las organizaciones de manera cruzada, se efectuó un análisis de compatibilidad. Los siguientes son tres ejemplos de fronteras excluidas de acuerdo con el criterio anterior:
  - La reutilización de carbono para generar nuevos combustibles fósiles produce dos contradicciones: una completa con la temática de ambiente y energía (así como con la afirmación país de carbono neutralidad) y con salud en alérgenos.
  - El desarrollo de robótica especializada en la línea más industrial e inorgánica es financieramente poco factible en una primera iteración de emprendimiento. El uso de mecanismos inspirados en la naturaleza (biomimética) es consistente con las posibilidades materiales del país en la actualidad, y reduce el costo de prototipaje para, en una segunda fase, acceder a plataformas tecnológicas más ambiciosas y tener impacto de mercado.
  - La identificación de nuevos fármacos antibióticos de un solo mecanismo solamente es un paliativo al problema de la multirresistencia, y es un espacio donde competir a nivel internacional no es realista. Por otra parte, mecanismos para luchar en contra de la resistencia antibiótica como fenómeno es rentable localmente y se encuentra plenamente insertada en la teoría de transformación que se ha presentado.
3. Una vez identificados los retos, se determinó cuáles de ellos eran pertinentes a la filosofía de desarrollo planteada en el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2015-2021.

### **El proceso de selección se efectuó en varias fases:**

1. Para identificar los retos internacionales globales, se utilizó la colección de informes de

**► Tabla: Índice de factibilidad de fronteras.**

<b>Frontera</b>	<b>Descripción Corta</b>	<b>Índice</b>	<b>Ranking</b>
4.3	Obesidad	17.5	1
6.7	Energía de hidrógeno y plasma	17.5	1
4.7	Expediente médico pacientecéntrico	17	2
4.9	Adherencia a medicamentos	16	3
5.4	Automatización de prácticas productivas	16	3
6.4	Biomasa para producción energética	15.5	4
6.8	Especies resilientes a cambio climático	15.5	4
6.10	Química verde para catálisis	15.5	4
4.4	Enfermedades cardiovasculares	15	5
5.2	Recuperación de fertilidad del suelo	15	5
4.2	Enfermedades neurodegenerativas	14.5	6
4.5	Accidentes de tránsito	14.5	6
7.2	Servicios monetizables por blockchain	14.5	6
5.3	Prospección ecológica	14	7
7.9	Robótica post-Turing	13.5	8
5.1	Detección de fertilidad del suelo	13	9
5.6	Tecnología para mercados locales	13	9
5.10	Medición in situ nutricional y sanitaria	13	9
6.6	Intervenciones ecológicas de riesgo	13	9
6.9	Contaminantes emergentes	13	9
5.7	Empaquetado biodegradable	12.5	10
7.1	Tuberías seguras en Smart Cities	12.5	10
4.1	Resistencia antibiótica en bacterias	12	11
4.6	Estrés crónico	12	11
4.8	Agentes alérgicos	12	11
5.8	Metabolitos de alto valor agregado	12	11
7.10	Intelectos sintéticos seguros	12	11
5.9	Trazabilidad inteligente de productos	11.5	12
6.3	Red inteligente con aprendizaje local	11.5	12
7.5	Descubrimiento semántico de servicios	11.5	12
7.7	Arquitectura digitalmente habilitada	11.5	12
7.8	Manufactura digital repetible	11.5	12
6.1	Carbono secuestrado para construcción	11	13
7.3	Identidad segura distribuida	11	13
7.4	Datos abiertos 2.0	10.5	14
6.2	Biorremediación de agua a gran escala	10	15
4.10	Diagnóstico portátil	9.5	16
5.5	Preservación de variedad genética	9.5	16
6.5	Baterías de ultra-alto rendimiento	9	17
7.6	Redes geográficamente resilientes	8.5	18



## ► Evaluación global para Costa Rica

### Índice de factibilidad nacional de emprendimiento

Para determinar el índice de factibilidad, se utilizó un modelo completamente aditivo con ponderación dependiente de los objetivos de conocimiento del proyecto. A continuación, se describe cada uno de los elementos considerados para cada una de las fronteras.

- Para cada tecnología involucrada, un punto por la existencia de personas costarricenses académicas referentes.
- Para cada tecnología involucrada, un punto por la existencia de personas costarricenses industriales referentes.
- Para los objetivos de conocimiento, se suma la ponderación de cada uno de los que se encuentran presentes (CPE = 7, CID = 5, CFR = 3) y se divide entre tres. Los valores de la ponderación se han elegido de tal forma que maximicen la diferencia en el índice para todos los casos con una baja multiplicidad (ningún índice se asigna para más de un 15% de las fronteras). La elección referida a la ponderación de factores anterior se explica a partir del siguiente modelo: los proyectos de práctica y experiencia (CPE) generalmente solo involucran aplicación de tecnologías existentes y tienen mayor probabilidad de éxito, mientras que los de creación de infraestructura (CID) y más aún los de investigación fundamental (CFR) tienen mayores riesgos.
- Si existe infraestructura que permita desarrollar el propósito de un emprendimiento hacia una frontera, se asigna un punto adicional.
- Si existe infraestructura que permita prototipar el propósito de un emprendimiento hacia una frontera, se asigna un punto adicional.
- Si una frontera permite generar un producto, se asigna un punto adicional.
- Si una frontera permite generar una cadena de valor, se asigna un punto adicional.
- Si una frontera permite generar un estándar, se asigna un punto adicional.

La Tabla contiene los resultados del cálculo del índice para las fronteras con los datos presentados a lo largo de los distintos capítulos. Con el fin de facilitar la lectura en este formato, se incluye una descripción corta de cada frontera. Se presenta a la par del índice de factibilidad, el ranking respectivo desde 1 hasta 18.

# Identificación de Fronteras

## 4. Salud y Bienestar

Desde la proliferación de nuevos tipos de bacterias resistentes a antibióticos hasta los accidentes automovilísticos que causan pérdidas humanas y materiales, los retos en salud y bienestar han variado drásticamente durante los últimos 20 años. La Organización Mundial de la Salud en su Reporte anual más reciente ha determinado los retos más importantes en un contexto nuevo: un ritmo de vida acelerado, una esperanza de vida elevada que lleva a la expresión de enfermedades asociadas a edades avanzadas en números nunca antes vistos, y una distribución desigual de la riqueza que coloca presión adicional sobre la atención en salud [world2014world]. Ambos retos son indicativos de nichos de mercado amplios donde la clave del éxito reside en desarrollar estándares, tecnologías y prácticas altamente eficientes. La investigación en ciencias biomédicas de nivel internacional permite priorizar diez fronteras consecuentes con la aplicación de tecnologías convergentes de forma intensiva en donde desarrollar emprendimientos hoy permite una mayor probabilidad de éxito a futuro con el contexto costarricense, cuyo perfil en salud poblacional se encuentra dentro del rango de los países de la OCDE.

Tal convergencia tecnológica hacia nuevos emprendimientos traza una ruta marcada por biosensores y dispositivos médicos biológicamente inteligentes, aplicaciones de la nanotecnología para métodos estadísticos modernos hacia medicina personalizada y el uso intensivo de la información para garantizar entornos médicos efectivos que garanticen la privacidad de la persona.

## Fármacos de siguiente generación contra la resistencia a antibióticos en patógenos peligrosos

# 4.1

El abuso en el uso de antibióticos por parte de la comunidad médica, originado en una comprensión aun pobre de los microorganismos asociados a distintas patologías, ha llevado a la aparición de cepas multirresistentes que amenazan la salud global, en especial en ambientes hospitalarios [Roca et al., 2015]. Es indispensable encontrar terapias antimicrobianas que reduzcan la propensión de microorganismos a desarrollar o expresar mecanismos de resistencia que se propaguen al resto de la población y que sean farmacológicamente factibles.

Los elementos de control clave para atacar esta problemática, que se encuentran en fase de análisis por diferentes grupos de investigación e industrias son:

Las propiedades de la membrana celular y el espacio periplásmico, claves en la capacidad de acción de los mecanismos de resistencia.

La probabilidad de que las mutaciones que se expresan favorezcan la aparición de mecanismos de resistencia que permitan mayor patogenicidad y/o virulencia.

El nivel de exposición a agentes antibióticos conocidos de tal forma que sea suficiente para eliminar hasta poblaciones residuales, pero no más allá para causar adaptación por hipermutación somática del mismo organismo o adaptación adyacente de otros microorganismos

La capacidad de los distintos mecanismos de reparación de ADN y ARN en las células procariontas para evitar daños sostenidos por fármacos antibióticos.

La combinación de factores múltiples que incrementa la barrera de adaptación de los microorganismos a la acción de fármacos nuevos o conocidos.

## Análisis factual de impacto

La existencia de terapias antimicrobianas que reduzcan el riesgo de multirresistencia implica disminución en el costo de salud individual, una disminución global en el riesgo de retroceso de la efectividad de terapias futuras y transformaciones hacia la reinversión de tecnologías que dirijan la evolución biológica de ecosistemas humanos para la microbiota necesaria en las fases tempranas e intermedias de la exploración espacial de largo término.

## Análisis contrafactual de impacto

El no contar con nuevas terapias ante la emergencia de la resistencia microbiana a antibióticos puede llevar a una condición similar o peor a aquella previa al descubrimiento de los antibióticos para el 2070 [World Health Organization, 2014].

### Métrica de impacto

Cantidad de pacientes en ambientes nosocomiales infectados que, al recibir dosis apropiadas de fármacos de nueva generación, son capaces de sobrevivir y recuperarse de forma completa.

### Mercado potencial estimado

Cantidad de pacientes en ambientes nosocomiales infectados que, al recibir dosis apropiadas de fármacos de nueva generación, son capaces de sobrevivir y recuperarse de forma completa.

### Población objetivo

Pacientes infectados en ambientes nosocomiales donde la aplicación de antibióticos es crítica en la aparición de multirresistencia.

### Brecha de realización plena

Brechas de conocimiento en el proceso de escalamiento de alternativas existentes que solamente operan en el laboratorio. Carencia de suficientes ensayos clínicos con suficiente variabilidad en las cepas de control.

### Brecha de adopción

Costo de producción suficientemente bajo para ser competitiva contra antibióticos actuales. Replicabilidad de los resultados y calidad analítica suficiente para establecer garantías sobre la salud de los pacientes.

### Firmas comerciales arquetípicas

- Spero Therapeutics. Ankit Mahadevia, MD. <https://sperotherapeutics.com>
- Aeglea Biotherapeutics. George Georgiou, Ph.D. <http://aegleabio.com>
- Qura Therapeutics. David Margolis, MD. <http://tinyurl.com/pdden7f>

## Métodos de identificación y tratamiento temprano de n enfermedades eurodegenerativas

# 4.2

Mejores políticas de atención en el sector salud conllevan un incremento en la esperanza de vida en países de desarrollo medio y alto [Brown et al., 2005], y con ellas la expresión de enfermedades neurodegenerativas (aquellas en donde la función cerebral total o parcial se degrada en el tiempo) en números inesperados previamente.

Los siguientes factores de control son esenciales para encontrar mejores métodos de detección y tratamiento:

Activación de rutas metabólicas involucradas en la degradación de funciones cerebrales.

Regulación de la función cerebral mediante elementos no proteínicos (e.g. priones, ARN pequeño de interferencia).

Mecanismos celulares (e.g. acortamiento de telómeros, presencia de radicales libres, procesos dirigidos por superóxido) involucrados en la degradación temprana de estructuras celulares y macrocelulares.

Síntomas tempranos con suficiente diferenciación para tomar acciones respectivas en corrección o mitigación de la degradación celular.

Elementos de entorno activos para mejorar o suplantar funciones cerebrales de forma eficiente ante neurodegeneración baja o media

Factores ambientales múltiples con interacciones no evidentes.

Composición nutricional de la dieta de acuerdo con la edad.

## **Análisis factual de impacto**

Existen múltiples resultados de alto impacto en el mercado de salud para distintas enfermedades. En materia macroeconómica, una reducción de costos en los sistemas de salud, así como un incremento en la población que puede mantenerse económicamente activa en la medida en que los planes de retiro laboral deben extender sus límites etarios con poblaciones donde la definición de ancianidad ocurre más tarde. En materia personal, la capacidad de detectar y mantener fuera de alcance por largos periodos de tiempo cualquier enfermedad neurodegenerativa corresponde a un incremento en la calidad de vida, la productividad y a una disminución en el costo sostenido en salud. Para efectos de la industria, se espera una población adulta mayor con capacidad productiva incrementada mediante prevención, medidas de accesibilidad o mitigación de condiciones no inhabilitantes.

## **Análisis contrafactual de impacto**

Existen tres grandes consecuencias en la ausencia de estas tecnologías. Primero, un colapso económico en la productividad de países de renta media y alta debido a desequilibrios financieros en sistemas de atención en salud y sistemas de ahorro de retiro. Segundo, una disminución en la esperanza de vida individual e incremento en los costos de salud, aseguramiento y adecuación de ambientes seguros. Tercero, una contracción en el sector comercial debido a menor cantidad de población económicamente activa que, a pesar de ser una condición mitigada por el avance de la robótica y los intelectos sintéticos, reduce su oferta y demanda financieras.

## **Objetivo transformacional**

REK Ante la complejidad de factores involucrados en la identificación y tratamiento de enfermedades neurodegenerativas, es crítico desarrollar tecnologías que sinteticen rápidamente hechos biológicos y contextuales para determinar estrategias efectivas a partir de conocimiento interpretable por especialistas humanos.

## **Objetivo de conocimiento**

CFR, CID, CPE Además de las carencias en conocimiento fundamental de la biología del cerebro a múltiples niveles, la complejidad en la interacción de factores conocidos

## **Métrica de impacto**

Cantidad de personas con enfermedades neurodegenerativas donde ocurre detección temprana y tratamiento apropiado para eliminación, reducción o mitigación de condiciones inhabilitantes.

## **Mercado potencial estimado**

El mercado de atención mundial por enfermedades degenerativas en tratamientos, pérdidas o costos indirectos fue estimado en \$2.5 millones de millones, y se estima al 2030 en \$6 millones de millones [Bloom,2012]. Este monto ya supera el costo estimado de inversiones en salud en cáncer.

## **Población objetivo**

Población mayoritariamente adulta que esté sujeta a posibles enfermedades neurodegenerativas en países de renta media y alta.

## **Brecha de realización plena**

La realización de estas tecnologías está impedida, con el conocimiento existente hasta el momento, debido a la incapacidad de integrar coherentemente la multitud creciente de estudios médicos y epidemiológicos. Es necesario crear nuevas plataformas de análisis de datos, diseño de experimentos y toma de datos biomédicos con el fin de implementar soluciones viables.

## **Brecha de adopción**

La brecha de adopción ocurre en dos niveles. En el nivel de salud, las soluciones deben disminuir el costo por paciente a un nivel razonable para los sistemas de salud, las compañías aseguradoras y la industria médica. Para el paciente, los sistemas deben alcanzar atributos de usabilidad, reutilización de dispositivos previamente adquiridos y garantizar la privacidad de sus datos sin afectar la calidad de los mismos que se transmiten a sistemas de análisis automáticos o a especialistas médicos.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

- Alzheon. Martin Tolar, MD., Ph.D. <http://alzheon.com>
- Alector. Arnon Rosenthal, Ph.D. <http://alector.com>
- BrainVectis. Nathalie Cartier-Lacave, MD. <http://www.brainvectis.com>

## Mecanismos para prevenir y reducir la obesidad

# 4.3

La obesidad ha adquirido el rango de epidemia en los países pertenecientes a la OCDE debido a sus efectos negativos en la salud, productividad y calidad de vida en general [Sassi et al., 2009]. Debido a su naturaleza multifactorial, es indispensable atacar los siguientes factores de control:

Actividad física en frecuencia e intensidad.

Estado de los mecanismos hormonales de regulación (principalmente función tiroidea).

Estado de los mecanismos de retroalimentación de liberación del péptido Y (señalización para la sensación de hambre).

Factores ambientales múltiples con interacciones no evidentes.

Composición nutricional de la dieta de acuerdo con la edad.

Hábitos y tendencias de vida, incluyendo estrés.



## **Análisis factual de impacto**

Reducir la obesidad en sus distintas formas reduce el gasto público y privado en salud, disminuye el riesgo de otras patologías y personas deshabilitadas, así como reducción de la productividad. A nivel personal, incrementa la funcionalidad así como la motivación personal.

## **Análisis contrafactual de impacto**

Debido a otras fallas de mercado en la red de consumo y distribución de alimentos, así como a factores sociales y económicos, la obesidad puede aumentar hasta ser la fuente de saturación de servicios de salud y baja productividad.

## **Objetivo transformacional**

REK, PED El conjunto de factores involucrados en la obesidad es amplio, y sus interacciones son complejas. Es indispensable comprender de forma eficiente la relación entre condiciones biológicas innatas o desarrolladas con el tiempo, las alternativas de consumo alimenticio, factores de comportamiento y factores ambientales que incrementan el índice de masa corporal más allá de límites considerados como saludables. Adicionalmente, el desarrollo de alimentos funcionales capaces de proveer nutrición adaptada a requerimientos metabólicos es un área poco explorada.

## **Objetivo de conocimiento**

CFR, CID, CPE Es necesario generar investigación aplicada cuyos resultados, después de procesos adecuados de anonimización o protección de datos dependientes de aplicación, permitan elucidar relaciones no evidentes entre distintos factores y la obesidad en individuos o grupos. Adicionalmente, es necesario desarrollar tecnología que integre alternativas existentes por separado para medir, reducir y mitigar factores que disparan aumentos de peso poco saludables. Finalmente, existe la necesidad de estudiar los efectos de alternativas existentes en el comportamiento con respecto a adherencia, efectividad y transformación de hábitos hacia una vida más saludable.

## **Métrica de impacto**

Magnitud del rango de variación en el índice de masa corporal con respecto al valor ideal (BMI 18.5).

## **Mercado potencial estimado**

Se estima que mundialmente que la inversión y el costo en salud directamente relacionados al tratamiento de la obesidad corresponde a un 1-3% del gasto público en salud en todos los países. En la mayoría de los países de la OCDE, al menos un 30% de la población puede considerarse con algún grado de obesidad. Se estima que el mercado de pérdida y manejo de peso corporal al 2019 tendrá un valor de \$206.4 mil millones<sup>2</sup>.

## **Población objetivo**

Personas con una desviación positiva de más de dos puntos en el BMI.

## **Brecha de realización plena**

Existen sistemas de registro y seguimiento de masa corporal de diversa índole, pero no es posible encontrar mecanismos que actúen de manera multifactorial a partir de la obtención de conocimiento a partir de la persona y constantes biomediciones de su condición y hábitos. En particular, existen problemas interesantes en analítica de datos desde integración de fuentes de información hasta captura de comportamientos.

## **Brecha de adopción**

El diseño de interacción humano máquina es la brecha más importante para estos mecanismos, de tal forma que no interrumpen el flujo de otras actividades.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

- Ayogo. Michael Fergusson. <http://ayogo.com>
- QuestNutrition. Tom Bilyeu. <http://www.questnutrition.com>
- Enteromedics. Scott A. Shikora, M.D. <http://www.enteromedics.com>

## Métodos de prevención, detección temprana, mitigación y eliminación de riesgos por enfermedades cardiovasculares

# 4.4

Las enfermedades cardiovasculares son uno de los factores principales en atención médica alrededor del mundo. Se estima mundialmente que un 31% de todas las muertes ocurren debido a fallas relacionadas al sistema circulatorio<sup>1</sup>.

Los factores centrales de control para este reto están bien tipificados:

Actividad física en frecuencia e intensidad.

Factores genéticos hereditarios con efectos negativos en la función cardíaca y presión arterial.

Estado de resiliencia de órganos y tejidos.

Factores ambientales múltiples con interacciones no evidentes.

Composición nutricional de la dieta de acuerdo con la edad.

Hábitos y tendencias de vida, incluyendo estrés y obesidad.

<sup>1</sup> Ver: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/en/>.

## **Análisis factual de impacto**

Establecer un mercado de productos accesibles en costo y diseño en estas áreas permitiría incrementar la calidad de vida, reducir el costo de aseguramiento por riesgos cardiacos, mejorar las condiciones de pacientes con episodios de enfermedades relacionadas al funcionamiento inapropiado del sistema circulatorio, reducir la cantidad de accidentes vasculares y mejorar la calidad de vida en general de poblaciones en riesgo.

## **Análisis contrafactual de impacto**

De mantenerse, junto con las tendencias alimenticias y de consumo de psicotrópicos así como de hábitos y estrés, se incrementará el porcentaje de muertes que pueden ser atribuidas a deficiencias del sistema circulatorio, con el respectivo incremento en el costo de los sistema de salud y de aseguramiento.

## **Objetivo transformacional**

REK, LEM, PED Es necesario contar con mecanismos de análisis, que incluyen el diseño de nuevos dispositivos biomédicos para la detección y corrección de condiciones adversas en el sistema circulatorio, capaces de proveer información detallada multifactorial del estado de salud en las personas.

## **Objetivo de conocimiento**

CID, CPE Existen resultados recientes en investigación básica alrededor del efecto de distintos factores intrínsecos y extrínsecos al paciente que no han sido llevados a la práctica en la forma de métodos de obtención de conocimiento, creación de dispositivos biomédicos o técnicas farmacológicas experimentales. Adicionalmente, existe una carencia en el análisis del resultado de estas nuevas tecnologías y métodos.

## **Métrica de impacto**

Reducción en la severidad y el número de pacientes con afecciones por enfermedades cardiovasculares.

## **Mercado potencial estimado**

Se estima que las enfermedades cardiovasculares tienen un costo cercano al 62% del gasto e inversión en salud en países de OCDE. Estas estimaciones indican un mínimo de 400 millones de personas con afectaciones cardiovasculares medias o severas globalmente. Se estima que el mercado de enfermedades cardiovasculares al 2019 tendrá un valor de \$18.4 mil millones.

## **Población objetivo**

Personas con propensión o historial clínico relacionado a enfermedades cardiovasculares.

## **Brecha de realización plena**

Generar soluciones con alta biocompatibilidad que reduzcal en riesgo de materialización, remisión o complicación de las enfermedades cardiovasculares es el principal reto abierto. Adicionalmente, el diseño de interacción humano-máquina, así como la capacidad interpretativa de datos multifactoriales se perfilan como los principales obstáculos presentes de las soluciones actuales desde el mercado.

## **Brecha de adopción**

Las brechas de adopción para soluciones en enfermedades cardiovasculares están limitadas por factores de costo y escalabilidad. En particular, la capacidad de disminuir el costo en procedimientos frecuentes, y de generar procesos de manufactura con estándares de calidad médicos son retos. Adicionalmente, la adopción desde el punto de vista del paciente está restringida por la capacidad de formar hábitos de adherencia a medicamentos, terapias o comportamientos.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

- HeartWare. Katrin Leadley, MD. <http://www.circulite.net>
- Cardiolyse. Anna Starynska, Illya Chaikovsky. <http://www.cardiolyse.me>
- Vitalidi. Ana Priscila Alves. <http://www.vitalidi.com>

## Métodos para la prevención y detección de conductas que llevan a accidentes automovilísticos

# 4.5

La seguridad en el sector de transportes consume cerca del 2% del PIB de las naciones que corresponde a presupuestos de salud. Con el aumento de vehículos en carretera, la cantidad de accidentes se mantiene en márgenes que generan gastos públicos elevados, víctimas humanas en grandes números y sobre todo costos indirectos [Violence et al., 2013]. Es necesario crear mecanismos para reducir la incidencia y prevalencia de accidentes automovilísticos.

Los factores de control para este reto son:

Grado de automatización de detección de obstáculos, peatones y otros automotores

Grado de automatización de detección de patrones fisiológicos y de comportamiento que indican factores de riesgo en personas conductoras.

Cantidad y calidad de la integración de información relevante para una conducción segura.

## **Análisis factual de impacto**

El reducir la cantidad de accidentes en carretera aumenta la esperanza de vida promedio, reduce el nivel de estrés en carretera mediante atención a los factores subyacentes a conductas y patrones de comportamiento inadecuados, así como una disminución en pérdidas financieras, erosión del mercado de aseguramiento de vehículos y crecimiento desmedido de deudas personales.

## **Análisis contrafactual de impacto**

La no implementación de tecnologías hacia reducción de accidentes y mayor automatización tiene como caso límite, ante el crecimiento poblacional y los retos de infraestructura, la tendencia hacia la infactibilidad de cobertura total de daños en mercados de aseguramiento y disminución de la sostenibilidad en los sistemas de salud.

## **Objetivo transformacional**

REK Es necesario determinar con precisión los factores de riesgo, así como las condiciones de manejo que intervienen en la materialización de accidentes para diseñar sistemas que los detecten y eviten.

## **Objetivo de conocimiento**

CFR, CID, CPE Es indispensable determinar los elementos fundamentales y éticos de tecnologías de asistencia de manejo y automatización, así como el desarrollo de tecnología de bajo costo y su despliegue extenso.

## **Métrica de impacto**

Razón entre la cantidad de accidentes sin y con medidas tecnológicas aplicadas

## **Mercado potencial estimado**

Se estima un mercado de \$671.3 mil millones anuales en el año 20145.

## **Población objetivo**

Personas propietarias de vehículos, empresas con flotillas de transporte.

## Brecha de realización plena

Para la realización plena, es necesario reducir el costo y aumentar la capacidad de integrar sistemas inteligentes para vehículos y personas conductoras con alta velocidad de datos. Aunque este es un reto pendiente, las comunicaciones inalámbricas y los protocolos habilitados por tecnologías 4G y 5G permiten avanzar bajo esquemas seguros de datos.

## Brecha de adopción

Los sistemas deben ser efectivos en costo y funcionalidad, así como conectados en datos a sistemas de procesamiento remotos.

## Firmas comerciales arquetípicas

- Zendrive. Jonathan Matus, Pankaj Risbood. <https://www.zendrive.com>
- Drive Spotter. Chris Augeri, Andrew Prystai. <http://drivespotter.com>
- FiveAI. Stan Boland. <http://www.five.ai>



## Tecnologías para asistir en la identificación, detección temprana y tratamiento de estrés crónico

# 4.6

El estrés crónico es un factor de riesgo importante en la salud con implicaciones en los sistemas endocrino, cardiovascular y nervioso [Bohlmeijer et al., 2010]. En general, el estrés es una respuesta alostérica (mediada por expresión de proteínas) que, ante estímulos que disparan alertas en el sistema nervioso, produce reacciones dirigidas a través de cambios en las concentraciones de adrenalina y glucocorticoides en la sangre. La exposición prolongada al estrés –conocida como estrés crónico– tiene la capacidad de alterar de forma temporal o permanente las funciones cerebrales. En términos sociales y económicos, se considera una epidemia moderna [Kalia, 2002].

Los factores de control para este reto se enumeran a continuación:

Identificación de estresores latentes a partir de conductas no explícitas.

Mecanismos de asistencia para planificación de tareas cotidianas y mejor estimación de cargas de trabajo.

Mecanismos automáticos de aislamiento digital.

Biomedición de respuestas a estrés (e.g. respuesta galvánica).

Patrones de conducta recurrentes que habilitan la materialización de estresores.

## **Análisis factual de impacto**

La reducción del estrés crónico permite a las personas recuperar su habilidad de logro material, su salud inmediata y reducir la probabilidad de aparición de otras enfermedades mentales y neurodegenerativas. En particular, reducir la prevalencia de estrés crónico permite aumentar la productividad individual, reduce costos en medicamentos y posibles efectos adversos (e.g. fármacos desinflamatorios y relajantes musculares), así como una mejor detección de estresores artificiales y condiciones sociales adversas hacia política pública. Un efecto colateral es el posible incremento de un mercado altamente enfocado para profesionales en psicología gracias a nuevas tecnologías que facilitan las labores terapéuticas.

## **Análisis contrafactual de impacto**

La ausencia de mecanismos para atender la epidemia de estrés crónico lleva a un aumento en los montos dedicados a aseguramiento y un decaimiento general en la productividad.

## **Objetivo transformacional**

REK Es necesario integrar la información biomédica disponible de la persona para detectar, reducir, mitigar o eliminar estresores que conllevan a estrés crónico de forma permanente. En particular, se requiere identificar el conjunto de conductas que reducen el potencial estresor a futuro.

## **Objetivo de conocimiento**

CFR, CID No existen sistemas integrados mediante analítica de datos que permitan identificar, de forma personalizada, estresores de manera automática hacia una mejor calidad de vida. En general, es necesario efectuar investigación fundamental que permita vincular eventos psicológicos internos con factores externos de corto, mediano y largo plazo.

## **Métrica de impacto**

Cantidad de eventos de respuesta a estresores por día en las personas.

## **Mercado potencial estimado**

El mercado de bienestar global, que incluye reducción de estrés crónico, se estima en \$3.4 millones de millones para 2015.

## **Población objetivo**

Personas en general, con énfasis en población económicamente activa con ritmo de vida intenso.

## **Brecha de realización plena**

Es necesario recabar datos confiables acerca de comportamientos y condiciones estresoras para el diseño de técnicas y terapias tecnológicamente asistidas. Las terapias actuales, con frecuencia, se enfocan en la atención de síntomas, y no en erradicación de las causas.

## **Brecha de adopción**

La tecnología debe ser no invasiva en las actividades cotidianas, sino facilitar el flujo de actividades y la identificación de factores de estrés crónico.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

- Spire. Neema Moraveji, Jonathan Palley. <https://spire.io>
- OM signal. Frederic Chanay. <https://www.omsignal.com>
- Avanoo. Prosper Nwankpa. <http://www.avanoo.com>

## Integración de biomediciones hacia un expediente médico centrado en el paciente

# 4.7

La capacidad de contar con un expediente médico centrado en el paciente se ha reportado como uno de los factores de mejora en la atención en salud [Davis et al., 2005]. Dentro de los aspectos que es necesario integrar se encuentra el conjunto de aplicaciones de biomedición, que captura parámetros esenciales hacia una visión del biocudadano participativo [Swan, 2012].

A continuación, se listan los factores de control para este reto:

Frecuencia de producción de datos biométricos.

Políticas de privacidad de datos.

Grado de pertenencia de los datos del paciente.

Grado de facilidad de compartir datos deliberadamente con agentes del sector salud.

## **Análisis factual de impacto**

La integración de datos biométricos y de la biopersona cuantificada es esencial para mejorar la atención médica y dirigirla de forma específica al fenotipo particular de cada paciente. En particular, garantizar privacidad y pertenencia de los datos del paciente permite mantener tasas de aseguramiento razonables sin discriminación. Finalmente, la mejor atención de salud mediante objetivos personalizados de tratamiento se traduce en la reducción del gasto público en salud.

## **Análisis contrafactual de impacto**

La no adopción de estos mecanismos puede producir, al largo plazo, la inadecuada atención de pacientes y el subsecuente aumento en el costo de salud por recurrencia bajo los mismos problemas.

## **Objetivo transformacional**

REK, LEM, PED Es necesario producir de manera masiva dispositivos de biomedición con bajo costo, baja potencia de operación e incorporación de biosensores avanzados, de tal manera que garanticen la privacidad de los datos y se integren en el expediente médico personal para ser analizados por especialistas médicos.

## **Objetivo de conocimiento**

CID, CPE Las tecnologías actuales de biomedición permiten integrar los datos en plataformas experimentales, pero este tipo de esfuerzos solo se han materializado en sistemas limitados. Adicionalmente, es necesario crear la práctica y experiencia respectiva para asegurar su funcionamiento.

## **Métrica de impacto**

Proporción de datos cuantificados que se integran a un expediente electrónico propio del paciente.

## **Mercado potencial estimado**

Pacientes en el sistema de salud, practicantes y especialistas médicos de distintas disciplinas.

## **Población objetivo**

Personas con tratamientos permanentes, en particular adultos mayores.

## **Brecha de realización plena**

La principal brecha de realización es la integración de datos de forma transparente desde la entrega de medicamentos hasta su uso por el paciente. No obstante, esta frontera se reconoce como una de las más accesibles en su solución.

## **Brecha de adopción**

La adopción de estos mecanismos depende de un adecuado diseño de la interacción humano máquina.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

- AdhereTech. Michael Morena. <https://www.adheretech.com>.
- Catalia Health. Cory Kidd, Kristopher Dos Santos. <http://www.cataliahealth.com>.
- Wellth. Matthew Loper, Alec Zopf. <http://wellthapp.com>.

## Métodos y tecnologías para la detección efectiva de agentes alergénicos

# 4.8

Las reacciones adversas a agentes alergénicos se han convertido en un área importante de investigación y desarrollo que relacionan a las personas con su ambiente [von Mutius, 2004]. La naturaleza de las reacciones varía de leve a mortal entre quienes las padecen, y por ende se vuelve indispensable contar con mecanismos eficientes capaces de detectar alérgenos.

Los factores de control se describen a continuación:

Concentraciones de sustancias consideradas como alergenas.

Tipos de sustancia consideradas como alergenas.

Información disponible para las personas en referencia a alérgenos.

Condiciones ambientales generales.

## **Análisis factual de impacto**

La adecuada atención de alérgenos aumenta el bienestar individual, reduce episodios severos inhabilitantes y puede evitar la muerte en casos extremos. Con respecto a sus consecuencias sociales, permite la detección de fuentes colectivas de alérgenos y la creación de espacios habitables más seguros. El efecto económico es particularmente significativo para los casos más graves en materia de costos para los sistemas de salud.

## **Análisis contrafactual de impacto**

La incapacidad de detectar alérgenos puede conllevar, a nivel personal, desde efectos desgastantes hasta la muerte.

## **Objetivo transformacional**

REK, PED La detección de agentes alérgenos requiere del desarrollo de biosensores especializados capaces de replicar parte de los mecanismos en los sentidos afectados en las personas. Adicionalmente, el desarrollo de estos dispositivos debe acompañarse de mecanismos de análisis de datos estadísticos de alta sensibilidad y muestras pequeñas.

## **Objetivo de conocimiento**

CFR, CID La detección de agentes alérgenos presenta retos en investigación fundamentales con respecto a la biología humana y a la creación de biodispositivos. Posteriormente, es necesario determinar los requerimientos de fabricación del equipo así como del análisis de datos necesario.

## **Métrica de impacto**

Proporción de personas con alergias que reducen satisfactoriamente la cantidad de incidentes alérgicos en el día.

## **Mercado potencial estimado**

Debido a que el mercado de diagnóstico a alergias se estima que alcance los \$5.34 mil millones en 2018, es esperable que un mercado similar ocurra para la detección de los alérgenos respectivos.



## **Población objetivo**

Personas susceptibles a alérgenos.

## **Brecha de realización plena**

La brecha principal para desarrollo de estas tecnologías reside en la identificación de receptores apropiados para los biosensores y en la identificación adecuada de los métodos estadísticos no paramétricos.

## **Brecha de adopción**

La adopción de esta tecnología requiere de una alta sensibilidad a alérgenos en concentraciones menores o iguales a aquellas necesarias para la materialización de efectos negativos.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

- Nima. Shireen Taleghani, Scott Sundvor. <https://nimasensor.com>
- ClearForMe. Sabrina Noorani. <http://www.clearforme.com>
- Awair. Ronald Ro, Kevin Cho. <https://getawair.com>

## Tecnologías para el incremento de la adherencia de pacientes a sus medicamentos y tratamientos

# 4.9

La adherencia de los pacientes a sus medicamentos es uno de los factores clave durante el tratamiento y la recuperación ante distintos padecimientos [Ahmed and Aslani, 2014]. Aun cuando las causas de la no adherencia son materia activa de investigación, existe suficiente evidencia para sugerir medidas cuya efectividad ha sido probada en distintos contextos [Kardas et al., 2013].

A continuación, se indican los factores de control para este reto:

Factores socioeconómicos personales y familiares.

Comportamientos y tendencias.

Condiciones de salud mental.

Forma de entrega del medicamento.

Periodicidad y dosificación.

Concurrencia entre medicamentos.

## **Análisis factual de impacto**

Garantizar adherencia a medicamentos permitiría aumentar la eficacia y eficiencia del tratamiento. Adicionalmente, el costo de adquisición, almacenamiento y desecho de medicamentos no utilizados es alto [Faria, 2014].

## **Análisis contrafactual de impacto**

La no adherencia a medicamentos conduce a deterioro de la condición de salud, a la saturación de servicios médicos y a agravamiento de condiciones críticas con impacto sistémico en la salud pública. En el caso particular de antibióticos, la no adherencia estricta conlleva al desarrollo de resistencia antimicrobiana.

### **Objetivo transformacional**

REK Es necesario contar con información certera acerca del paciente y su contexto que permitan construir estrategias para garantizar adherencia a medicamentos.

### **Objetivo de conocimiento**

CID, CPE Los resultados existentes en investigación requieren ser llevados a la práctica mediante dispositivos con capacidades digitales cuyo diseño sea amigable, conciso y efectivo en el proceso de mantener la adherencia a medicamentos. Adicionalmente, estos sistemas deben permitir colectivamente la retroalimentación anonimizada de resultados de aplicación mediante estadísticas agregadas.

### **Métrica de impacto**

Tasa de adherencia a tipos y dosis de medicamentos.

### **Mercado potencial estimado**

En el 2013, se estimó un mercado global de \$26 mil millones.

### **Población objetivo**

Personas con tratamientos permanentes, en particular adultos mayores.

## **Población objetivo**

Personas con tratamientos permanentes, en particular adultos mayores

## **Brecha de realización plena**

La principal brecha de realización es la integración de datos de forma transparente desde la entrega de medicamentos hasta su uso por el paciente. No obstante, esta frontera se reconoce como una de las más accesibles en su solución.

## **Brecha de adopción**

La adopción de estos mecanismos depende de un adecuado diseño de la interacción humano máquina.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

- AdhereTech. Michael Morena. <https://www.adheretech.com>.
- Catalia Health. Cory Kidd, Kristopher Dos Santos. <http://www.cataliahealth.com>.
- Wellth. Matthew Loper, Alec Zopf. <http://wellthapp.com>.

## Desarrollo de tecnologías de diagnóstico clínico portátiles con bajo costo

# 4.10

La capacidad de efectuar diagnósticos precisos in situ es un hito médico con la capacidad de transformar desde los modelos de atención en salud hasta la expectativa de vida [Ventola, 2014]. La atención móvil requiere de la interacción e integración de distintas tecnologías hacia el desarrollo de sistemas funcionales, con alta replicabilidad y confianza en sus resultados [Steinhubl et al., 2015].

Los siguientes son los factores de control relacionados a este reto:

Mecanismos biofísicos involucrados en el diagnóstico.

Mecanismos bioquímicos involucrados en el diagnóstico.

Mecanismos celulares involucrados en el diagnóstico.

Mecanismos fisiológicos involucrados en el diagnóstico.

Factor de forma de biosensores.

Materiales para biosensores.

## Análisis factual de impacto

El desarrollo de mecanismos de diagnóstico portátiles permite reducir el tiempo de atención crítica en pacientes graves, reduce la necesidad de técnicos especialistas en condiciones restringidas, otorga mayor autonomía al paciente y reduce el riesgo de complicaciones futuras. A nivel económico, reduce el costo socializado que se asocia a la gravedad de las enfermedades a futuro.

## Análisis contrafactual de impacto

La incapacidad de contar con dispositivos de diagnóstico portátiles puede impactar negativamente la calidad de vida severamente en sociedades con sobre-población adulta mayor, debido a la incapacidad de atender la demanda de pacientes. Una consecuencia común es la contaminación de muestras o pacientes por métodos tradicionales de diagnóstico.

## Objetivo transformacional

REK, PED Es indispensable construir dispositivos capaces de utilizar principios bio-nanotecnológicos en el desarrollo de sensores de tal forma que su costo y capacidad de operación en campo sea maximizada. Adicionalmente, los resultados de sus análisis deben ser comparativamente iguales o mejores ( $p < 0.001$ ) a pruebas ya estandarizadas.

## Objetivo de conocimiento

CID Este reto requiere la creación de infraestructura de diagnóstico mediante la aplicación de principios conocidos en una actividad que ocurre regularmente en los sistemas de salud público y privado.

## Métrica de impacto

Razón entre el tiempo y el costo de diagnóstico por paciente.

## Mercado potencial estimado

Se estima para el 2022 un mercado potencial de \$81.3 mil millones en diagnósticos in vitro<sup>10</sup> y un mercado de diagnósticos en sitio de atención de \$37 mil millones<sup>11</sup> para 2021.

## Población objetivo

Personal médico técnico, general o especialista en sectores públicos y privados.

## Brecha de realización plena

Los sistemas existentes no son de propósito general, o son limitados aún dentro de un tipo de pruebas diagnósticas. Para aquellos dispositivos funcionales, su tamaño, conveniencia o costo son altos.

## Brecha de adopción

Los dispositivos resultantes, para superar la brecha de adopción, deben ser precisos, de bajo costo, fácilmente transportables y con capacidad de conectarse en línea con servicios de datos médicos del paciente.

## Firmas comerciales arquetípicas

- Neural Analytics. Leo Petrossian. <http://www.neuralanalytics.com>
- Phthisis Diagnostics. Crystal R Icenhour, PhD. <http://phthisisdiagnostics.com>
- Accel Diagnostics. Dave Jasnos. <http://www.acceldx.com>

# Identificación de Fronteras

## 5. Agroalimentarias

La Organización de Alimentos y Agricultura de las Naciones Unidas en su Agenda 2030 para Desarrollo Sostenible identifica tres grandes grupos de transformaciones en los modelos productivos: preservar y potenciar los factores de los que depende la producción, desarrollar tecnologías y prácticas de fácil adopción para productores de distintas escalas y construir mercados extendidos que se beneficien de una mayor intensidad de conocimiento en la explotación de la materia prima con mayor equidad y trazabilidad sanitaria [Assembly, 2015]. Mejores márgenes productivos necesitan acompañarse de nuevas tecnologías que especialmente pequeños y medianos productores puedan utilizar fácilmente para incrementar el valor agregado de su labor. Sea en agricultura, ganadería, pesca o acuicultura, Costa Rica es un lugar ideal para desarrollar la siguiente generación de emprendimientos basados en ciencia y tecnología que transformen internacionalmente las prácticas productivas del sector de alimentos. Esto es aún más urgente ante el avance del cambio climático en el contexto de la extensa biodiversidad nacional.

La capacidad de medir, potenciar y recuperar la fertilidad de suelos y espacios productivos, el uso de tecnología digital para aportar exactitud y economía en el ciclo productivo, la prospección de nuevas especies y moléculas para nuevos productos y una amplia variedad de nuevos materiales nanoestructurados para nuevas formas de empaquetado biodegradable corresponden a algunas de las fronteras clave para la alimentación mundial.



# Detección automática de factores ecológicos del suelo que intervienen en la fertilidad

## 5.1

La ecología bacteriana del suelo es un factor determinante en la fertilidad, productividad y economía agrícolas [Wardle et al., 2004] gracias a sus actividades de descomposición de materia orgánica [Anderson, 2003]. Los mecanismos de interacción entre la microbiota y los componentes inorgánicos son desconocidos, pero su comprensión es crítica para la supresión de enfermedades en plantas [Garveta et al., 2004], la obtención de firmas metabólicas de plantas [Kristin and Miranda, 2013] y el control de las interacciones huésped-microorganismo para maximizar el retorno de la inversión [Pieterse et al., 2016].

Los factores de control para este reto se indican a continuación:

Abundancia relativa de especies químicas inorgánicas no traza.

Abundancia relativa de especies químicas de elementos traza.

Tipos y especies de microorganismos.

Tipos de relaciones tróficas en el suelo.

Historia de uso del suelo.

## **Análisis factual de impacto**

La adecuada identificación de factores de fertilidad del suelo es esencial para resolver los retos alimenticios del planeta en este siglo. Con los efectos de cambio climático, monitorear la fertilidad del suelo es central en planificación agrícola. La existencia de mecanismos de este tipo permitiría valorar rápidamente los suelos y asignarles cultivos ideales para su condición, o en su defecto, determinar su usabilidad posterior a intervenciones específicas.

## **Análisis contrafactual de impacto**

El no contar con técnicas especializadas que se enfocan en las interacciones de la microbiota es una de las causas más importantes del agotamiento de los suelos, especialmente cuando las áreas de cultivo son reducidas por factores regulatorios o materiales.

## **Objetivo transformacional**

REK,PED No existen técnicas o dispositivos de análisis molecular que permitan conocer in situ el conjunto de factores abióticos e interacciones bióticas inmediatas, que determinan la fertilidad del suelo con especificidad hacia cultivos o intervenciones.

## **Objetivo de conocimiento**

CFR, CID Es necesario encontrar y caracterizar de forma completa las interacciones de la microbiota a partir de los indicadores indirectos presentes en el suelo, principalmente metabolitos primarios y secundarios. Una vez que esta información esté disponible, debe ser estadísticamente confiable para la toma de decisiones.

## **Métrica de impacto**

Rendimiento productivo del suelo posterior a la medición de fertilidad y adecuación de los cultivos.

## **Mercado potencial estimado**

El mercado de análisis de muestras para determinación de fertilidad del suelo para agricultura se estima en \$5.64 mil millones para 2020.

## **Población objetivo**

Productores agrícolas, productores agroindustriales, personas en ingeniería agrícola, firmas consultoras.

## Brecha de realización plena

Para desarrollar esta tecnología, es necesario integrar el conocimiento existente alrededor de comunicación metabólica de microorganismos. Los productos actuales similares no alcanzan el nivel de sofisticación de este desarrollo, y solamente miden indicadores indirectos.

## Brecha de adopción

Las técnicas y tecnologías, para ser adoptadas de forma extensa, deben ser eficientes en tiempo y costo, así como portátiles. Aún cuando se equipan especialistas, el factor costo determina la granularidad de adopción por consultores independientes.

## Firmas comerciales arquetípicas

- Acuity Agriculture. Jon Zhang, Steven Dodge. <http://www.acuityagriculture.com>
- Solum. Brad Roetman. <http://solum.ag>
- Radiant Genomics. Jeff Kim, Oliver Liu. <http://radiantgenomics.com>

## Intervenciones ecológicas de suelos para recuperar su fertilidad

# 5.2

La recuperación de la fertilidad de suelos es una tarea compleja que depende, en buena medida, del conocimiento de las interacciones entre la microbiota y los componentes inorgánicos. La biorremediación como mecanismo de recuperación de fertilidad es una estrategia conocida, que puede ser redirigida y aprovechada hacia transformaciones del ciclo productivo y prevención del agotamiento del suelo [Bhardwaj et al., 2014]. En particular, diferentes estrategias tales como ingeniería genética, diversificación productiva y bioprospección pueden ser utilizadas para modificar de manera completa el ecosistema productivo [Altieri, 1999].

A continuación, se presentan los factores de control para este reto:

Abundancia relativa de especies químicas inorgánicas no traza.

Abundancia relativa de especies químicas de elementos traza.

Tipos y especies de microorganismos.

Tipos de relaciones tróficas en el suelo.

Historia de uso del suelo.

## **Análisis factual de impacto**

El uso de intervenciones ecológicamente consistentes puede reducir la fragilidad ambiental de los suelos, ayudar a la conservación de ecosistemas no productivos mediante una integración transparente en las fronteras [Hobbs, 2006] y mejorar sustancialmente la productividad del suelo.

## **Análisis contrafactual de impacto**

El no efectuar intervenciones ecológicamente sostenibles de fertilidad del suelo, desde la planificación de cultivos hasta la biorremediación, puede llevar a agotamiento del suelo y pérdida de biodiversidad en los nichos ecológicos adyacentes a cultivos.

## **Objetivo transformacional**

REK, PED Es necesario impactar en las relaciones ecológicas del suelo y su entorno para garantizar el no agotamiento del suelo, sino más bien potenciar su ciclicidad productiva. Esto requiere de técnicas amplias de análisis de datos históricos, medición de variables ambientales del suelo y metagenómica de entornos circundantes. A partir de tales factores, puede crearse una estrategia de intervención desde lo molecular hasta el tipo de cultivo.

## **Objetivo de conocimiento**

CID, CPE Se requiere desarrollar distintos tipos de tecnologías biológicas, de información y nanotecnológicas que asistan en el proceso de intervención ecosistémica sostenible. Adicionalmente, es indispensable crear mecanismos de aprendizaje digitales y registro de información hacia la constitución de unidades productivas especializadas para la exportación de talento.

## **Métrica de impacto**

Rendimiento productivo del suelo posterior a la intervención ecológica.

## **Mercado potencial estimado**

El mercado de remediación de la fertilidad del suelo para agricultura se estima en \$39.5 mil millones para 2021.

## **Población objetivo**

Productores agrícolas, productores agroindustriales, personas en ingeniería agrícola, firmas consultoras.

## **Brecha de realización plena**

En la actualidad, el no contar con evaluaciones ecológicas integrales es el principal diferenciador con otros enfoques existentes.

## **Brecha de adopción**

Las intervenciones deben ser de un costo suficientemente bajo para permitir diversificación productiva en pequeños y medianos productores, y al mismo tiempo crear un conjunto de personas expertas nacionales que puedan constituir sus propias unidades de negocios.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

- Terreplish. Cathy Scratch. <http://terreplish.com>
- Sustansiya. Shane Kiernan. <http://www.sustansiya.com>
- eco.AHCIL. Joris Claeys. <http://www.ahcil-antica.com>

## Estrategias para la prospección ecológica de especies explotables con alto valor agregado

# 5.3

La prospección ecológica de genes, especies y nichos es esencial para mantener un balance entre la producción y la biodiversidad, de tal manera que se maximice la libertad de acción a futuro en el sector productivo agrícola. Ya sean en microorganismos [Müller et al., 2016], plantas [Joshi and Lopez, 2005] o especies animales [Alves and Albuquerque, 20013], la agroindustria puede transformarse en una actividad de alto valor agregado que se integra a procesos ya existentes o nuevos. En ese sentido, y dada la riqueza en términos de la biodiversidad costarricense, existe una oportunidad abierta en el aprovechamiento de los procesos de bioprospección.

Los factores de control se indican a continuación:

Diversidad genética y genómica asociada a un entorno productivo.

Ciclo de producción vegetal o animal.

Condiciones ambientales favorables.

Condiciones ambientales desfavorables que pueden ser mitigadas.

## **Análisis factual de impacto**

El contar con estrategias de prospección ecológica para la agroindustria permite diversificar la producción, reducir el agotamiento de suelos, identificar productos derivados de alto valor y reducir desechos agroindustriales.

## **Análisis contrafactual de impacto**

El no contar con este tipo de estrategias reduce la viabilidad económica de la agroindustria al limitar el valor de su producción, así como aumentar sus riesgos a mediano y largo plazo debido a agotamiento genético y de suelos.

## **Objetivo transformacional**

REK, LEM Es necesario identificar genes, especies y poblaciones que puedan ser integradas con bajo costo energético en el ciclo productivo de tal forma que sean compatibles ecológicamente con el contexto biológico y maximicen la libertad de acción futura en la producción mediante una mayor cantidad de productos derivados de alto valor en mercados internacionales.

## **Objetivo de conocimiento**

CID, CPE Para atacar este reto es necesario desarrollar infraestructura de medición de siguiente generación, capaz de automatizar tareas como el DNA barcoding [Shokralla, 2014] y posteriormente predecir y caracterizar aplicaciones potenciales de diferentes entidades biológicas a través de aprendizaje de largo plazo [Marcus, 2013].

## **Métrica de impacto**

Cantidad de productos de alto valor por unidad productiva en agroindustria.

## **Mercado potencial estimado**

El mercado de biotecnología agrícola se estima en \$15.3 mil millones para 2021.



## **Población objetivo**

Productores agrícolas, productores agroindustriales, personas en ingeniería agrícola, firmas consultoras, ecólogos.

## **Brecha de realización plena**

Las tecnologías de intervención actuales carecen de una visión productiva integrada, o de una visión ecológica integrada guiada por datos.

## **Brecha de adopción**

La adopción de estrategias y tecnologías debe permitir integración al ciclo productivo con efectos potenciadores, proveyendo rápidamente información acerca de oportunidades y posibles genes y especies que pueden solventar carencias actuales o potenciar el aprovechamiento de oportunidades.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

- Isabel. Ruben Santa, Eric Hager. <http://www.isabel.io>.
- Farmeron. Matija Kopic. <https://www.farmeron.com>.
- MicroSynbiotix. Antonio Lamb, Simon Jegan Porphy. <https://www.microsynbiotix.com>.

## Control automático aplicado a buenas prácticas productivas

# 5.4

Las buenas prácticas productivas son aquellas que maximizan el retorno de la inversión, la capacidad de los sistemas de producir en forma continua (sea en sectores agrarios, pecuarios, acuícolas y otros) y de preservar propiedades ecológicas consistentes con su entorno [Tilman et al., 2002]. El advenimiento del Internet de las Cosas (IoT) permite contar con herramientas para, en línea con la teoría de control, preservar estados deseables en la agroindustria bajo la definición anterior de buenas prácticas.

A continuación, se describen los factores de control para este reto.

Valores de variables ambientales.

Niveles de disponibilidad de nutrientes.

Respuesta de estrés en organismos vegetales y animales.

## **Análisis factual de impacto**

Los requerimientos alimenticios crecen proporcionalmente con el crecimiento de la población, y contar con sistemas de control automático permite incrementar no solamente la cantidad sino la calidad, inocuidad y optimizar el uso de recursos para la producción, especialmente agua.

## **Análisis contrafactual de impacto**

La incapacidad de contar con sistemas de control automático para producción agroindustrial evita que, ante escalamiento productivo, los costos y el uso de recursos conlleven a precios de mercado aceptables o a calidad idónea.

## **Objetivo transformacional**

REK, LEM, PED Es necesario desarrollar infraestructura de información, procesos de fabricación escalable de dispositivos y nuevos materiales con capacidad de reaccionar naturalmente a las necesidades de especies vegetales y animales, así como integrar información de manera biofísica y bioquímica en los dispositivos.

## **Objetivo de conocimiento**

CID, CPE Existe una amplia gama de desarrollos en diferentes áreas de ciencia y tecnología que requieren de integración, práctica y experiencia. La intersección de tecnologías convergentes bio, nano, info y cogno puede permitir cambios radicales en la tecnología agrícola que aún no se han experimentado.

## **Métrica de impacto**

Productividad por unidad de área destinada a la agroindustria.

## **Mercado potencial estimado**

El valor mercado de agricultura inteligente para 2022 se estima en \$18.45 mil millones.

## **Población objetivo**

Productores agroindustriales, firmas consultoras en agroindustria.

## Brecha de realización plena

En la actualidad, la brecha de realización corresponde a la integración de tecnologías y su habilidad de ingresar de manera temprana a mercados internacionales. No obstante, este es un reto de fácil acceso considerando el desarrollo del sector agro nacional.

## Brecha de adopción

La adopción de tecnologías en este reto esta condicionada a bajos costos por unidad instalada, garantía de repetibilidad e inocuidad.

## Firmas comerciales arquetípicas

- Flux IoT. Karin Kloosterman. <http://www.fluxiot.com>
- Semios. Michael Gilbert. <http://semios.com>
- Local Roots Farms. Daniel Kuenzi. <http://www.localrootsfarms.com>

## Intervenciones metagenómicas de ecosistemas para preservar la variedad en especies productivas

# 5.5

La identificación de nuevos genes y ARN de regulación es clave para la caracterización del comportamiento de distintas especies vegetales, especialmente en su relación entre el suelo y otras plantas [Frank, 2011], así como en la producción animal para leche, carne u otros derivados [Satanarayana et al., 2012]. La identificación de genes simbióticos para su posterior utilización como fuentes de genes deseables permite dirigir con una visión ecosistémica cualquier proceso de ingeniería genética de las especies, mientras que preserva la variabilidad los individuos en el ecosistema completo (bacterias, hongos, plantas o animales).

Los siguientes son los factores de control para este reto:

Diversidad genética y genómica asociada a un entorno productivo.

Ciclo de producción vegetal o animal.

Composición de la microbiota.

Condiciones ambientales favorables.

Condiciones ambientales desfavorables que pueden ser mitigadas mediante nuevas moléculas, genes o proteínas.

## **Análisis factual de impacto**

La capacidad de preservar la diversidad genética y genómica en ecosistemas productivos reduce los riesgos financieros debidos a infertilidad del suelo y pérdida de interacciones simbióticas. Esto contribuye además a buscar soluciones sostenibles a la producción y a que las intervenciones de ingeniería genética deban ser contrastadas con el resto de organismos y relaciones. En esencia, esta es la ingeniería genética en múltiples organismos hacia la sostenibilidad.

## **Análisis contrafactual de impacto**

No contar con este tipo de capacidades produce una reducción sustancial en la proporción de suelos fértiles con múltiples propósitos productivos, lo que lleva a un incremento en el costo de los productos alimenticios.

## **Objetivo transformacional**

REK Es necesario construir las redes ecosistémicas que describan organismos, genomas, genes y moléculas en su interacción dentro del entorno productivo.

## **Objetivo de conocimiento**

CID Es indispensable crear tecnologías de procesamiento de información y predicción de datos que, a partir de toma de muestras, permita identificar las intervenciones ecológicas y de ingeniería genética necesarias para preservar la diversidad genética de los organismos y al mismo tiempo la productividad del sistema.

## **Métrica de impacto**

Variación absoluta en la cantidad de entidades biológicas entre ciclos productivos.

## **Mercado potencial estimado**

Solamente para el contexto microbiológico de la agricultura, se estima un mercado de aplicaciones de metagenómica de \$5.07 mil millones para 2021.

## **Población objetivo**

Productores agroindustriales, firmas consultoras en agroindustria.

## **Brecha de realización plena**

La realización plena de este reto implica la habilidad de vincular datos de metagenómica con modelos ecológicos y mediciones de campo para crear predicciones exitosas.

## **Brecha de adopción**

La adopción tecnológica está determinada, en este caso particular, por la escalabilidad del costo de la tecnología proporcional al área productiva.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

- Synthomics. Dave Bullis. <http://www.synthomics.com>
- BovControl. Danilo Leao. <https://www.bovcontrol.com/en>
- TL Biolabs. Fred Turner. <http://tlbiolabs.com>

## Transformación del mercado agrícola mediante relocalización de la venta de productos y reducción de la intermediación

# 5.6

El precio de los productos agrícolas se distribuye debido a asimetrías de información en los mercados donde el conocimiento de los productores acerca del valor monetario de sus bienes es incompleto; lo anterior conlleva a condiciones de pobreza y desigualdad en la distribución de la riqueza [Jesen, 2010]. Esta asimetría es aprovechada por otros entes económicos, intermediadores, que utilizan economías de escala para reducir el valor de los productos adquiridos a pequeños y medianos productores y venderlos a precios más altos en mercados de alto volumen, usualmente a mayores distancias, especialmente en países en desarrollo [Binswanger and Rosenzweig, 1986]. Esto impacta la calidad del producto, su disponibilidad y la seguridad del mercado alimenticio [Jensen, 2010]. Es necesario romper con las asimetrías de información y generar herramientas que identifiquen productos preferiblemente locales para garantizar mayor calidad en los bienes de consumo y mejor negociación de precios para pequeños y medianos productores, reforzando la acción de políticas actuales o futuras [Poulton et al., 2010].

Los siguientes son los factores de control para este reto [Klerkx and Leeuwis, 2008]:

Distribución geográfica de la producción.

Volumen de producción por productor.

Tipos de producto por productor.

Acceso a vías de distribución.

Acceso y comprensibilidad de la información referente a precios de mercado.

Nivel de intermediación existente por producto.



## **Análisis factual de impacto**

La capacidad de contar con mercados de aprovisionamiento local de productos permite impactar positivamente mediante la disminución en la asimetría de negociación con intermediarios o grandes compradores. En particular, el efecto más relevante es el incremento en el ingreso per cápita de pequeños y medianos productores directos.

## **Análisis contrafactual de impacto**

El no contar con mecanismos para disminuir la brecha financiera en la producción agrícola amenaza directamente la diversidad genética, la seguridad alimentaria y la apropiada distribución de la riqueza en las regiones productivas rurales.

## **Objetivo transformacional**

REK Es necesario proveer una red de información capaz de integrar los mercados locales a un bajo costo y una alta facilidad de uso para pequeños y medianos productores.

## **Objetivo de conocimiento**

CID, CPE Se requiere construir la arquitectura de información que provea información en tiempo real a productores con un énfasis en mercados locales, que incluya herramientas para analizar la relación de costo-beneficio de transportar productos a mercados de mayor tamaño y que además implemente hábitos deseables para maximizar el retorno de su inversión productiva.

## **Métrica de impacto**

Diferencia entre el precio de venta del productor contrastado contra el precio de venta de mercado por unidad de medida.

## **Mercado potencial estimado**

Se estima en 2014 un mercado de \$137 mil millones para el mercado de venta de alimentos.

## **Población objetivo**

Pequeños y medianos productores agroindustriales, personas dueñas de comercios locales, instituciones promotoras de la producción.

## Brecha de realización plena

Para alcanzar un nivel efectivo, la resolución de este reto debe reducir la asimetría de información entre productores y comerciantes, así como contar con mecanismos que utilicen la localización geográfica y factores de oferta-demanda para determinar viabilidad de venta.

## Brecha de adopción

La adopción de tecnologías para resolver este reto está mediada por bajo costo y alta usabilidad.

## Firmas comerciales arquetípicas

- Food Orbit. James Nathan. <http://www.foodorbit.com>
- Wholeshare. Matt Hatoun. <https://directeats.com/wholeshare>
- Local Bushel. Yusha Hu. <http://www.localbushel.com>

## Implementación de tecnologías de empaquetado biodegradable, de bajo costo y con alta preservación durante el ciclo de producto

# 5.7

La cantidad de desechos sólidos relacionados con empaquetado y transporte de productos en la industria alimenticia es un factor determinante en la contaminación ambiental y duración de producto [Arvanitoyannis, 1999]. Adicionalmente, el contar con materiales y procesos que extiendan la vida del producto y puedan ser producidos a muy bajos costos (idealmente basados en la reutilización de desechos agroindustriales [Siracusa et al., 2008; Valdés et al., 2014] permite incrementar el valor de mercado de bienes perecederos, así como mejorar la salud pública [Jin and Zhang, 2008]. Existen alternativas tecnológicas que apuntan a mejores formas de empaquetado desde las anteriores perspectivas [Scott and Chen, 2013].

A continuación, se listan los factores de control de este reto:

Tipo de producto alimenticio.

Tiempo de vida promedio estimado en condiciones ambientales.

Tiempo de vida promedio estimado en condiciones para preservación.

Contexto microbiológico.

Condiciones ambientales durante pasos en la cadena de transporte y las fases de trazabilidad.

## **Análisis factual de impacto**

La capacidad de contar con empaquetados biodegradables, de bajo costo de producción y de alto rendimiento permite preservar el ciclo de vida de producto más allá de las tecnologías actuales a un menor costo energético para transporte y distribución.

## **Análisis contrafactual de impacto**

La ausencia de tecnologías apropiadas y efectivas en costo es uno de los factores que contribuye a la producción de desechos sólidos no recuperables y a incidentes de ruptura de la cadena de higiene alimenticia.

## **Objetivo transformacional**

LEM, PED Es necesario utilizar materiales de siguiente generación, de bajo costo energético de manufactura y recuperación, que al empotrarse en el diseño de empaquetado para alimentos capturen variables esenciales durante la trazabilidad alimenticia.

## **Objetivo de conocimiento**

CID Se requiere crear la tecnología de biomateriales inteligentes para empaquetado en distintas condiciones, la maquinaria de empaquetado y los métodos y mecanismos de bioprocesamiento de residuos en fases distintas del proceso de emprendimiento.

## **Métrica de impacto**

Razón entre el tiempo de vida (incluye inocuidad) y la cantidad de desechos sólidos no reutilizables o reintegrables a ecosistemas generados por unidad de producto.

## **Mercado potencial estimado**

Se estima un valor para el mercado global de alimentos para 2020 de \$3.03 millones de millones<sup>18</sup>.

## **Población objetivo**

Productores agroindustriales, empresas de diseño de empaquetado y envasado de alimentos, empresas de transporte de alimentos.

## **Brecha de realización plena**

La principal brecha de realización actual corresponde a encontrar los mecanismos de biorrefinería que permitan escalabilidad de las soluciones.

## **Brecha de adopción**

La adopción de este tipo de tecnologías depende de la versatilidad de los materiales de empaquetado para distintos productos, así como de un bajo costo unitario.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

- Saphium Biotechnology. Christof Winkler-Hermaden. <http://www.saphium.eu>
- Grow Plastics. Michael Waggoner. <http://www.growplastics.com>
- Do Eat. Hélène Hoyois. <http://www.doeat.com/en>

## Identificación de metabolitos primarios y secundarios de alto valor hacia diversificación productiva

# 5.8

La explotación de productos agroindustriales generalmente se efectúa a nivel primario, en donde el valor de lo producido debe generarse por volumen. Sin embargo, los metabolitos primarios y secundarios (moléculas utilizadas para señalización química en los organismos) [van Dam et al., 2005] han mostrado tener un amplio rango de aplicaciones desde alimentos funcionales [Dillard and German, 2000], productos de belleza [Cuellar 2015 extraction], fármacos [Balandrin et al., 1985] y pesticidas [Regnault-Roger et al., 2012] entre otros. Estos compuestos tienen un valor muchas veces más alto que los productos originales [Oksman-Caldentey and Inzé, 2004], y con frecuencia pueden extraerse sin consecuencias negativas para la calidad de otros productos finales [Bergeron et al., 2012].

A continuación, se describen los factores de control para este reto:

Variedad metagenómica del entorno.

Condiciones de expresión de genes que sintetizan metabolitos.

Condiciones ambientales para biosíntesis efectiva de metabolitos.

Concentración producida por unidad biológica relevante.

## **Análisis factual de impacto**

La capacidad de identificar metabolitos primarios y secundarios permite adicionar a la producción usual el concepto de biorrefinería, de tal forma que se revaloriza la producción en varios órdenes de magnitud. Adicionalmente, reduce los desechos agroindustriales mediante repropósito o reducción de su volumen. Este espacio es particularmente importante en alimentos funcionales y nutraceuticos.

## **Análisis contrafactual de impacto**

El no explotar la riqueza metabólica de la producción tiene como efecto no incrementar el valor de la producción nacional en mercados extranjeros.

### **Objetivo transformacional**

REK, LEM Es necesario identificar, caracterizar y escalar la producción de aquellos metabolitos primarios y secundarios con valor potencial de mercado.

### **Objetivo de conocimiento**

CFR, CID Se requiere determinar la presencia de metabolitos existentes o novedosos en diferentes organismos dentro de la agroindustria de tal forma que pueda evaluarse su potencial y procesos de biorrefinería puedan ser establecidos. Se requiere además desarrollar las tecnologías de extracción y posibles productos piloto.

### **Métrica de impacto**

Razón entre el valor de mercado de materia prima no procesada y el valor de los metabolitos extraíbles posterior a biorrefinería por unidad de medida.

### **Mercado potencial estimado**

Se estima para 2019 un mercado en metabolómica para diferentes áreas de \$2.1 mil millones<sup>19</sup>. De igual forma, para 2020 se espera un mercado de ingredientes para alimentos funcionales de \$2.5 mil millones.

## **Población objetivo**

Productores agroindustriales de mediana y gran escala. Firmas consultoras agroindustriales. Firmas industriales de bioprocesamiento. Centros de transferencia tecnológica en producción agrícola.

## **Brecha de realización plena**

Es indispensable disminuir el costo de la detección de metabolitos y la capacidad de escalar la producción.

## **Brecha de adopción**

La adopción de soluciones en el espacio definido por este reto particular depende del tiempo de evaluar el potencial de los metabolitos y determinar su valor de mercado.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

- Raw World. Rubby Garces. <http://www.rawworldlive.com>
- Earth Health & Sensibility. E. Cebuan de La Rochette. <http://www.earth-health-and-sensibility.com>
- True Elements. Puru Gupta. <https://www.true-elements.com>



## Mecanismos integrales de trazabilidad inteligente del ciclo de vida de productos alimenticios

# 5.9

La trazabilidad del ciclo de vida es una garantía de proceso sobre los productos alimenticios que permite mantener el valor y la inocuidad, esencial en la economía de las redes de distribución de alimentos [Badia-Melis and Ruiz-Garcia, 2016]. La capacidad de monitorear detalladamente cada uno de los pasos y automáticamente obtener inferencias sobre posibles eventos en la cadena de valor es clave para alcanzar niveles internacionales de estandarización de productos.

A continuación, se describen los factores de control de este reto:



## Análisis factual de impacto

La capacidad de mejorar la trazabilidad para productos existentes y de introducir nuevos productos a la cadena de trazabilidad permite asegurar su valor comercial, reducir pérdidas financieras por recolección ante problemas sanitarios y generar transparencia en el sistema de distribución de alimentos.

## Análisis contrafactual de impacto

El no extender los mecanismos de trazabilidad en el sector alimentos impacta de manera negativa el valor de productos perecederos, así como la salud pública en general.

## Objetivo transformacional

REK, LEM, PED Es necesario implementar entidades que permitan evaluar el estado sanitario de los productos perecederos a través de biosensores de bajo costo que reporten propiedades moleculares relevantes a posibles estados de interés. Adicionalmente, es necesario contar con la maquinaria de información para hacer inferencias a partir de datos.

## Objetivo de conocimiento

CID Se requiere construir infraestructura de medición in situ, preferiblemente incorporada en los productos o su empaquetado, además de los mecanismos de inferencia automática que permitan identificar productos con condiciones anómalas en grandes cantidades de datos de trazabilidad.

## Métrica de impacto

Proporción de productos en estados no sanitarios con tecnología de trazabilidad de siguiente generación que se detectaron tempranamente.

## Mercado potencial estimado

Se estima un valor de mercado en 2019 para trazabilidad de alimentos de \$14 mil millones.

## **Población objetivo**

Empresas de distribución de alimentos, productores de alimentos, entidades de inspección de cadenas de valor alimenticias.

## **Brecha de realización plena**

La brecha de realización principal en este reto corresponde a la capacidad de desarrollar biosensores integrables en una sola plataforma de detección con fácil uso y alto volumen de fabricación.

## **Brecha de adopción**

La brecha de adopción de estas soluciones depende del valor de retorno estimado en las operaciones y del costo de las tecnologías de trazabilidad por unidad mínima de venta de producto.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

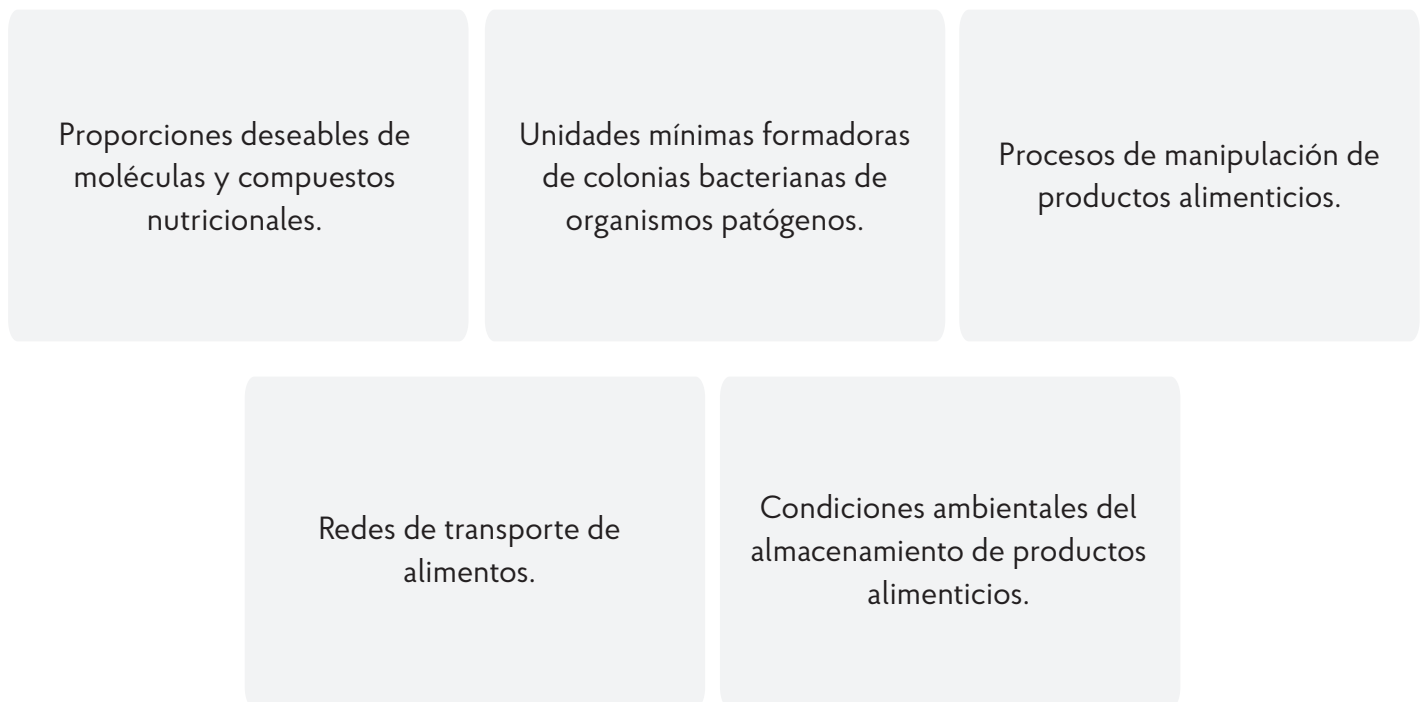
- SafeTraces. Anthony Zografos, Ph.D., George Farquar. <http://www.safetraces.com>.
- FoodTrace. Riana Lynn, Andrew Hill. <http://thefoodtrace.com>.
- Royalhalo. Ricardo Hernandez. <http://www.royalhalo.com>.

## Tecnologías para la medición in situ de condiciones nutricionales y de higiene de productos alimenticios

# 5.10

El valor de mercado de los productos alimenticios depende de su calidad e inocuidad a lo largo de la cadena de valor [Aung and Chang, 2014]. En la actualidad, no existen mecanismos simples con alta penetración de mercado que permitan determinar si un producto tiene el valor nutricional mínimo requerido por diversos estándares, o si es inocuo. El proceso debe ser in situ en consideración a la importancia de efectuar inspecciones en una amplia gama de condiciones y contextos.

Los factores de control se identifican a continuación:



## **Análisis factual de impacto**

La habilidad de identificar problemas sanitarios en alimentos es crítica para la salud pública. Una parte significativa de las pérdidas en agroindustria en la actualidad se debe a desecho de alimentos contaminados. La capacidad de medir contenido nutricional es esencial para garantizar una alimentación apropiada, así como para incrementar el valor de la producción alimenticia.

## **Análisis contrafactual de impacto**

La incapacidad de contar con dispositivos de muestreo nutricional y sanitario es un elemento crítico de no escalabilidad en redes de distribución de alimentos, así como en riesgos a la salud con impactos que pueden disparar casos epidémicos.

## **Objetivo transformacional**

REK,PED No existen técnicas o dispositivos de análisis molecular que permitan conocer in situ el contenido nutricional o la inocuidad de diversos productos alimenticios.

## **Objetivo de conocimiento**

CFR, CID Es necesario encontrar y caracterizar de forma completa el contenido nutricional, las correlaciones entre distintos factores que permitan explicar problemas en etapas del ciclo productivo.

## **Métrica de impacto**

Tasa de descubrimiento de falsos positivos en pruebas nutricionales y de inocuidad [Luo, 2014].

## **Mercado potencial estimado**

Se estima un mercado de \$17.16 mil millones de dólares para el año 202122.

## **Población objetivo**

Entidades reguladoras de nutrición y salud, empresas en industria de alimentos, compañías de transporte de alimentos.

## Brecha de realización plena

Es necesario desarrollar los biosensores en las escalas físicas relevantes que permitan medir de forma rápida y precisa los parámetros sanitarios y de nutrición de interés. Incidentalmente, es indispensable que el proceso de muestreo requiera pocas muestras para aquellos productos de alto valor.

## Brecha de adopción

Este reto requiere que los dispositivos y técnicas de medición aseguren niveles de detección de nutrientes y contaminantes con igual o mayor sensibilidad que las soluciones existentes, así como portabilidad.

## Firmas comerciales arquetípicas

- W2 Optronics. Clement Huang. <http://bio.w2opt.com>
- BioBacTrac. Jordan Shaw. <http://www.biobactrac.com>
- Fresh Surety. Marc Rippen, John W. Hodges Jr.. <http://www.freshsurety.com>

# Identificación de Fronteras

## 6. Ambiente y Energía

El avance sostenido de la civilización hacia nuevas etapas, especialmente la conquista del espacio solamente puede ocurrir si tres elementos se garantizan primero en nuestro planeta: la identificación y el aprovechamiento de nuevas fuentes energéticas al menos diez veces más eficientes que las actuales, la preservación de los ecosistemas y de las especies que subyacen a la economía y la preservación del agua. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático a partir del trabajo científico de miles de personas investigadoras es claro en la situación que enfrentamos: el riesgo más importante que enfrenta la especie humana es el cambio climático, accionado por sus propias actividades, que disminuye las probabilidades de supervivencia de un amplio rango de seres vivos en el planeta incluyendo a sí misma [Pachauri et al., 2015]. Para mitigar y revertir el cambio climático y sus efectos sobre la salud, la economía, la producción y la estabilidad geopolítica, es indispensable cambiar de manera radical el tipo de soluciones tecnológicas en el mercado internacional. Además de un reto fundamental, el cambio climático es una oportunidad de emprendimiento social y comercial que ha generado una multitud de fronteras científicas y tecnológicas que aún no han alcanzado a las personas mediante una transformación de mercado.

Desde la captura de compuestos de carbono atmosférico con el fin de sintetizar materiales para la construcción y para aplicaciones científicas de alta sofisticación y valor agregado, el desarrollo de fuentes de energía basadas en fusión de plasma e hidrógeno, hasta la purificación de cuerpos de agua mediante nanotecnología son alternativas para las cuales emprendimientos costarricenses tienen un terreno fértil en el país donde la conservación biológica es el centro de gravedad filosófico de las decisiones, y la energía eléctrica proviene casi en su totalidad de fuentes renovables.

## Mecanismos eficientes para transformar carbono secuestrado en elementos industriales

# 6.1

Los niveles de compuestos de carbono atmosféricos actuales son los más altos registrados desde hace más de 120 mil años. Además de las estrategias de reducción de uso de combustibles fósiles, es necesario descarbonificar la atmósfera. Una alternativa, inspirada en cómo las plantas convierten CO<sub>2</sub> en azúcares y proteínas estructurales, es la captura de CO<sub>2</sub> y otros compuestos carbónicos para el desarrollo de materiales de construcción orientados a distintos ambientes [Bonenfant et al., 2008; Nässén et al., 2007; Allwood et al., 2012]. En particular, la nanotecnología de compuestos de carbono permite convertir mediante distintos procesos el CO<sub>2</sub> en distintas formas alotrópicas de carbono nanoestructuradas para aplicaciones de alto valor agregado [Mauter et al., 2010; Lee et al., 2012; An et al., 2009]. Dado que la densidad de un sólido es mayor que la de un gas en condiciones ambiente, este método es altamente efectivo en evitar el repropósito de compuestos de carbono en más combustibles fósiles.

Los siguientes son los factores de control para este reto.

Fuentes de emisión de CO<sub>2</sub> ambientales.

Concentración de las emisiones.

Efectividad de adsorción de los mecanismos de secuestro.

Energía requerida para la separación del carbono.



## **Análisis factual de impacto**

La capacidad de capturar derivados del carbono atmosférico, en particular en sectores industriales, es clave para mitigar el cambio climático. Adicionalmente, contar con estas tecnologías permitirá obtener materiales para la construcción con propiedades mecánicas distintas, con aplicaciones industriales diversas y de alto valor agregado.

## **Análisis contrafactual de impacto**

La incapacidad de fijar carbono mediante estructuras permanentes conllevará a no alcanzar objetivos de mitigación internacionalmente aceptados, y sobre todo, a cambios irreversibles en los patrones climáticos.

## **Objetivo transformacional**

LEM, PED Es necesario encontrar métodos y tecnologías que permitan fijar carbono en nano y microestructuras útiles para aplicaciones desde materiales para la construcción hasta nanocompuestos derivados de formas alotrópicas del carbono.

## **Objetivo de conocimiento**

CFR, CID Es necesario encontrar las propiedades físico-químicas que permiten adsorción de compuestos de carbono eficientemente, con alta capacidad de desorción que utilice catalizadores que sigan los principios de química verde

## **Métrica de impacto**

Razón entre la cantidad de carbono secuestrado en gramos por unidad de energía consumida en el proceso.

## **Mercado potencial estimado**

Se estima un valor de mercado para la captura y almacenamiento de carbono en 2021 de \$8.05 mil millones.

## **Población objetivo**

Empresas fabricantes de materiales para la construcción, cementeras, industrias con altas emisiones de carbono.

## Brecha de realización plena

El factor para superar la brecha de realización plena consiste en encontrar al menos un mecanismo efectivo para adsorción y desorción de baja entalpía.

## Brecha de adopción

La brecha de adopción de este reto está determinada por la calidad y cantidad de producto generado en relación al costo de instalación, captura y síntesis de materiales.

## Firmas comerciales arquetípicas

- Carbon Sense Solutions. Robert Niven, MSc. <http://www.carbonsensesolutions.com>
- Carbon Engineering. Geoff Holmes. <http://carbonengineering.com>
- Carbonclean. Aniruddha Sharma. <http://www.carboncleansolutions.com>

## Tecnologías para la biorremediación de recursos hidrográficos a gran escala

# 6.2

El crecimiento urbano orgánico en muchas ciudades modernas ha llevado a un fuerte grado de contaminación riesgos de las fuentes hídricas de acceso inmediato con impacto en las subterráneas, lo que crea condiciones desde pobreza hasta inestabilidad internacional [Gleick, 1993]. Además de las intervenciones culturales para cambiar comportamientos ecológicamente negativos en la población y los proyectos de tratamiento de aguas, es indispensable contar con mecanismos que permitan biorremediar a gran escala cuerpos de agua hasta alcanzar niveles ecológicos saludables en tiempos razonables y de manera ambientalmente amigable [Chandra et al., 1997; Malik, 2004; Gadd, 2004].

A continuación, se describen los factores de control de este reto:

Valores de DBO, DQO y COT para diferentes mediciones a lo largo del cuerpo de agua a biorremediar.

Tipos y proporciones estimadas de los contaminantes.

Reactividad de los contaminantes.

## Análisis factual de impacto

La capacidad de encontrar mejores mecanismos para biorremediación es una fase clave en el aseguramiento de factores de calidad en plantas de tratamiento de agua, así como para una capacidad extendida de recuperación de cuerpos de agua naturales.

## Análisis contrafactual de impacto

El no contar con este tipo de tecnología reduce el límite de calidad para fases secundarias y terciarias en plantas de tratamiento de agua modernas, y reduce la capacidad de restaurar ecosistemas acuáticos con impactos negativos en la salud y la agricultura.

## Objetivo transformacional

PED Es necesario desarrollar estrategias en la interfaz bio-nano capaces de capturar fácilmente contaminantes, facilitar procesos de biocatálisis y permitir una recolección eficiente de residuos a lo largo de la biorremediación, con posible aprovechamiento secundario.

## Objetivo de conocimiento

CFR, CID Se requiere encontrar principios bioquímicos y biofísicos que aceleren el proceso de secuestro, biocatálisis y agregación de contaminantes. Adicionalmente, se requiere desarrollar los materiales capaces de utilizar efectivamente estos principios a escala. Es de particular importancia que las tecnologías desarrolladas cuenten con fases reutilizables para reducir el costo de las intervenciones.

## Métrica de impacto

Cambios en las mediciones de DBO, DQO y COT para un cuerpo de agua posterior a tratamiento.

## Mercado potencial estimado

Se estima que el mercado de tratamiento de agua para el 2020 tendrá un valor de \$24.94 mil millones.

## Población objetivo

Firmas de diseño e instalación de plantas de tratamiento de agua. Entidades gubernamentales y no gubernamentales encargadas de biorremediación. Municipalidades.

## **Brecha de realización plena**

La brecha de realización plena en la actualidad está dada por la capacidad de contar con sistemas de intervención capaces de operar a altos niveles de saturación de contaminantes.

## **Brecha de adopción**

La adopción de métodos y tecnologías en este reto está determinada por la calidad resultante del agua posterior a la biorremediación.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

- Green Forward Technologies. Rakesh Govind. <http://www.nextgenseptic.com>
- Aster Bio. Erik Rumbaugh, Paul H. Campbell. <http://www.asterbio.com>
- H2nanO. Tim Leshuk, Stuart Linley. <http://www.h2nano.ca>

## Tecnologías de horizonte infinito de planificación para integración de recursos no gestionables a redes eléctricas inteligentes

# 6.3

La aplicabilidad y evolución de Smart Grids depende de las tecnologías de información y comunicación subyacentes [Chen et al., 2009; Farhangi, 2010]. En particular, la capacidad de trasladar el control de la asignación de potencia a distintos niveles –suponiendo la existencia de fuentes de almacenamiento a gran escala como mecanismos compensatorios– depende de la existencia de dispositivos autónomos [Brown, 2008]. Es necesario que estos aprendan el comportamiento de consumo, regulen el uso energético a pequeña escala sin afectar el rendimiento de hogares e industrias y que sean capaces de operar tanto a tiempo real como hacia un horizonte infinito en el tiempo [Momoh, 2009; Xu and Wong, 2011; Venayagamoorthy, 2011].

Los factores de control de este reto se describen a continuación.

Diseño de la red eléctrica.

Tipo de unidad básica de consumo (hogar, industria, médico).

Nivel de riesgo para fallas críticas de energía.

Variaciones periódicas de consumo.

Variaciones aperiódicas de consumo.

Tipos de almacenamiento de energía instalados o disponibles.

## Análisis factual de impacto

La capacidad de aprender patrones de consumo para posteriormente adaptar la producción de energía eléctrica a la demanda existente con precisión implica ahorros económicos de hasta un 25% en el proceso. Adicionalmente, la capacidad de gestionar en detalle las unidades de consumo reduce el costo para los clientes de la red eléctrica mientras se garantiza la calidad del servicio.

## Análisis contrafactual de impacto

El no contar con este tipo de tecnologías incrementa el tiempo promedio de fallos puntuales de la red eléctrica, reduce su capacidad de expansión así como la capacidad de establecer estrategias de reducción de emisiones. En particular, sin infraestructura distribuida de medición y aprendizaje no es factible contar con analítica de datos capaz de predecir tendencias a futuro con alta confianza estadística.

## Objetivo transformacional

REK Es necesario desarrollar mecanismos de aprendizaje de horizonte finito capaces de establecer estrategias de control en la generación, transporte y distribución eléctrica desde una perspectiva de oferta-demanda en tiempo real.

## Objetivo de conocimiento

CID Se requiere desarrollar la infraestructura de software y hardware para medición de tensión eléctrica de alta frecuencia (> 1 KHz) con bajo consumo energético, los algoritmos de aprendizaje distribuidos y las capacidades de análisis de datos.

## Métrica de impacto

Reducción en la generación eléctrica bajo el mismo límite de seguridad.

## Mercado potencial estimado

Se estima que el mercado de redes eléctricas inteligentes para el 2021 tendrá un valor de \$65.42 mil millones.

## Población objetivo

Empresas de generación, transporte y distribución eléctrica, empresas de facturación eléctrica.

## Brecha de realización plena

La brecha de realización plena para este reto corresponde a la integración de algoritmos de aprendizaje y planificación locales con analítica de datos de alto volumen.

## Brecha de adopción

La adopción de estas tecnologías depende de contar con un tiempo promedio de fallos igual o mayor que los actuales.

## Firmas comerciales arquetípicas

- Ohmconnect. Curtis Tongue. <https://www.ohmconnect.com>
- GridCure. Tagg Jefferson. <https://www.gridcure.com>
- WattTime. Gavin McCormick. <http://watttime.org>

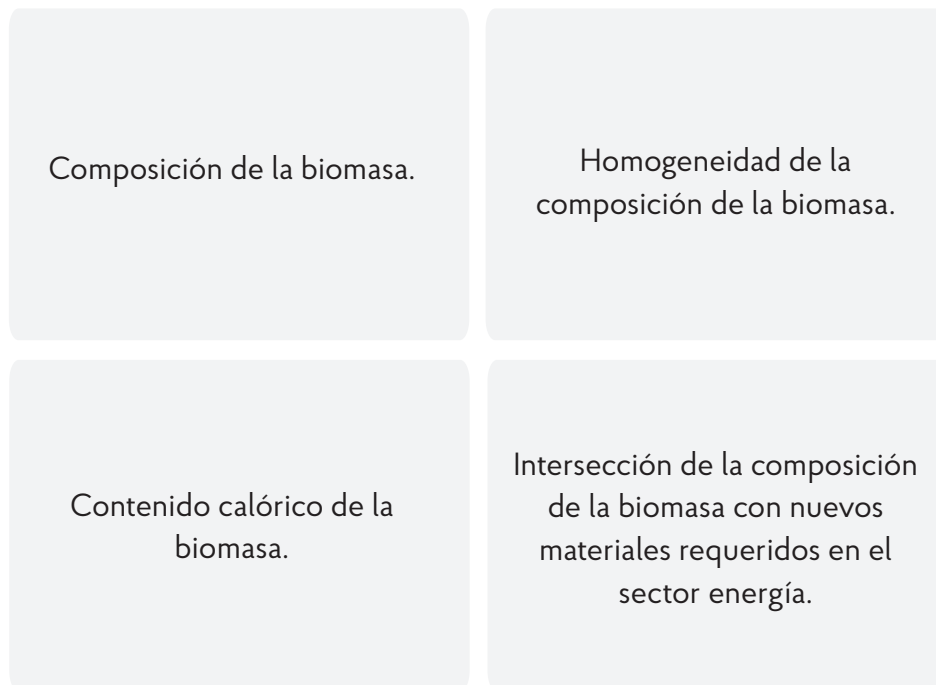


## Aprovechamiento de biomasa residual para producción energética a nivel industrial

# 6.4

La cantidad de biomasa que se produce en la agroindustria es un factor de contaminación central, particularmente en la emisión de gases de efecto invernadero [Mariani et al., 1992]. Sin embargo, existe una riqueza no explotada hacia producción de energía mediante paradigmas de biorrefinería con catálisis amigable con el ambiente [Cherubini, 2010]. En particular, la conversión de lignina [Zhai et al., 2011], celulosa [Tammela et al., 2014] y almidón [Wu et al., 2014] en energía química, mecánica y eléctrica de bajas o cero emisiones de carbono es un objetivo atractivo en el corto plazo. Al igual que en el caso de productos agrícolas, la producción de energía puede acoplarse con obtención de sustancias de alto valor agregado,

Los factores de control de este reto se describen a continuación.



## **Análisis factual de impacto**

La capacidad de aprovechar biomasa residual de diferentes industrias provee nuevas fuentes de productos, reduce la contaminación ambiental por residuos sólidos y permite encontrar materiales novedosos de alto valor con cadenas comercializables y encadenables desde el sector agro. En particular, la biomasa se convierte en una fuente energética para reducir la dependencia de hidrocarburos.

## **Análisis contrafactual de impacto**

La incapacidad de lidiar con biomasa residual incrementa las emisiones de carbono, tiene impacto negativo en mantos acuíferos y aumenta el costo de operación para empresas en agroindustria ante mejores regulaciones.

### **Objetivo transformacional**

LEM Es necesario encontrar mecanismos de bioprocesamiento de materia residual para generar energía con baja contaminación ambiental y uso de biocatálisis.

### **Objetivo de conocimiento**

CFR, CID, CPE Se requiere encontrar nuevos mecanismos de incremento de capacidad calórica de tipos específicos de biomasa, desarrollar las tecnologías para tratamiento de biomasa a escala media y grande y generar estrategias para contar con un flujo constante de biomasa que sostenga niveles de producción financieramente sostenibles.

### **Métrica de impacto**

Fracción de la biomasa total que se convierte en energía.

### **Mercado potencial estimado**

Se estima que el mercado de pellets de biomasa para el 2020 tendrá un valor de \$6.98 mil millones.

### **Población objetivo**

Consumidores de energía química, calórica o eléctrica. Firmas de diseño e implementación de calderas. Empresas de diseño e implementación de sistemas de calefacción. Industria en general.

## Brecha de realización plena

La realización plena de este reto depende en la actualidad de la capacidad de separar rápidamente los componentes de alta capacidad calórica, y de remediar la capacidad calórica de aquellos menos eficientes.

## Brecha de adopción

Para la adopción de estas tecnologías y métodos de producción energética, es indispensable que se garantice un flujo constante de biomasa y una alta capacidad calórica del producto.

## Firmas comerciales arquetípicas

- Alzheon. Martin Tolar, MD., Ph.D. <http://alzheon.com>
- Alector. Arnon Rosenthal, Ph.D. <http://alector.com>
- BrainVectis. Nathalie Cartier-Lacave, MD. <http://www.brainvectis.com>

## Desarrollo de baterías de ultra alto rendimiento y factor de forma reducido

# 6.5

El factor que limita las posibilidades tecnológicas de los dispositivos electrónicos no conectados a una red eléctrica en la actualidad es la capacidad de carga de baterías en todos los contextos, principalmente de aquellas que utilizan litio [Rahman et al., 2014]. El desarrollo de nuevas baterías, que sean ultraligeras y con al menos un orden de magnitud más en su capacidad de carga [Chan et al., 2016] es el elemento clave en la aparición de nuevas categorías de dispositivos. La capacidad de identificar propiedades de nuevos materiales con superconductividad en condiciones cercanas a temperatura ambiente [Buckles and Hassenzahl, 2000], la existencia de supercapacitores [Sukla et al., 2000] y la capacidad de disminuir la disipación térmica mediante estos fenómenos [Xu and He, 2013] son parte de la vía hacia baterías de ultra larga duración y factor de forma reducido.

Los factores de control para este reto se indican a continuación:

Capacitancia y resistividad de materiales.

Comportamiento de materiales a ultrabajas temperaturas.

Capacidad de aislamiento de sistemas cuánticos para prevención de decoherencia.

## **Análisis factual de impacto**

La capacidad de desarrollar baterías ultra-eficientes es clave para el desarrollo de nuevos dispositivos, de redes inteligentes con precios accesibles de energía, la revolución del transporte y en general un cambio radical de escala de actividades humanas.

## **Análisis contrafactual de impacto**

Continuar con las tecnologías actuales de almacenamiento de energía sobre principios físico-químicos tradicionales implica agotar rápidamente las posibilidades de desarrollo basadas en electricidad.

### **Objetivo transformacional**

PED Es indispensable encontrar mecanismos de almacenamiento de energía que aprovechen la relación de área-volumen de materiales nanoestructurados, así como las capacidades de preservación de la coherencia de estados cuánticos para aproximar estados sólidos cercanos a los de los superconductores a temperaturas ambiente en factores de forma razonables para diversas aplicaciones.

### **Objetivo de conocimiento**

CFR, CID Se debe determinar la combinación geométrica, topológica y físico-química que mediante el aprovechamiento de efectos cuánticos que accedan a estados supercríticos y mantengan superconductividad. Estos estados deben ser dominados e implementados en dispositivos estables cuya entrega de potencia sea constante y al menos dos órdenes de magnitud mayor a las tecnologías actuales.

### **Métrica de impacto**

Razón entre el tiempo de carga utilizable para baterías de ultra-alto rendimiento ponderado por su factor de forma y el tiempo de carga utilizable de tecnologías tradicionales ponderado por el factor de forma actual.

### **Mercado potencial estimado**

Se estima que el mercado de baterías de litio para el 2024 tendrá un valor de \$77.42 mil millones.

## **Población objetivo**

Industria electrónica en general.

## **Brecha de realización plena**

La brecha de realización será superada cuando sea posible mantener estados supercríticos de la materia a temperatura ambiente a través del uso inteligente de nanomateriales para confinamiento de estados cuánticos.

## **Brecha de adopción**

La adopción de estas tecnologías dependerá de un factor de forma reducido, de una rápida velocidad de carga y de seguridad operacional.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

- Elegus Technologies. Nicholas Kotov. <http://www.elegustech.com>
- Paper Battery Company. Shreefal Mehta. <http://www.paperbatteryco.com>
- Dreamweaver International. Brian Morin. <http://www.dreamweaverintl.com>

## Intervenciones ecológicamente sostenibles en zonas con fuentes naturales de riesgo

# 6.6

Los riesgos naturales son una de las principales fuentes de gasto e inversión pública en todo el mundo [Petak, 1985]. En particular, la materialización del desastre natural se agrava cuando, por situaciones socioeconómicas y políticas, existen asentamientos humanos en condición de riesgo [Chakraborty et al., 2005]. Para algunos casos, las intervenciones para eliminar o mitigar la vulnerabilidad requieren modificaciones del entorno con un impacto ecológico negativo. Sin embargo, mediante diferentes herramientas, es posible diseñar e implementar intervenciones ecológicamente sostenibles para mitigar los factores de riesgo, tendientes a una relocalización humana basada en diseños urbanos racionales [Birkmann, 2006; Dovers et al., 2004; Ostrom, 2009]. El adquirir pericia en el diseño de estas soluciones permite la creación de emprendimientos de muy alto valor, con sostenibilidad de largo plazo, y con visión internacional.

Los siguientes son los factores de control para reto.

Condiciones geográficas del entorno.

Procesos geofísicos activos conocidos.

Probabilidad de activación de procesos geológicos inactivos.

Infraestructura existente.

Conflictos de interés humanos futuros con respecto a fragilidad ambiental.

Densidad de información para el área afectada.

## **Análisis factual de impacto**

La capacidad de modelar y cuantificar el riesgo por desastres naturales para posteriormente efectuar intervenciones es crítica en reducir montos de aseguramiento, en planificación y organización, y en preservar ecosistemas en zonas de riesgo.

## **Análisis contrafactual de impacto**

Las consecuencias de no contar con métodos y tecnologías efectivas de mitigación de riesgos puede llevar a pérdidas materiales, humanas y de ecosistemas por intervenciones inapropiadas.

## **Objetivo transformacional**

REK Es necesario contar con conocimiento de todos los factores y posibles alternativas de acción sugeridas por modelos geofísicos, cartográficos, geográficos, económicos y ecológicos.

## **Objetivo de conocimiento**

CID, CPE Se requiere desarrollar nuevas metodologías de riesgo integradas con herramientas deductivas que integren parámetros ambientales en zonas de desastres potenciales. En particular, es indispensable desarrollar herramientas de campo conectadas con la dinámica social de las poblaciones. Adicionalmente, se requiere desarrollar nuevas tecnologías que permitan reducir la incertidumbre u obtener datos de zonas afectadas cuando no existe un mapeo previo de información.

## **Métrica de impacto**

Índice de fragilidad ambiental de la zona afectada posterior a la intervención multiplicada por el índice de salud ecológica del ecosistema [Costanza, 2012] contenido en ella.

## **Mercado potencial estimado**

Se estima que el mercado de recuperación ante desastres para el 2020 tendrá un valor de \$11.92 mil millones.



## **Población objetivo**

Municipalidades, entidades gubernamentales de manejo de emergencias, firmas en consultoría ambiental.

## **Brecha de realización plena**

La brecha de realización plena de este reto consiste en interconectar datos existentes y generar datos faltantes para distintas variables.

## **Brecha de adopción**

La adopción de estas tecnologías y prácticas depende de la calidad de las inferencias obtenidas para casos conocidos y calibrados con anterioridad.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

- Terrene. Francois le Roux. <http://terrene.com>
- One Concern. Timothy Frank. <http://www.oneconcern.com>
- Syndeste. Mohan Rajasekar, Zack Roehr. <https://www.syndeste.com>

## Desarrollo de fuentes de energía y tecnologías de siguiente generación basadas en fusión e hidrógeno

# 6.7

La dependencia de combustibles fósiles solamente puede eliminarse al utilizar tecnologías que no requieran hidrocarburos para generar energía [Koroneos et al., 2003]. Dos fuentes que han demostrado ser efectivas en pequeña escala son la fusión nuclear en dispositivos de confinamiento magnético de pequeña escala [Freidberg, 2008] y el hidrógeno producido y almacenado mediante electrocatálisis [Veziroglu et al., 2008; Poizot and Dolhem, 2011]. Con la tecnología actual, es indispensable encontrar mecanismos para la reducción del factor de forma, la eficiencia de entrega de energía y la integración a sistemas de energía. Adicional a los casos de uso para producción de energía masiva, es indispensable diseñar dispositivos de tamaño reducido y uso más frecuente en aplicaciones específicas [Engel et al., 2007; Brownson et al., 2011].

Los factores de control de este reto son los siguientes:

Densidad energética por unidad de materia necesaria para generar electricidad.

Capacidad de confinamiento energético sin decaimiento.

Capacidad de conversión desde la fuente energética hacia sistemas eléctricos.

## **Análisis factual de impacto**

La capacidad de reemplazar combustibles fósiles con hidrógeno y plasma con suficiente masa elimina emisiones responsables del cambio climático y elimina dependencia en mercados petroleros. Estas tecnologías energéticas son clave para el futuro del transporte aeronáutico, en particular hacia la conquista del espacio.

## **Análisis contrafactual de impacto**

El no contar con fuentes carbono neutrales incrementará las dificultades en mitigar el cambio climático drásticamente y para su recuperación. Asimismo, los combustibles fósiles son fuente de dependencia económica, inestabilidad geopolítica y lastre en la carrera espacial.

## **Objetivo transformacional**

LEM, PED Es necesario contar con fuentes energéticas distribuidas, altamente eficientes y accesibles basadas en hidrógeno y producción de plasmas de alta energía mediante tecnologías de fusión y demás. En particular, debe existir un énfasis en reducir el volumen de estos sistemas.

## **Objetivo de conocimiento**

CFR, CID, CPE Este reto involucra la necesidad de mejorar en condiciones experimentales la eficiencia de conversión energética hacia artefactos tradicionales, desarrollar artefactos e infraestructura que opere nativamente bajo los principios de hidrógeno y plasma así como desarrollar extensamente puntos de acceso a fuentes de energía mediante la especificación y masificación de estándares de grado industrial.

## **Métrica de impacto**

Eficiencia de conversión energética entre hidrógeno o plasma, y electricidad o calor.

## **Mercado potencial estimado**

Se estima que el mercado de energías limpias para el 2016 tuvo un valor de \$1.35 millones de millones.

## **Población objetivo**

Empresas de generación eléctrica, industria pesadas, industria de transporte, industria de misión crítica, industria aeroespacial.

## Brecha de realización plena

La brecha de realización en tecnología de hidrógeno está definida por superar la barrera de eficiencia de conversión al menos al 10%, y en plasma por alcanzar valores  $Q>1$  de manera sostenida por más de 5 segundos.

## Brecha de adopción

La adopción tecnológica de este reto dependerá de la estabilidad de generación energética, así como de la escalabilidad de desarrollo de nuevas redes de energía basadas en hidrógeno y plasma.

## Firmas comerciales arquetípicas

- H2 Energy Now. Sonya Davidson. <http://h2energynow.com>
- Pers-EE. Laurence Grand Clement. <http://www.pers-ee.com>
- Ecoplasma Tecnologia Aplicada. Victor Bartholomeu. [http://ecoplasma.com.br/pt\\_BR/](http://ecoplasma.com.br/pt_BR/)

## Desarrollo de variedades genéticas con resiliencia ecosistémica al cambio climático

# 6.8

Uno de los mayores riesgos para la supervivencia humana es la extensión paulatina de especies comestibles [Schmidhuber and Tubiello, 2007]. En particular, y aunado al reto de preservar la diversidad ecológica en agricultura, contar con estrategias de intervención mediante ingeniería genética y ecología [Mittler and Blumwald, 2010; Hayashi et al., 1998; Howden et al., 2007] es clave para evitar la reducción drástica en la disponibilidad alimentaria estimada para antes de que finalice el presente siglo. Este reto además se extiende a la supervivencia de especies críticas en ecosistemas y ambientes no productivos.

A continuación, se presentan los factores de control para este reto.

Estimados de cambio climático para la región a ser intervenida.

Tratos vegetales y animales con afectación potencial por estrés ante cambio climático.

Tratos vegetales y animales de otras especies con potencial transgénico en especies productivas.

Contexto genético de simbiosis con otras especies potencialmente presentes en el ambiente de producción.

## **Análisis factual de impacto**

La capacidad de contar con variedades resistentes a climas extremos que toman en cuenta el ecosistema y el metagenoma circundante permite garantizar seguridad alimentaria en distintas regiones del planeta, especialmente aquellas donde el cambio climático generará las condiciones más adversas para la vida. Una aplicación directa de este trabajo es dar los primeros pasos para contar con organismos capaces de terraformar otros planetas en etapas tempranas de la exploración espacial [Fogg, 1995; Graham, 2003; Lydon, 2015].

## **Análisis contrafactual de impacto**

La incapacidad de contar con especies resilientes al cambio climático compromete de manera severa la seguridad alimentaria internacional.

### **Objetivo transformacional**

REK, PED Es indispensable utilizar modelos predictivos de cambio climático y modelos de riesgo en una amplia gama de organismos para determinar vulnerabilidades y efectuar bioprospección con el fin de garantizar la supervivencia de distintas especies.

### **Objetivo de conocimiento**

CFE, CID, CPE Se requiere determinar factores predictivos capaces de intensificar la búsqueda de genes resilientes con posibilidades transgénicas para especies en riesgo por cambio climático. Posteriormente, es necesario desarrollar tecnologías basadas en estos principios y finalmente generar práctica suficiente para determinar el tiempo necesario de aplicación en condiciones de riesgo, especialmente alimentario.

### **Métrica de impacto**

Tasa de supervivencia de organismos genéticamente modificados para soportar condiciones adversas por grado centígrado tomado a partir del promedio de temperatura experimentado entre 1800–1971.

### **Mercado potencial estimado**

Se estima que el mercado de adaptación a cambio climático entre el 2014-2015 tuvo un valor de \$316 mil millones.

## **Población objetivo**

Productores agrícolas, productores agroindustriales, personas en ingeniería agrícola, firmas consultoras, ecólogos.

## **Brecha de realización plena**

La brecha de realización plena de este reto está dada por la capacidad de estimar apropiadamente efectos adversos de transgénesis, así como de garantizar homogeneidad en la introducción de los tratos biológicos entre organismos o las entidades biológicas sintéticas.

## **Brecha de adopción**

La adopción de estas tecnologías está delimitada por su seguridad para el ambiente y el consumo humano.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

- AgriMetis. Steven Tuttle. <http://www.agrimetis.com>
- Indigo. David Perry. <http://www.indigoag.com>
- NexSteppe. Anna Rath. <http://www.nexsteppe.com/about>

## Métodos novedosos de purificación ambiental de agua por contaminantes emergentes

# 6.9

El fomento de industria de alta tecnología en manufactura debe acoplarse con un análisis riguroso de los contaminantes emergentes, y de las medidas para eliminarlos de aguas residuales por su peligrosidad [La Farre et al., 2008; Deblonde et al., 2011; Verlicchi et al., 2010]. Existe un creciente cuerpo de conocimiento alrededor de medidas para captura y repropósito de contaminantes emergentes en distintas industrias [Tedder and Pohland, 2002; Harms et al., 2011; Wendell, 2013].

A continuación, se listan los factores de control para este reto.

Reactividad y afinidad química de los contaminantes emergentes.

Disponibilidad de microorganismos y plantas capaces de efectuar biorremediación de contaminantes emergentes sin transgénesis.

Posibles intervenciones de transgénesis para procesar contaminantes emergentes.

Vías de biosíntesis y posibles productos de alto valor derivados.



## Análisis factual de impacto

La capacidad de remover contaminantes emergentes es clave para la salud pública, la generación de industria basada en la química verde y el desarrollo de productos seguros. La detección y remoción de contaminantes emergentes es un indicador de la sostenibilidad ambiental de industria química y farmacológica de avanzada.

## Análisis contrafactual de impacto

No contar con métodos de remoción de contaminantes emergentes, ante los hallazgos de la literatura existente, representa muy altos riesgos ecológicos y sanitarios debido a la reactividad de las sustancias.

### Objetivo transformacional

REK, LEM, PED Es necesario desarrollar métodos analíticos y de recolección de contaminantes emergentes que sigan los principios de la química verde con el fin de remover las sustancias con alto grado de efectividad ( $p > 0.0001$  para su presencia).

### Objetivo de conocimiento

CFR, CID Es necesario encontrar firmas físico-químicas y procesos de muestreo acoplados con estadística no paramétrica para tamaños de muestra pequeños que permitan identificar con alta precisión la presencia de contaminantes emergentes y caracterizarlos. Estos métodos deben implementarse en infraestructura de medición, idealmente portátil. Debido a la novedad relativa de este reto, existe una oportunidad de generar patrones y estándares de medición. Además, es indispensable utilizar de manera preferencial organismos que desnaturalicen los compuestos peligrosos.

### Métrica de impacto

Grado de sensibilidad de detección de contaminantes emergentes contra patrones.

### Mercado potencial estimado

Se estima que el mercado de tratamiento de agua para el 2020 tendrá un valor de \$24.94 mil millones.

## **Población objetivo**

Firmas de diseño e instalación de plantas de tratamiento de agua. Entidades gubernamentales y no gubernamentales encargadas de biorremediación. Municipalidades.

## **Brecha de realización plena**

La brecha de realización central es determinar firmas espectrales únicas que puedan ser detectadas mediante biosensores, así como la determinación de entidades biológicas que efectúen el proceso de desnaturalización de tales compuestos.

## **Brecha de adopción**

La adopción de esta tecnología está determinada por su sensibilidad de detección y capacidad de remoción de contaminantes emergentes.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

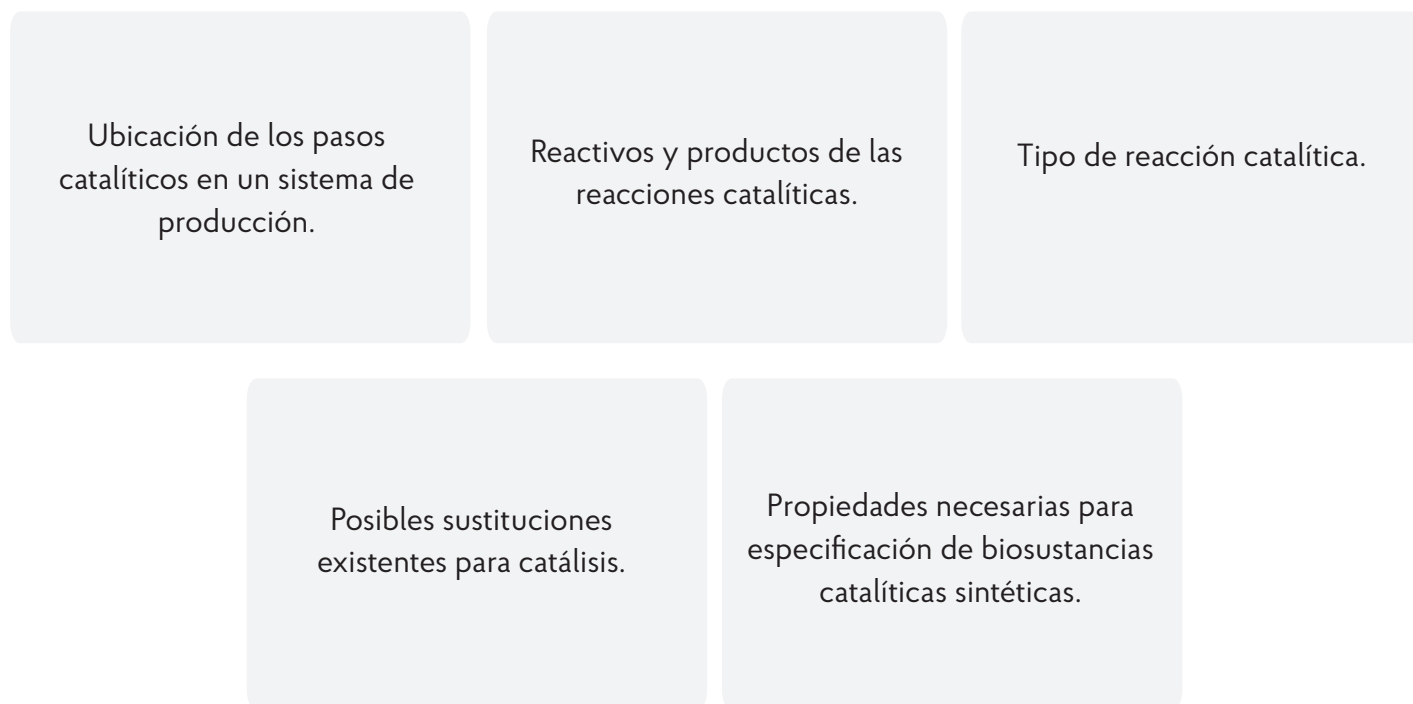
- Biotic Solutions. Bernardo Collao, Juan Pablo Monrás Charles. <http://www.bioticsol.com>
- BlueInGreen. Chris Milligan. <https://www.blueingreen.com>
- Agua Inc. Bianca Griffith. <http://aguainc.com>

## Métodos de química verde para procesos catalíticos industriales

# 6.10

Los procesos de catálisis tienden a ser los causantes de problemas ambientales en mayor proporción (e.g. Sirés et al. [2014]). A pesar de esfuerzos en la optimización catalítica en diversos pasos de manufactura, existen residuos que no pueden ser reprocesados con un costo efectivo o que requieren cantidades de energía externas significativas.

Los factores de control para este reto se detallan a continuación.



## Análisis factual de impacto

El contar con métodos catalíticos verdes implica mayor seguridad en procesos pertenecientes a la industria química, menor afectación a personas trabajadoras, menor consumo de energía, menor emisión de contaminantes de difícil tratamiento y mayor biodegradabilidad de productos.

## Análisis contrafactual de impacto

Continuar con el uso de catalíticos tradicionales mantiene un conjunto de propiedades no deseables en la ruta hacia productos más amigables con el ambiente, capaces de tener un ciclo de vida de producto que no termine.

## Objetivo transformacional

LEM Es necesario encontrar catalizadores que disminuyan la energía de activación requerida por unidad de tiempo para reacciones industriales especializadas, y además que sean fácilmente procesables para su reintegración al ambiente en calidad no contaminante.

## Objetivo de conocimiento

CFR, CID, CPE Se requiere determinar mediante métodos físico-químicos y moleculares las propiedades teóricas ideales de catalíticos compatibles con la química verde. Una vez que se han determinado, es necesario implementar los procesos de síntesis y su posterior escalamiento.

## Métrica de impacto

Valor absoluto de la diferencia entre la energía de activación requerida por unidad de tiempo entre el catalizador tradicional y su reemplazo de química verde.

## Mercado potencial estimado

Se estima que el mercado de catálisis química para el 2024 tendrá un valor de \$34.3 mil millones.

## Población objetivo

Industria química, industria farmacéutica, industria de polímeros, industria de metalurgia, industria alimenticia.

## Brecha de realización plena

La brecha de realización para este reto depende de la capacidad de encontrar las relaciones apropiadas entre reactivos y catalizadores que lleven a una alta eficiencia y biodegradabilidad de los productos resultantes.

## Brecha de adopción

La adopción de tecnologías en este reto depende de la efectividad energética de los catalizadores identificados o desarrollados, así como de la estabilidad química de los resultados de su aplicación para casos de uso particulares.

## Firmas comerciales arquetípicas

- ZeaChem. David Gross. <http://www.zeachem.com>
- Virent. Lee Edwards. <http://www.virent.com>
- SiGNa. Michael Lefenfeld. <http://www.signachem.com>

# Identificación de Fronteras

## 7. Sociedad Inteligente

La comunicación es la base de la construcción de lo social, dado que a través de ella es que ocurre el intercambio de información y conocimiento. La Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información en su Declaración de Principios establece como desafío central la utilización de las tecnologías de la información como catalizador de la solución de los retos asociados al desarrollo sustentable global. La tarea central de este siglo será no solamente contar con un amplio volumen información sino con los medios para transformarla en conocimiento y en acciones concretas. Toda tecnología es una extensión de las capacidades humanas, y en este caso, del intelecto. Cada salto tecnológico que supera en varios órdenes de magnitud a sus predecesores genera una ola de cambios a lo largo de las civilizaciones, y es indispensable que estos ocurran con una perspectiva ética y humana de inclusión y seguridad. La construcción de una sociedad inteligente será, más que una labor puramente arquitectónica, la de cooperación con una creciente cantidad de intelectos sintéticos. Esta tendencia empieza a materializarse desde vehículos inteligentes hasta sistemas de soporte de decisiones médicas en una simbiosis cuando los beneficios son mutuos. Los desarrollos de esta naturaleza, para un país con vocación digital como Costa Rica, son un nicho único de oportunidad.

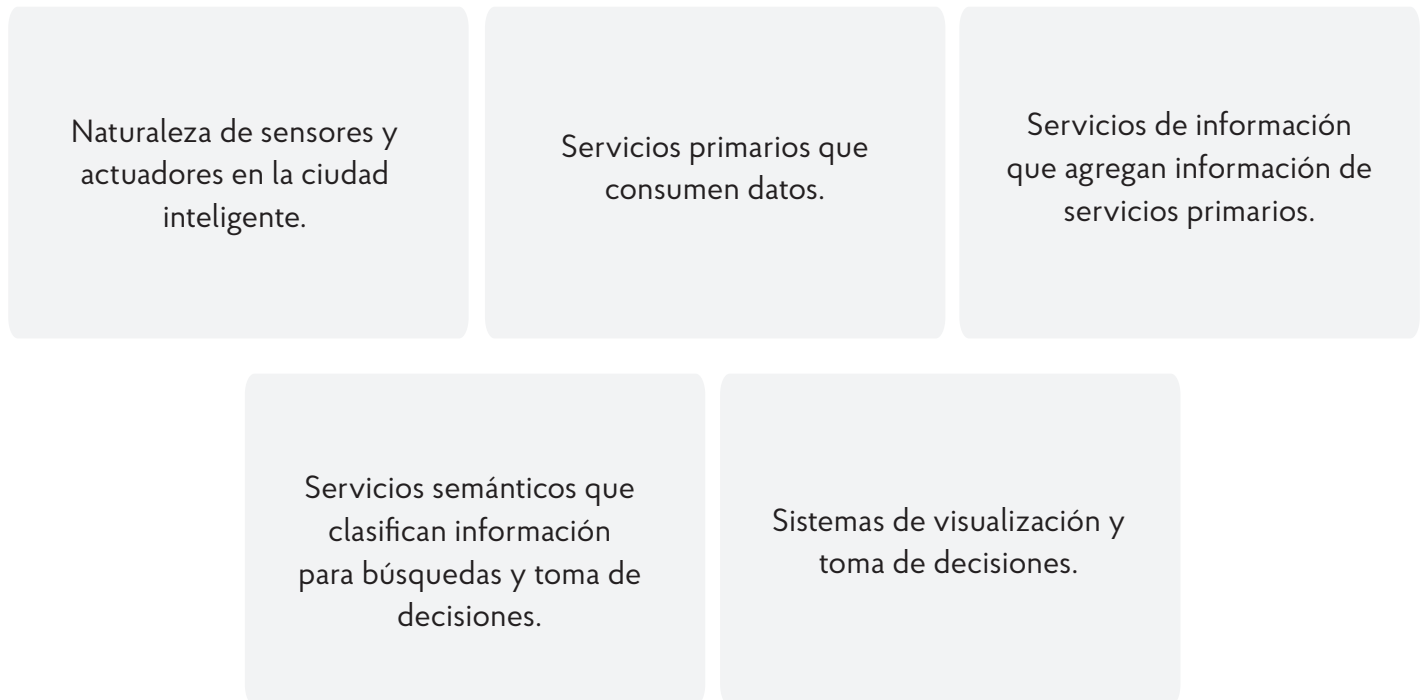
Las fronteras en vísperas de una sociedad inteligente son múltiples y comprenden desde un nuevo concepto de instrumento monetario confiable, redes de comunicación de datos resilientes, arquitectura digitalmente habilitada hasta la construcción de intelectos sintéticos consistentes con una ética humana y una nueva forma de robótica inspirada en la naturaleza. Los emprendimientos en estas categorías definirán la punta de lanza en lo que definirá el resto de este siglo.

## Metodologías para construcción de tuberías de datos seguras en ciudades inteligentes

# 7.1

El advenimiento y desarrollo paulatino de ciudades inteligentes requiere de dispositivos y tuberías de datos seguras, tal como las ciudades requirieron en su momento de tuberías para las utilidades (electricidad, agua, gas). De esta forma, se requerirá de manera creciente un rol emprendedor de plomería digital: empresas especializadas en diagnosticar, corregir y auditar las interconexiones de datos que generan valor público a lo largo de una ciudad inteligente [Townsend,2013].

Los factores de control para este reto se indican a continuación:



## **Análisis factual de impacto**

Además de las ventajas evidentes que resultan de contar con empresas capaces de reducir el costo de implementación de ciudades inteligentes, existe una oportunidad para desarrollar puestos de trabajo técnicos de rápida formación para reconversión profesional.

## **Análisis contrafactual de impacto**

No contar con este giro de negocios impactará negativamente la capacidad de desarrollo de ciudades inteligentes en términos de costos de implementación y mantenimiento.

### **Objetivo transformacional**

REK Es necesario implementar técnicas efectivas de mantenimiento que puedan escalar a posiciones no profesionales para asegurar el funcionamiento apropiado de las ciudades inteligentes.

### **Objetivo de conocimiento**

CPE Debe desarrollarse el conjunto de metodologías para la aplicación de tecnologías existentes en el diagnóstico, corrección y mantenimiento vertical y horizontal de los componentes a lo largo de una implementación de ciudad inteligente.

### **Métrica de impacto**

Cantidad de incidentes de infraestructura y seguridad con resolución positiva.

### **Mercado potencial estimado**

Se estima un mercado potencial de \$757.74 mil millones en 2020 para ciudades inteligentes.

### **Población objetivo**

Firmas implementadoras de tecnología para ciudades inteligentes, gobiernos locales, firmas integradoras de soluciones.



## Brecha de realización plena

El principal obstáculo de implementación en el presente reside en la diversidad tecnológica de soluciones en el mercado. Una de las oportunidades más relevantes de cerrar la brecha es generar estándares radicados nacionalmente.

## Brecha de adopción

La adopción de estos servicios será dependiente de la efectividad de resolución de casos, de la robustez de la seguridad en todos los aspectos y del costo para despliegues masivos.

## Firmas comerciales arquetípicas

- Local Logic. Vincent-Charles Hodder. <https://www.locallogic.co>
- Prospective. Pete Ferguson. <http://www.prospective.io>
- Bintelligence. Alejandro Ricatti. <http://bintelligence.org>

## Implementación de servicios de confianza monetizables digitales mediante blockchain

# 7.2

El desarrollo de moneda digital mediante blockchain es un avance en la confiabilidad asignada a instrumentos monetarios [Watanabe et al., 2015]. Además de su aplicación directa como instrumento financiero, existen aplicaciones no explotadas en áreas tales como energía, definición de contratos y trazabilidad de productos.

Los factores de control para este reto se indican a continuación.

Trazabilidad de transacciones.

Fortaleza criptográfica del hash.

Grado de distribución del sistema de confianza.

## **Análisis factual de impacto**

Existe un consenso en el uso de mecanismos de blockchain en materia de confiabilidad. Debido a los múltiples niveles de verificación y a la asociación del costo de cómputo de un hash, es posible asignar confianza y valor monetario a cada transacción independiente de dominio. Esto crea un enlace directo a la disponibilidad de recursos financieros, materiales o ambientales sin precedentes [Mattila, 2016].

## **Análisis contrafactual de impacto**

El incremento en incidentes de ciberseguridad, en contextos digitales, solamente será agravado con respecto al impacto en ausencia de mecanismos basados en complejidad computacional de funciones criptográficas.

### **Objetivo transformacional**

REK Es indispensable para confianza en sistemas regidos por reglas económicas contar con entidades cuyo contenido sea verificado mediante sistemas distribuidos con correlatos financieros.

### **Objetivo de conocimiento**

CFR, CID, CPE Para contar con estos sistemas, se requiere explorar las propiedades computacionales asociadas a los sistemas de confianza monetizables para encontrar analogías válidas en otras áreas de aplicación. Una vez encontrados los casos, puede utilizarse infraestructura existente de blockchain (o extenderse) para servir a estos nuevos propósitos.

### **Métrica de impacto**

Cantidad de fraudes o inconsistencias detectadas por el sistema con respecto a la contraparte sin base en blockchain.

### **Mercado potencial estimado**

Se estima un valor de mercado de tecnología basada en blockchain de \$2.3 mil millones para el 2021.

### **Población objetivo**

Firmas que desarrollar y personas que utilizan servicios basados en mecanismos de confianza.

## Brecha de realización plexna

Para efectos de identificación e implementación, se requiere explorar las posibles analogías más allá de mercados de valores.

## Brecha de adopción

La adopción de mecanismos de confianza basados en blockchain depende de la disponibilidad de sustratos de cómputo para los hashes y de facilidad de uso para los usuarios.

## Firmas comerciales arquetípicas

- Provenance. Jessi Baker, Jutta Steiner, Ph.D. <https://www.provenance.org>
- Enigma. Guy Ziskind, Oz Nathan, Alex Pentland, Ph.D. <http://www.enigma.co>
- BrainVectis. Stephan Tual, Simon Jentzsch, Christoph Jentzsch. <https://slock.it>

## Tecnologías para identidades digitales seguras y privadas de fácil administración y despliegue

# 7.3

El crecimiento en cantidad de usuarios, servicios, medios de acceso a información y posibles riesgos personales y corporativos hace imperativa la existencia de tecnologías para representar identidad digital [Belk, 2013]. Es en este contexto que las tecnologías actuales adolecen de suficientes atributos de seguridad, de conveniencia para personas usuarias finales o de suficiente consistencia en medios de acceso.

Los factores de control de este reto se describen a continuación.

Diversidad en tipos y versiones de medios de acceso a identidades digitales.

Formatos criptográficos disponibles.

Regulaciones criptográficas locales y globales.

Patrones de comportamiento.

Enlaces de la cadena de custodia de la identidad.

## **Análisis factual de impacto**

La implementación de servicios integrados punto a punto de identidad digital es clave para aumentar la seguridad y conveniencia a lo largo de sistemas de información. Adicionalmente, mejores servicios de identidad que garanticen privacidad de la información permitirán proteger a las personas de usos indebidos de datos y tráfico de información.

## **Análisis contrafactual de impacto**

La carencia de este tipo de sistemas impacta negativamente en la seguridad informática gracias a la necesidad de contar con múltiples factores de autenticación separados, que conlleva conductas poco deseables de administración de credenciales.

### **Objetivo transformacional**

REK Es necesario determinar las condiciones que permiten una identidad digital universal y agnóstica de dispositivos capaz de garantizar privacidad de datos y su exposición mediante permiso explícito del propietario.

### **Objetivo de conocimiento**

CFR, CID Se requiere conocer las propiedades formales del trasiego de información parcialmente representada en sistemas distribuidos, así como una implementación que no dependa de arquitecturas específicas salvo para interconexión con sistemas particulares.

### **Métrica de impacto**

Cantidad de mecanismos de autenticación separados por persona usuaria de un sistema.

### **Mercado potencial estimado**

Se estima un valor de mercado de \$12.78 mil millones para el 2020.

### **Población objetivo**

Firmas que desarrollen sistemas distribuidos en múltiples dispositivos de acceso con intercambio de datos y acceso a funciones dependiente de perfiles.

## Brecha de realización plena

Los sistemas actuales carecen de un contexto suficiente basado en teoría de categorías, psicología cognitiva y complejidad computacional que permita robustez y efectividad.

## Brecha de adopción

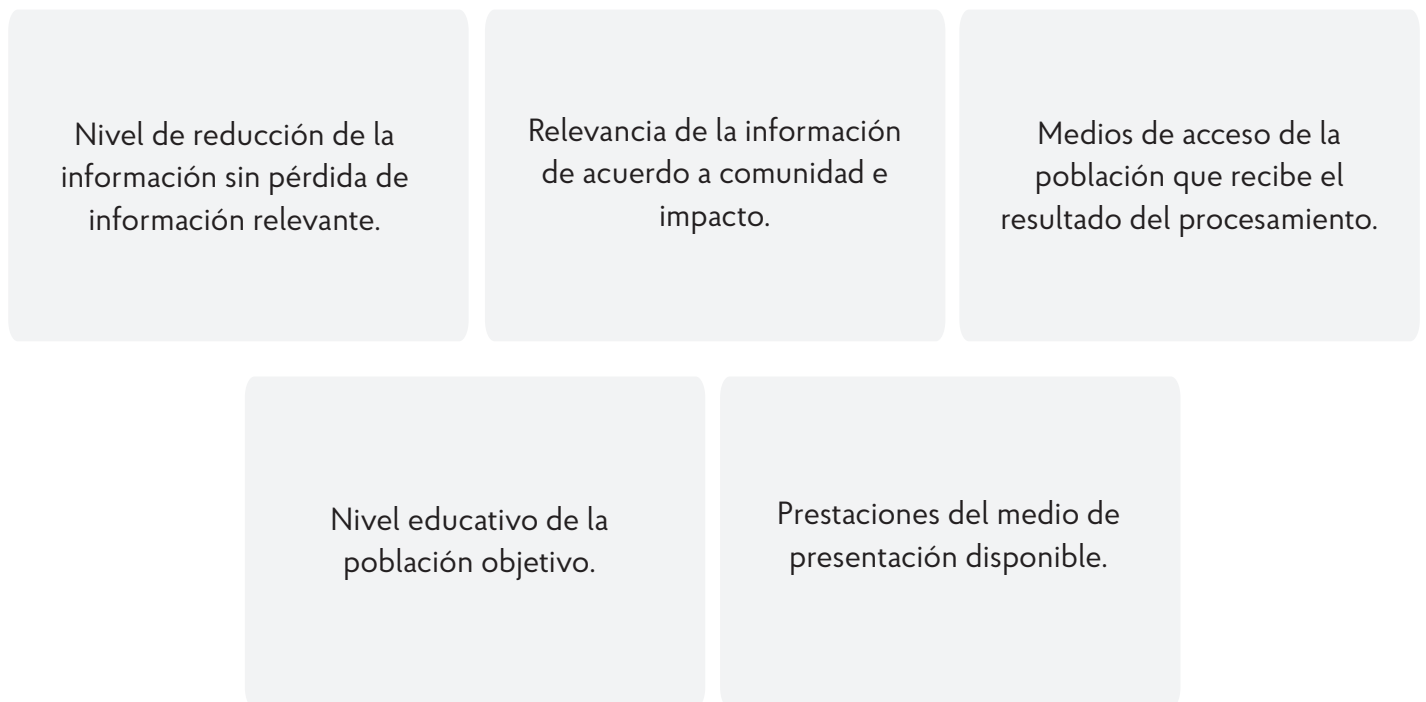
Las identidades digitales dependen de su facilidad de uso y robustez ante ataques para su adopción en contextos reales.

## Firmas comerciales arquetípicas

- Fedict. Frank Robben. <http://www.fedict.belgium.be/en>
- Clef. Grace Wong, Mark Hudnall. <https://getclef.com>
- Confirm.io. Walt Doyle. <https://www.confirm.io>

Gracias a nuevos requerimientos de transparencia en datos de sectores públicos y privados, los datos abiertos se han convertido en una forma estándar de exponer información para la verificación pública [Kitchin, 2014]. No obstante, los datos abiertos en sí mismos son insuficientes y requieren de un nivel interpretativo mayor [Johnson, 2014], conocido como Open Data 2.0 [Peled, 2013].

Los siguientes son factores de control para el desarrollo de emprendimientos en esta área.





## **Análisis factual de impacto**

Contar con datos abiertos cuya base sea interpretativa (no solamente de datos) incrementa la efectividad en los procesos de rendición de cuentas, base del proceso social y económico saludable.

## **Análisis contrafactual de impacto**

No contar con este tipo de infraestructura resultará en cantidades masivas de datos e información no interpretable para el público, con una consecuente disminución en la capacidad individual y colectiva de toma de decisiones.

### **Objetivo transformacional**

REK Es necesario encontrar mecanismos automatizados que reduzcan grandes conjuntos de datos a piezas de conocimiento que contengan el contexto necesario para la interpretación de los hechos que representan.

### **Objetivo de conocimiento**

CID A pesar de que las tecnologías particulares están disponibles, su integración mediante un diseño efectivo permanece ausente. Este reto está caracterizado por el desarrollo de tal infraestructura integrada.

### **Métrica de impacto**

Variación en índices de percepción de accesibilidad a datos y su interpretabilidad [Tomashek, 2013].

### **Mercado potencial estimado**

McKinsey estima un impacto del Open Data en diferentes áreas de mercado para 2020 hasta de \$5 millones de millones.

### **Población objetivo**

Organizaciones que requieren convertir sus procesos en actividades transparentes para sus clientes.

## Brecha de realización plena

La brecha actual corresponde a una carencia en motores interpretativos con capacidad de extraer representaciones compactas de datos e información tanto en forma individual como agregada.

## Brecha de adopción

Para su adopción, el factor esencial será la facilidad de integración con infraestructuras de datos existentes, así como el costo de desarrollo con tales frameworks.

## Firmas comerciales arquetípicas

- Datazar. Aman Tsegai. <https://www.datazar.com>
- OpenCorporates. Chris Taggart. <https://opencorporates.com>
- Milieu. Lee-Michael Pronko, Luisa Ji. <https://www.milieu.io>

## Tecnologías para el descubrimiento semántico automatizado de servicios digitales

# 7.5

Con el advenimiento de servicios Web masivos, se hace necesario proveer mecanismos inteligentes para descubrir aquellos que son más útiles para diversas tareas. Generalmente estos servicios se encuentran descritos por atributos (metadatos), pero su utilización se hace mediante código fuente que se escribe por programadores. Es necesario crear soluciones digitales que, mediante el uso de inteligencia artificial y procesamiento semántico de información, permitan crear de forma automatizada tuberías de servicios que aporten valor mediante una especificación de pasos o requisitos de tareas específicas [Chen et al., 2017]. La capacidad de agregar nuevos servicios digitales es crítica para la creación de valor ante el crecimiento de datos en todos los sectores.

A continuación, se enumeran los factores de control.

Cantidad y especificidad de los metadatos relacionados con los servicios.

Diversidad semántica del dominio de problema de los datos.

Nivel de procesamiento requerido para construir ontologías a partir de los datos.

## Análisis factual de impacto

La posibilidad de contar con flujos agregados de servicios de datos con meta-datos es indispensable para construir mecanismos basados en inteligencia artificial, analítica de datos y Big Data capaces de obtener conocimiento global acerca de situaciones de interés público y privado. En particular, el desarrollo de ciudades inteligentes depende de la reducción en el esfuerzo humano para asegurar que cualquier nuevo servicio sea integrado a análisis y revisión estratégica.

## Análisis contrafactual de impacto

El costo de integración de servicios web en un contexto de alta proliferación crece de manera polinomial o exponencial en el peor de los casos [Elgazzar,2014].

## Objetivo transformacional

REK La integración de servicios web mediante mecanismos semánticos automatizados es crítica para sostener capacidades analíticas a la par de las tendencias en crecimiento de datos.

## Objetivo de conocimiento

CPE Las tecnologías de integración de servicios y aprendizaje mecánico se encuentran disponibles desde hace una década para construcción de sistemas semánticos, pero el bajo éxito relativo debido a un ecosistema tecnológico incipiente desmotivó los desarrollos iniciales. Ante un contexto tecnológico distinto, la probabilidad de éxito aumenta de manera significativa.

## Métrica de impacto

Horas persona requerida para integrar un servicio web de datos o información a una arquitectura de conocimiento.

## Mercado potencial estimado

Se estima un mercado de \$30 mil millones en 2016.

## Población objetivo

Firmas de desarrollo de servicios web, firmas de desarrollo de inteligencia de negocios, firmas de consolidación de datos, sector financiero, sector biomédico.

## Brecha de realización plena

Existe una baja fertilización cruzada entre la investigación relacionada a inteligencia artificial, procesamiento de lenguaje natural y sistemas de inferencia de dominio específico con respecto a aplicaciones web dirigidas por contenido.

## Brecha de adopción

La adopción de estas tecnologías estará determinada por el tiempo de integración, facilidad de uso de las APIs y costo por transacción.

## Firmas comerciales arquetípicas

- Evri. Neil Roseman. <http://www.evri.com>
- JANZZ. Stefan Winzenried. <http://www.janzz.technology>
- Semantic Software. Mark Bradley. <http://www.semanticsoftware.com>

## Medios de transporte de datos en geografías adversas hacia una Internet resiliente y energéticamente efectiva

# 7.6

Salvo en geografías mayoritariamente planas, el transporte de datos de forma inalámbrica y por cableado requiere altos niveles de energía [Baliga et al., 2011] y riesgos de desconexión [Sterbenz et al., 2013], particularmente físicos. Varios de los riesgos incluyen desastres naturales [Cowie et al., 2005], acidificación del océano por cambio climático en cables submarinos [Carter et al., 2013] y error humano [Brown and Patterson, 2001].

Los factores de control para este reto se enumeran a continuación.

Medios de transporte y costo energético de envío de datos.

Probabilidad de materialización de eventos adversos.

Alternativas para mantener la conectividad en capas física y Ethernet.

## Análisis factual de impacto

Implementar soluciones tecnológicas resilientes permite disminuir el costo futuro de infraestructura de datos y telecomunicaciones. Adicionalmente, disminuir el costo energético permite alcanzar más rápidamente objetivos ambientales y aumentar la densidad de interconexión.

## Análisis contrafactual de impacto

Debido a que la Internet se ha convertido paulatinamente en infraestructura crítica en el mundo<sup>38</sup>, no atender esta situación incrementa el riesgo de interrupción masiva de la sociedad a futuro. En particular, el costo de aseguramiento de infraestructura aumenta a medida en que las redes crecen en tamaño y consumo de potencia eléctrica.

### Objetivo transformacional

REK Es necesario construir los mecanismos de adquisición de conocimiento que minimicen energía y riesgos mediante posicionamiento apropiado de infraestructura y selección del medio de transporte.

### Objetivo de conocimiento

CFR Es necesario determinar los elementos clave para implementación y posicionamiento de infraestructura de telecomunicaciones que minimice riesgo, latencia y consumo energético.

### Métrica de impacto

Tiempo promedio de fallo ponderado por consumo energético por unidad de infraestructura de Internet.

### Mercado potencial estimado

Se estima para el 2021 un mercado de infraestructura crítica de Internet de \$131.33 mil millones.

### Población objetivo

Operadores de telecomunicaciones, centros de operaciones de seguridad, centros de interconexión de tráfico.

## Brecha de realización plena

En la actualidad se desconocen varias propiedades fundamentales de sistemas masivamente distribuidos, y para aquellas que son conocidas, no existen mecanismos de evaluación suficientemente rigurosos con respecto a riesgo y energía.

## Brecha de adopción

La adopción de tecnología resiliente estará dada por factores de ancho de banda, latencia y costo de adquisición/mantenimiento.

## Firmas comerciales arquetípicas

- Indegy. Barak Perelman, Mille Gandelsman, Ido Trivizki. <https://www.indegy.com>
- CyberX. Omer Schneider, Nir Giller. <https://cyberx-labs.com/en/home>
- smartUC. Neil Yeoman. <http://www.smartuc.com>



## Diseño de hogares y espacios humanos de convivencia digitalmente integrados

# 7.7

El Internet de las Cosas (IoT) permite la integración entre dispositivos, obras civiles (hogares, edificios, infraestructura) y la Internet [Gubbi et al., 2013]. No obstante, esta tecnología aun es incipiente en sus niveles de integración y seguridad. Al considerar que una de las ventajas del desarrollo de la domótica al alcance de la ciudadanía puede ser una medida importante hacia la reducción de emisiones, contar con tecnologías accesibles es un factor central de éxito de este tipo de desarrollos [Batalla et al., 2016].

Los factores de control se enumeran a continuación.

Variables ambientales externas a una obra.

Variables internas debidas a selección de materiales.

Límites de consumo de recursos eléctricos e hídricos.

Patrones de comportamiento de usuarios del espacio en el tiempo.

## Análisis factual de impacto

La implementación de domótica provee un amplio rango de ventajas. Primero, ante una población con mayor expectativa de vida y posibles discapacidades, se convierte en un recurso indispensable para sostener funcionalidad e independencia. Segundo, permite conectar los sistemas locales con sistemas regionales para el establecimiento de políticas energéticas progresivas que no degraden la funcionalidad de los espacios ante ahorros. Tercero, tales implementaciones incrementan la plusvalía de las obras y puede reducir el costo de aseguramiento sobre bienes inmuebles.

## Análisis contrafactual de impacto

No desarrollar domótica de forma extendida, además de evitar la materialización de los impactos positivos anteriormente, reduce la efectividad de medidas automáticas que llevan a mejores políticas basadas en evidencia.

## Objetivo transformacional

REK, PED Es necesario integrar mecanismos de obtención de conocimiento con retroalimentación para las variables ambientales e internas que pueden ser sujetas a algoritmos de control automático, así como garantizar aprovechamiento de propiedades de los materiales utilizados que codifican información acerca del entorno de construcción de las obras arquitectónicas.

## Objetivo de conocimiento

CPE Se requiere mostrar integración de tecnologías disponibles en el mercado en productos tales que sea posible registrar y controlar todos los aspectos de una obra arquitectónica a través de sensores, procesamiento e identificación de políticas energéticas e hídricas de forma segura.

## Métrica de impacto

Porcentaje de funciones e infraestructura constructiva integrada a un ambiente digital por unidad arquitectónica.

## Mercado potencial estimado

Se estima un valor de mercado de \$78.27 mil millones para el año 2022.

## **Población objetivo**

Firmas de arquitectura e ingeniería civil, personas dueñas de unidades residenciales. Empresas constructoras.

## **Brecha de realización plena**

En la actualidad, las tecnologías necesarias para desarrollos en domótica existen sin una integración apropiada. Los diseños deben ser extensibles y basados en principios de eficiencia, seguridad y funcionalidad.

## **Brecha de adopción**

Para adopción de estos sistemas debe contarse con indicadores adecuados de factores de costo, seguridad de la información y calidad de la interfaz humano máquina.

## **Firmas comerciales arquetípicas**

- Insteon. Joe Dada. <http://www.insteon.com>
- GreenWave Systems. Peter Wilmar Christensen, Martin Manniche. <https://greenwavesystems.com>
- Vivint. Keith Nellesen, Todd Pedersen. <http://www.vivint.com>

## Mecanismos y tecnologías para manufactura digital de alta repetibilidad y velocidad

# 7.8

La manufactura digital utiliza información para dirigir la creación de nuevos objetos. No obstante, el reto actual consiste en alta repetibilidad en las partes manufacturadas a una alta velocidad [Swanson, 2017]. En especial, este reto se enfatiza con impresión mediante biomateriales. El proceso de innovación, agilizado mediante prototipado rápido, puede cambiar de manera radical especialmente para economías de renta media si se alcanzan estándares con tales propiedades [Hopkinson et al., 2006].

Los factores de control para este desarrollo son:

La disponibilidad de materiales con propiedades físico-químicas.

La modificabilidad de las propiedades físico-químicas en el momento de la manufactura.

La información representable por unidad de volumen.

El ancho de banda de transducción entre información y materia.

## Análisis factual de impacto

La manufactura digital puede permitir la creación de mercados basados en información de productos, así como en materiales para sustentar tales diseños. En particular, tiene el potencial de mover parte de la industria de consumo del prototipado rápido hacia la impresión directa de productos de consumo mediante principios de economía atómica [Rayna, 2016].

## Análisis contrafactual de impacto

La carencia de manufactura digital es un obstáculo para el desarrollo de una economía atómica donde los recursos materiales son limitados, e incluye una disminución en la velocidad de producción en el contexto de demanda actual.

### Objetivo transformacional

PED Es necesario contar con la capacidad de especificar mediante información una mayor cantidad de atributos de fabricación para ser materializados por procesos y tecnologías a una mayor velocidad y fiabilidad.

### Objetivo de conocimiento

CID No existe infraestructura que permita cumplir con las especificaciones de manufactura indicadas.

### Métrica de impacto

Variación en los resultados de la manufactura con respecto a tolerancias de un diseño en relación a tiempo de fabricación.

### Mercado potencial estimado

Se estima que para 2016 la manufactura digital sobrepasó la cifra de \$5.1 mil millones y se estima un valor de mercado de \$30.19 mil millones para 2022.

### Población objetivo

Empresas de manufactura, emprendedores que en la actualidad solamente se mantienen en espacios digitales.

## Brecha de realización plena

Es necesario encontrar los medios y tecnologías para garantizar que la deposición de los materiales ocurra dentro de la especificación del diseño. Específicamente, es indispensable contar con materiales cuya tasa de solidificación ocurra en tiempos inferiores a segundos.

## Brecha de adopción

Para asegurar rentabilidad, los costos tecnológicos y de insumos deben mantenerse en un rango accesible con respecto a las impresoras 3D actuales.

## Firmas comerciales arquetípicas

- Gizmo 3D Printers. Kobus du Toit. <http://www.gizmo3dprinters.com.au>
- Carbon 3D. Joseph DeSimone, Ph.D. <http://carbon3d.com>
- Voxel8. Jennifer A. Lewis, Ph.D. <http://www.voxel8.com>

## Desarrollo de robótica y automática post-Turing de propósito general

# 7.9

La robótica tradicional se enfoca en el uso de la lógica digital para codificar las respuestas y acciones de un robot ante distintos tipos de estímulos. Este tipo de desarrollo es costoso y generalmente depende de saltos en poder de procesamiento y hardware. Existe un área más general que la robótica, denominada la automática: la invención de mecanismos capaces de responder apropiadamente por sí mismos a distintas condiciones. La automática es tan antigua como la civilización occidental, y fue desarrollada antes de los mecanismos digitales. Un autómeta es un mecanismo que utiliza los mecanismos de la automática para actuar sin intervención humana. Es decir, es posible construir robots que aprovechen los principios de la automática sin sobrecargar el diseño digital.

La automática no digital permite, en muchos casos, resolver problemas de cómputo mediante el uso de principios físicos, químicos o mecánicos distintos a la electrónica (e.g. [Mojarrad and Shahinpoor, 1997]) para empotrar información acerca de la dinámica y la cinética de los artefactos, eliminando así una parte significativa del costo computacional y de fabricación [Kamm and Bashir, 2014]. A estos sistemas puede llamárselos post-Turing, en el sentido de que el cómputo no es el centro de la programación de sus funciones.

Los elementos de control para este tipo de desarrollo son:

Equilibrio entre información implícita en el diseño material y el sistema de programación.

Disponibilidad de materiales con memoria.

Equilibrios de materia y energía.

## Análisis factual de impacto

Contar con robots accesibles, reparables y ensamblables fácilmente a partir de un diseño desde nuevos principios estructurales haría factible abrir nuevos mercados en países en vías de desarrollo. Adicionalmente, la evolución gradual de sistemas post-Turing permite agregar incrementalmente funciones y el uso de química verde.

## Análisis contrafactual de impacto

Mantener una línea basada en la máquina de Turing y componentes inorgánicos extenderá la brecha de capacidades entre países de renta alta y países en desarrollo en robótica.

## Objetivo transformacional

REK, LEM, PED La integración de inteligencia en dispositivos físicos se encuentra en la intersección de los tres objetivos transformacionales. Esta tecnología es central para otros desarrollos en esta y otras áreas.

## Objetivo de conocimiento

CFR, CID, CPE Es necesario identificar nuevos principios físicos de almacenamiento de información en materia y energía. Con los principios existentes, es necesario crear infraestructura que sistematice el desarrollo de robots post-Turing.

## Métrica de impacto

Relación de costo y efectividad entre un robot tradicional y un robot post-Turing.

## Mercado potencial estimado

Se estima un mercado de robótica en 2019 de \$135 mil millones.

## Población objetivo

Industrias en donde la automatización de robótica es necesaria, pero la robótica convencional tiene un costo inaceptable.



## Brecha de realización plena

Es necesario asegurar en los sistemas actuales post-Turing propiedades deseables de efectividad, calidad y resiliencia. Adicionalmente, no existen suficientes mediciones de estos factores en casos de uso realistas.

## Brecha de adopción

La adopción de estos sistemas depende de los factores de resiliencia, calidad de respuesta y extensibilidad.

## Firmas comerciales arquetípicas

- Blue Workforce. Preben Hjørnet. <http://blueworkforce.com>
- Transcend Robotics. Phillip Walker, Andrew Ferguson. <http://transcendrobotics.com>
- Aquaai44. Simeon Pieterkosky. <http://aquaai.com>

## Producción de intelectos sintéticos de propósito general consistentes con sistemas éticos

# 7.10

El desarrollo de intelectos sintéticos de propósito general es un hito que puede transformar de manera radical el desarrollo económico de las naciones. En la actualidad, la carrera por conseguir este objetivo integra un estimado de 3000 empresas<sup>1</sup>. La inteligencia, definida como la capacidad de maximizar los grados de libertad de acción futura [Wissner-Gross and Freer, 2013], requiere ser consistente con sistemas éticos tendientes a preservar el bienestar de la especie.

En ese sentido, los siguientes son factores de control.

Acceso a dispositivos de interacción con el mundo exterior mediante sensores y actuadores.

Acceso a información en la forma de bases de datos, acceso en línea a la Internet.

Magnitud de los recursos de hardware necesarios para sostener procesos

<sup>1</sup> Estimado actualizado a partir de: <http://bit.ly/2kCZLgK>

## Análisis factual de impacto

La implementación de intelectos sintéticos, efectuada en el contexto de un sistema ético favorable para la condición humana, es crucial para dar pasos cualitativos (e.g. completar el conocimiento faltante de la relación entre el genoma y las ciencias ómicas de manera definitiva y exhaustiva, encontrar parámetros de diseño óptimos para sistemas de producción de energía) que puedan reducir problemas estructurales.

## Análisis contrafactual de impacto

La no implementación de intelectos sintéticos implica un avance lento en la solución de problemas cruciales para la supervivencia de la especie humana. La implementación de intelectos sintéticos sin normas éticas suficientes tiene un potencial de disrupción extenso sobre las actividades humanas.

## Objetivo transformacional

REK, PED Es necesario obtener una visión efectiva del significado de inteligencia (o habilidades cognitivas) que pueda ser sintetizada en hardware o software, cuyas inferencias sean consistentes con nociones éticas fundamentales asociadas a las actividades humanas.

## Objetivo de conocimiento

CFR, CID Se desconocen los mecanismos involucrados en la integración de intelectos sintéticos, así como de los mecanismos que permiten codificar normas en ellos.

## Métrica de impacto

Diferencia de la tasa de error entre un ser humano y una inteligencia artificial general por tarea específica.

## Mercado potencial estimado

Se estima un mercado de \$16 mil millones de dólares para 2022<sup>46</sup> y de \$8 millones de millones de dólares para 2035.

## Población objetivo

Cualquier conjunto de empresas cuyas tareas puedan ser sujetas a automatización. El Departamento de Trabajo de los Estados Unidos estima que un 47% de todas las labores no técnicas o con algún grado de tecnificación pueden ser reemplazadas por el trabajo de una inteligencia artificial no general, y hasta un 80% por una general de primera generación [Goranzon, 2012].

## Brecha de realización plena

La sistematización de sistemas éticos en inteligencia artificial es materia de debate intenso. Adicionalmente, a pesar de los esfuerzos realizados en el desarrollo de IBM Watson [Gliozzo, 2013], se desconoce si una inteligencia artificial general puede ser construida componente a componente o debe evolucionar en un entorno virtual.

## Brecha de adopción

La adopción de inteligencia artificial general requiere asegurar que el sistema de razonamiento producirá inferencias y acciones consistentes con principios de preservación de la vida y sistemas éticos [Armstrong, 2014] cercanos a aquellos descritos en la literatura de Isaac Asimov. Para estos fines, determinar un conjunto de pruebas es el reto más importante.

## Firmas comerciales arquetípicas

- Automated Insights. Robbie Allen. <https://automatedinsights.com>.
- SkyTree. Alexander Gray, Ph.D. <http://www.skytree.net>.
- Viv. Dag Kittlaus. <http://viv.ai>.

## Bibliografía

Ahmed,Rana and Aslani, Parisa. What is patient adherence? a terminology overview. *International journal of clinical pharmacy*, 36(1):4–7, 2014.

Altieri, Miguel A . The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 74(1):19–31, 1999.

Amoako-Gyampah,Kwasi and Acquah,Moses. Manufacturing strategy, competitive strategy and firm performance: An empirical study in a developing economy environment. *International Journal of Production Economics*, 111 (2):575–592, 2008.

An, Jihyun; Geib, Steven J and Rosi,Nathaniel L. High and selective co<sub>2</sub> uptake in a cobalt adeninate metal-organic framework exhibiting pyrimidine-and amino-decorated pores. *Journal of the American Chemical Society*, 132(1): 38–39, 2009.

Anderson, Traute-Heidi. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1):285–293, 2003.

Arvanitoyannis, Ioannis S. Totally and partially biodegradable polymer blends based on natural and synthetic macromolecules: preparation, physical properties, and potential as food packaging materials. 1999.

Aung, Myo Min and Chang, Yoon Seok. Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. *Food control*, 39:172–184, 2014.

Balandrin, Manuel F; Klocke, JA; Wurtele, Eve Syrkin and Bollinger, William Hugh. Natural plant chemicals: sources of industrial and medicinal materials. *Science (Washington)*, 228(4704):1154–1159, 1985.

Baliga, Jayant; Kerry Hinton, and Rodney S Tucker. Energy consumption of the Internet. University of Melbourne, Department of Electrical and Electronic Engineering, 2011.

Barney, Jay B; Ketchen, David J Jr; Wright, Mike; Sirmon, David G ; Hitt, Michael A; Ireland, R Duane and Gilbert, Brett Anitra. Resource orchestration to create competitive advantage: Breadth, depth, and life cycle effects. *Journal of management*, 37(5):1390–1412, 2011.

Batalla, Jordi Mongay; Mastorakis, George; Mavromoustakis, Constandinos X and Zurek,Jerzy. On cohabitating networking technologies with common wireless access for home automation system purposes. *IEEE Wireless Communications*, 23(5):76–83, 2016.

Belk, Russell W. Extended self in a digital world. *Journal of Consumer Research*, 40(3):477–500, 2013.

Bergeron, Chantal; Carrier, Danielle Julie and Ramaswamy, Shri. Biorefinery co-products: phytochemicals, primary metabolites and value-added biomass processing, volume 19. John Wiley & Sons, 2012.

Bhardwaj,Deepak; Ansari, Mohammad Wahid; Sahoo, Ranjan Kumar and Tuteja, Narendra. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial cell factories*, 13(1):66, 2014.

Binswanger,Hans P and Rosenzweig, Mark R. Behavioural and material determinants of production relations in agriculture. *The Journal of Development Studies*, 22(3):503–539, 1986.

Bohlmeijer,Ernst; Prenger, Rilana; Taal, Erik and Cuijpers, Pim. The effects of mindfulness-based stress reduction therapy on mental health of adults with a chronic medical disease: a meta-analysis. *Journal of psychosomatic research*, 68(6):539–544, 2010.

Bonenfant, Danielle; Kharoune, Lynda; Sauve, Sebastien; Hausler, Robert; Niquette, Patrick; Mimeault, Murielle and Kharoune, Mourad. Co2 sequestration potential of steel slags at ambient pressure and temperature. *Industrial & engineering chemistry research*, 47(20):7610–7616, 2008.

Brown, Aaron and Patterson, David A. To err is human. In *Proceedings of the First Workshop on evaluating and architecting system dependability (EASY'01)*, 2001.

Brown, Rebecca C; Lockwood, Alan H and Sonawane, Babasaheb R. Neurodegenerative diseases: an overview of environmental risk factors. *Environmental health perspectives*, pages 1250–1256, 2005.

Brown, Richard E. Impact of smart grid on distribution system design. In *Power and Energy Society General Meeting–Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 2008 IEEE, pages 1–4. IEEE, 2008.

Brownson, Dale AC; Kampouris, Dimitrios K and Banks, Craig E. An overview of graphene in energy production and storage applications. *Journal of Power Sources*, 196(11):4873–4885, 2011.

Buckles, Warren and Hassenzahl, William V. Superconducting magnetic energy storage. *IEEE Power Engineering Review*, 20(5):16–20, 2000.

Camarinha-Matos, Luis M; Afsarmanesh, Hamideh; Galeano, Nathalie and Molina,Arturo. Collaborative networked organizations–concepts and practice in manufacturing enterprises. *Computers & Industrial Engineering*, 57(1): 46–60, 2009.

Carter, Lionel; Burnett, Douglas and Davenport,Tara. The relationship between submarine cables and the marine environment. In *Submarine Cables*, pages 179–212. Brill, 2013.

Chakraborty, Jayajit; Tobin, Graham A and Montz, Burrell E. Population evacuation: assessing spatial variability in geophysical risk and social vulnerability to natural hazards. *Natural Hazards Review*, 6(1):23–33, 2005.

Chan, Ricky R; Chua, Liza and Tjahjowidodo, Tegoeh. Enabling technologies for sustainable all–electric hybrid vessels. In *Sustainable Energy Technologies (ICSET)*, 2016 IEEE International Conference on, pages 401–406.

IEEE, 2016.

Chen, Shu-yong; Song, Shu-fang; Li, Lan-xin and Shen, Jie. Survey on smart grid technology [j]. *Power System Technology*, 8:1–7, 2009.

Chenghua Lu, Fuzan Chen; Wu, Harris and Li, Minqiang. A semantic similarity measure integrating multiple conceptual relationships for web service discovery. *Expert Systems with Applications*, 67:19–31, 2017.

Cherubini, Francesco. The biorefinery concept: using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 51 (7):1412–1421, 2010.

Cowie, James; Popescu, Alin and Underwood, Todd. Impact of hurricane Katrina on internet infrastructure. Report, Renesys, 2005.

Crespi, Gustavo and Zuniga, Pluvia. Innovation and productivity: evidence from six Latin American countries. *World development*, 40(2):273–290, 2012.

Cuellar-Bermudez, Sara P; Aguilar-Hernandez, Iris; Cardenas-Chavez, Diana L; Ornelas-Soto, Nancy; Romero-Ogawa, Miguel A and Parra-Saldivar, Roberto. Extraction and purification of high-value metabolites from microalgae: essential lipids, astaxanthin and phycobiliproteins. *Microbial bio-technology*, 8(2):190–209, 2015.

Davis, Karen; Schoenbaum, Stephen C and Audet, Anne-Marie. A 2020 vision of patient-centered primary care. *Journal of general internal medicine*, 20 (10):953–957, 2005.

Deblonde, Tiphanie; Cossu-Leguille, Carole and Hartemann, Philippe. Emerging pollutants in wastewater: a review of the literature. *International journal of hygiene and environmental health*, 214(6):442–448, 2011.

Dillard, Cora J and German, J Bruce. Phytochemicals: nutraceuticals and human health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(12):1744–1756, 2000.

Engel, Gregory S; Calhoun, Tessa R; Read, Elizabeth L; Ahn, Tae-Kyu; Mancal, Tomáš; Cheng, Yuan-Chung; Blankenship, Robert E and Fleming, Graham R. Evidence for wavelike energy transfer through quantum coherence in photosynthetic systems. *Nature*, 446(7137):782–786, 2007.

Ferreira, Gustavo FC and Harrison, R Wes. From coffee beans to microchips: export diversification and economic growth in Costa Rica. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 44(04):517–531, 2012

Frank, DN. Growth and development symposium: Promoting healthier humans through healthier livestock: Animal agriculture enters the metagenomics era. *Journal of animal science*, 89(3):835–844, 2011.

Freidberg, Jeffrey P. Plasma physics and fusion energy. Cambridge university press, 2008.

Giuliani, Elisa. Multinational corporations and patterns of local knowledge transfer in costa rican high-tech industries. *Development and Change*, 39(3): 385–407, 2008.

- Gleick, Peter H. Water and conflict: Fresh water resources and international security. *International security*, 18(1):79–112, 1993.
- Gubbi, Jayavardhana; Buyya, Rajkumar; Marusic, Slaven and Palaniswami, Marimuthu. Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7):1645–1660, 2013.
- Hopkinson, Neil; Hague, Richard and Dickens, Philip. *Rapid manufacturing: an industrial revolution for the digital age*. John Wiley & Sons, 2006.
- Jensen, Robert T. Information, efficiency, and welfare in agricultural markets. *Agricultural Economics*, 41(s1):203–216, 2010.
- Jin, T and Zhang, Howard. Biodegradable polylactic acid polymer with nisin for use in antimicrobial food packaging. *Journal of Food Science*, 73(3): M127–M134, 2008.
- Johnson, Jeffrey Alan. From open data to information justice. *Ethics and Information Technology*, 16(4):263–274, 2014.
- Joshi, Lokesh and Lopez, Linda C. Bioprospecting in plants for engineered proteins. *Current opinion in plant biology*, 8(2):223–226, 2005.
- Kalia, Madhu. Assessing the economic impact of stress -- the modern day hidden epidemic. *Metabolism*, 51(6):49–53, 2002.
- Kamm, Roger D and Bashir, Rashid. Creating living cellular machines. *Annals of biomedical engineering*, 42(2):445–459, 2014.
- Kardas, Przemyslaw; Lewek, Pawel and Matyjaszczyk, Michal. Determinants of patient adherence: a review of systematic reviews. *Frontiers in pharmacology*, 4:91, 2013.
- Kitchin, Rob. *The data revolution: Big data, open data, data infrastructures and their consequences*. Sage, 2014.
- Klerkx, Laurens and Leeuwis, Cees. Balancing multiple interests: Embedding innovation intermediation in the agricultural knowledge infrastructure. *Tech- novation*, 28(6):364–378, 2008.
- Kohler, Christian; Laredo, Philippe and Rammer, Christian. The impact and effectiveness of fiscal incentives for r&d. *Compendium of Evidence on the effectiveness of Innovation Policy*, 2012.
- Koroneos, Christopher; Spachos, Thomas and Moussiopoulos, Nikolaos. Exergy analysis of renewable energy sources. *Renewable energy*, 28(2):295–310, 2003.
- Kristin, Aleklett and Miranda, Hart. The root microbiota—a fingerprint in the soil? *Plant and soil*, 370(1-2):671–686, 2013.



- Mariani, Giulio; Benfenati, Emilio; Fanelli, Roberto; Nicoli, Andrea; Bonfitto, Emanuele and Jacopone, Sergio. Incineration of agro-industrial wastes and macro-and micropollutants emission. *Chemosphere*, 24(11):1545–1551, 1992.
- Mattila, Juri et al. The blockchain phenomenon—the disruptive potential of distributed consensus architectures. Technical report, The Research Institute of the Finnish Economy, 2016.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones de Costa Rica. Informe de indicadores de ciencia, tecnología e innovación 2013, 2015a.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones de Costa Rica. Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e innovación 2015-2021, 2015b.
- Mittler, Ron and Blumwald, Eduardo. Genetic engineering for modern agriculture: challenges and perspectives. *Annual review of plant biology*, 61:443–462, 2010.
- Mojarrad, Mehran and Shahinpoor, Mohsen. Biomimetic robotic propulsion using polymeric artificial muscles. In *Robotics and Automation, 1997. Proceedings., 1997 IEEE International Conference on*, volume 3, pages 2152–2157. IEEE, 1997.
- Monge-González, Ricardo; Rivera, Luis and Rosales-Tijerino, Julio. Productive development policies in Costa Rica: Market failures, government failures, and policy outcomes. 2010.
- Monge-González, Ricardo and Torres-Carballo Federico. The dynamics of entrepreneurship in Costa Rica: An analysis of firm entry, exit, and growth rates. Technical report, Inter-American Development Bank, 2015.
- Müller, Christina A; Obermeier, Melanie M and Berg, Gabriele. Bioprospecting plant-associated microbiomes. *Journal of biotechnology*, 235:171–180, 2016.
- Nóbrega Alves, Rómulo Romeu and Albuquerque, Ulysses Paulino. Animals as a source of drugs: bioprospecting and biodiversity conservation. In *Animals in Traditional Folk Medicine*, pages 67–89. Springer, 2013.
- Nordgren, Isabelle and Wilde, Emma. Outgrowing the herd: Internationalization as a growth strategy for Swedish gazelle companies, 2016.
- Oksman-Caldentey, Kirsi-Marja and Inzé, Dirk. Plant cell factories in the post-genomic era: new ways to produce designer secondary metabolites. *Trends in plant science*, 9(9):433–440, 2004.
- Orozco, Jeffrey and Ruiz, Keynor. Quality of interactions between public research organisations and firms: lessons from Costa Rica. *Science & Public Policy (SPP)*, 37(7), 2010.
- P Chandra, S Sinha, and UN Rai. Bioremediation of chromium from water and soil by vascular aquatic plants. ACS Publications, 1997.

- P Garbeva, JA Van Veen, and JD Van Elsas. Microbial diversity in soil: selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 42:243–270, 2004.
- Pachauri, Rajendra K; Meyer, Leo; Plattner, Gian-Kasper; Stocker, Thomas et al. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, 2015.
- Padilla-Pérez, Ramón and Gaudin, Yannick. Science, technology and innovation policies in small and developing economies: The case of Central America. *Research Policy*, 43(4):749–759, 2014.
- Paus, Eva A and Gallagher, Kevin P. Missing links: Foreign investment and industrial development in Costa Rica and Mexico. *Studies in Comparative International Development*, 43(1):53–80, 2008.
- Peled, Alon. Re-designing open data 2.0. In *Conference for E-Democracy and Open Government*, page 243, 2013.
- Petak, William J. Emergency management: A challenge for public administration. *Public Administration Review*, 45:3–7, 1985.
- Pieterse, Corné MJ; de Jonge, Ronnie and Berendsen, Roeland L. The soil-borne supremacy. *Trends in plant science*, 21(3):171–173, 2016.
- Poulton, Colin; Dorward, Andrew and Kydd, Jonathan. The future of small farms: New directions for services, institutions, and intermediation. *World Development*, 38(10):1413–1428, 2010.
- Rahman, Md Arafat; Wang, Xiaojian and Wen, Cuie. A review of high energy density lithium–air battery technology. *Journal of Applied Electrochemistry*, 44(1):5–22, 2014.
- Regnault-Roger, Catherine; Vincent, Charles and Arnason, John Thor. Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. *Annual review of entomology*, 57:405–424, 2012.
- Roca, Ignasi; Akova, Murat; Baquero, F; Carlet, Jean; Cavalieri, Marco; Coenen, Samuel; Cohen, J; Findlay, D; Gyssens, Inge; Heur, OE et al. The global threat of antimicrobial resistance: science for intervention. *New microbes and new infections*, 6:22–29, 2015.
- Sánchez-Ancochea, Diego. State, firms and the process of industrial upgrading: Latin America's variety of capitalism and the Costa Rican experience. *Economy and Society*, 38(1):62–86, 2009.
- Sassi, Franco; Devaux, Marion; Cecchini, Michele and Rusticelli, Elena. The obesity epidemic: analysis of past and projected future trends in selected OECD countries. 2009.
- Satyanarayana, Tulasi; Bhavdesh, Narain Johri and Prakash, Anil. *Microorganisms in sustainable agriculture and biotechnology*. Springer Science & Business Media, 2012.

Schmidhuber, Josef and Tubiello, Francesco N. Global food security under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50):19703–19708, 2007.

Schwartz, Michael. A control group study of incubators' impact to promote firm survival. *The Journal of Technology Transfer*, 38(3):302–331, 2013.

Scott, Norman and Chen, Hongda. Nanoscale science and engineering for agriculture and food systems. *Industrial Biotechnology*, 9(1):17–18, 2013.

Shukla, AK; Sampath, S and Vijayamohan, K. Electrochemical super-capacitors: Energy storage beyond batteries. *CURRENT SCIENCE- BANGALORE-*, 79(12):1656–1661, 2000.

Siracusa, Valentina; Rocculi, Pietro; Romani, Santina and Dalla Rosa, Marco. Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 19(12):634–643, 2008.

Sireé, Ignasi; Brillas, Enric; Oturan, Mehmet A; Rodrigo, Manuel A and Panizza, Marco. Electrochemical advanced oxidation processes: today and tomorrow. a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(14): 8336–8367, 2014.

Steinhubl, Steven R; Muse, Evan D and J Topol, Eric. The emerging field of mobile health. *Science translational medicine*, 7(283):283rv3–283rv3, 2015.

Sterbenz, James P.G.; Çetinkaya, Egemen K; Hameed, Mahmood A.; Qian Shi, Abdul Jabbar; Rohrer, Justin. P. Evaluation of network resilience, survivability, and disruption tolerance: analysis, topology generation, simulation, and experimentation. *Telecommunication systems*, 52(2):705–736, 2013.

Swan, Melanie. Health 2050: The realization of personalized medicine through crowdsourcing, the quantified self, and the participatory biocitizen. *Journal of personalized medicine*, 2(3):93–118, 2012.

Swanson, David. The impact of digitization on product offerings: Using direct digital manufacturing in the supply chain. In *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences*, 2017.

Tammela, Petter; Olsson, Henrik; Strømme Maria and Nyholm, Leif. The influence of electrode and separator thickness on the cell resistance of symmetric cellulose–polypyrrole-based electric energy storage devices. *Journal of Power Sources*, 272:468–475, 2014.

Tilman, David; Cassman, Kenneth G; Matson, Pamela A; Naylor, Rosamond and Polasky, Stephen. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898):671–677, 2002.

Townsend, Anthony M. *Smart cities: Big data, civic hackers, and the quest for a new utopia*. WW Norton & Company, 2013.

UN General Assembly. *Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development*. New York: United Nations, 2015.

- van Dam, Jan EG; de Klerk-Engels, Barbara; Struik, Paul C and Rabbinge, Rudy. Securing renewable resource supplies for changing market demands in a bio-based economy. *Industrial crops and products*, 21(1):129–144, 2005.
- Venayagamoorthy, Ganesh Kumar. Dynamic, stochastic, computational, and scalable technologies for smart grids. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 6(3):22–35, 2011.
- Ventola, Lee. Mobile devices and apps for health care professionals: uses and benefits. *PT*, 39(5):356–364, 2014.
- Veziroğlu, T Nejat; Sahi, Sü mer et al. 21st century's energy: Hydrogen energy system. *Energy conversion and management*, 49(7):1820–1831, 2008.
- von Mutius, Erika. Influences in allergy: epidemiology and the environment. *Journal of allergy and clinical immunology*, 113(3):373–379, 2004.
- Wardle, David A; Bardgett, Richard D; Klironomos, John N; Setälä, Heikki; Van Der Putten, Wim H and Wall, Diana H. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 304(5677):1629–1633, 2004.
- Watanabe, Hiroki; Fujimura, Shigeru; Nakadaira, Atsushi; Miyazaki, Yasuhiko; Akutsu, Akihito and Kishigami, Jay Junichi. Blockchain contract: A complete consensus using blockchain. In *2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, pages 577–578. IEEE, 2015.
- Wendell, David. Engineering molecular efflux pumps for bioremediation of groundwater. In *2013 NGWA Summit—The National and International Conference on Groundwater*. Ngwa, 2013.
- Wissner-Gross, Alexander D and Freer, Cameron E. Causal entropic forces. *Physical review letters*, 110(16):168702, 2013.
- World Health Organization et al. *Antimicrobial resistance global report on surveillance: 2014 summary*. 2014.
- World Health Organization. *The world health report 2013. research for universal health coverage*. Geneva: Who; 2013, 2014.
- Wu, Mingbo; Ai, Peipei; Tan, Minghui; Jiang, Bo; Li, Yanpeng; Zheng, Jingtang; Wu, Wenting; Li, Zhongtao; Zhang, Qinhui and He, Xiaojun. Synthesis of starch-derived mesoporous carbon for electric double layer capacitor. *Chemical Engineering Journal*, 245:166–172, 2014.
- Xu, XM and He, R. Research on the heat dissipation performance of battery pack based on forced air cooling. *Journal of Power Sources*, 240:33–41, 2013.
- Zattoni, Alessandro and Cuomo, Francesca. Why adopt codes of good governance? a comparison of institutional and efficiency perspectives. *Corporate Governance: An International Review*, 16(1):1–15, 2008.

# PITS



## Facilitan:

AUGE  
PROINNOVA  
IMPULSA  
CONARE  
FUNDACIÓN UCR  
MICITT, MEIC, COMEX, MCJ,  
CICR, CACIA, CAMTIC, CNAA,  
CR-BIOMED  
PROCOMER  
Veritas  
...

[www.pits.cr](http://www.pits.cr) • 2511-1334