

Mercados y Negocios

1665-7039 impreso

2594-0163 electrónico

Año 22, número. 43, enero-junio, 2021

Ecosistemas de innovación contra el coronavirus SRAS-CoV: industria farmacéutica

*Innovation Ecosystems against SARS-CoV Coronavirus: Pharmaceutical
Industry*

Manuel Gerardo Chávez Angeles
Universidad de la Sierra Sur (México)
<https://orcid.org/0000-0002-4287-6532>
mchavez@unsis.edu.mx

Recibido: julio 14, 2020

Aceptado: noviembre 24, 2020

RESUMEN

El artículo utiliza teoría de juegos para realizar un análisis situacional de la investigación y desarrollo (I+D) de tratamientos contra el coronavirus SRAS-CoV. Se demuestra que los rendimientos crecientes en las TIC impulsan la demanda de otros bienes como las medicinas, pero no su producción. La complejidad bioeconómica ocasiona una falla de mercado con la virtual desaparición de la industria farmacéutica, lo que requiere de la intervención del gobierno en la creación de una política industrial en el sector farmacéutico. Se propone plantear una política farmacéutica nacional (PFN) que no se base, exclusivamente, en el mercado. Es necesaria la inversión pública para la creación de una Academia de Medicina Tradicional Mexicana y la búsqueda de soluciones de gobierno electrónico que implemente un sistema farmacéutico basado en el Internet de las Cosas Médicas (IoMT por sus siglas en inglés).

Palabras clave: bioeconomía; complejidad; coronavirus; teoría de juegos; vacunas.

Códigos JEL: C73; D20; F12; I11; L16; O31; O32; Q57.



ABSTRACT

The article uses game theory to make a situational analysis of research and development (R&D) for treatments against the coronavirus SARS-CoV. The bioeconomic complexity causes a market failure with the virtual disappearance of the pharmaceutical industry. This requires government intervention for the implementation of a pharmaceutical industrial policy. The paper proposes the design and enactment of a National Pharmaceutical Policy (NPP) not based exclusively in the market. It proposed the creation of a National Academy of Mexican Traditional Medicine and the implementation of e-government solutions based on the Internet of Medical Things (IoMT)

Key words: bioeconomics; complexity; coronavirus; game theory; vaccines.

JEL CODE: C73; D20; F12; I11; L16; O31; O32; Q57

INTRODUCCIÓN

El síndrome respiratorio agudo grave (SRAS) es una enfermedad respiratoria viral causada por un coronavirus asociado al SRAS (SRAS-CoV). El SRAS fue identificado por primera vez en Asia en febrero de 2003. A los pocos meses, el virus se había esparcido en más de 24 países en Norteamérica, Sudamérica, Europa y Asia. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), hasta julio de 2003 se habían identificado 8,439 personas infectadas, y 812 personas muertas por causa del SRAS (OMS, 2003). Para junio de 2003 se habían presentado en México 20 casos sospechosos en los estados de Jalisco, México, Morelos, Nuevo León, Querétaro y el Distrito Federal, sin embargo, todos los casos fueron descartados tras su detección y referencia a los hospitales de concentración designados en cada entidad para ello (Kuri & Santos, 2003). Hasta la fecha no hay una vacuna contra el SRAS-CoV.

En 2019 el virus causante del SRAS tuvo una mutación. El nuevo virus ha sido llamado SRAS-CoV-2, causante de la enfermedad denominada COVID. Notificado por primera vez el 31 de diciembre de 2019, el SRAS-CoV-2 se esparció desde Wuhan, China. El 11 de marzo del 2020 la Organización Mundial de la Salud (OMS) declara el brote de la enfermedad COVID19 causada por el nuevo coronavirus SRAS-CoV-2 una pandemia global (OMS, 2020). Al 6 de julio del 2020 había confirmados un total de 11, 520, 461 personas infectadas y 535, 499 personas muertas, alrededor de 188 países. A la misma fecha en México había 256, 848 personas infectadas y 30, 639 personas muertas (Hopkins, 2020).

27

Utilizando la teoría de juegos, se presenta un análisis situacional de la investigación y desarrollo (I+D) del tratamiento y vacuna contra el coronavirus SRAS-CoV a distintos niveles. En primer lugar, se presenta un modelo de la dinámica viral del coronavirus. Se explica que, dependiendo de la estrategia de adaptación genética, el virus puede mutar hacia una forma con mayores tasas de infectividad y letalidad; o volverse menos dañino para el ser humano.

En segundo lugar, se presenta un análisis microeconómico sobre las decisiones de inversión en I+D de las empresas farmacéuticas. Se explican los tipos de incentivos que se hacen necesarios ante los cambios de la demanda por una vacuna contra el coronavirus. En tercer lugar, se presenta un análisis macroeconómico utilizando un modelo de comercio internacional de Heckscher-Ohlin y un modelo estándar de comercio con dos bienes y dos insumos, medicinas y tecnologías de la información y comunicación (TIC) y conocimiento e información respectivamente.

Recientemente se ha comprobado que dichos modelos de comercio internacional pueden presentar resultados complejos (Wilkens, 2009). El caso aquí analizado considera que las tecnologías de la información y comunicación (TIC), en particular a través del IoMT (Internet of Medical Things), constituye un conjunto de productos tecnológicamente cercano al conjunto de productos de la industria farmacéutica. Bajo el supuesto de rendimiento decrecientes a escala se encuentra un equilibrio que depende del nivel de precios y requerimientos tecnológicos. No obstante, es un supuesto poco realista. Por un lado, la información y el conocimiento como insumos suelen tener rendimientos crecientes a escala; por otro, se encuentran en espacios de posibilidades de producción no convexos. Es decir, distintos conocimientos e informaciones no son perfectos sustitutos en la producción de distintos productos. Lo que sugiere la existencia de complejidad económica.

ANÁLISIS DE LA TEORÍA: LA TEORÍA DE JUEGOS EN EL ESTUDIO DE LA COMPLEJIDAD BIOECONÓMICA

28

La teoría de juegos es una herramienta matemática muy útil para captar la interacción entre genes, individuos, empresas y países, cuando el comportamiento de cada uno de los “jugadores” tiene efecto sobre los demás. Asimismo, la teoría de juegos es muy útil en biología para captar la co-evolución genética. Es una forma de modelar la interacción estratégica entre distintos “jugadores” desde el nivel molecular hasta el nivel macroeconómico (Kreps, 1991; Nowak, 2006).

Uno de los conceptos fundamentales en la teoría de juegos es el de equilibrio de Nash. John Nash desarrolló esta idea que puede describirse de la siguiente manera: un equilibrio de Nash es una estrategia que tiene la propiedad de que ningún jugador puede obtener mejores resultados siguiendo una estrategia alternativa, suponiendo que los demás jugadores no cambiarán su estrategia. Un equilibrio de Nash implica que todos los actores siguen su estrategia de manera simultánea (Kreps, 1991).

En relación a los distintos tipos de juegos es necesario no confundir los conceptos de la economía y la biología. Mientras que en economía llamamos estrategias dominantes a las acciones que conducen a un equilibrio de Nash; en biología llamamos estrategias evolutivamente estables a las acciones que conducen al equilibrio de Nash. Los actores económicos toman decisiones racionales, mientras que los organismos biológicos se adaptan al medio ambiente y mutan. En ambos tipos de juegos, no obstante, se trata de modelar el comportamiento optimizador de individuos, empresas o genes y se puede evaluar los resultados en términos de su eficiencia en el uso de recursos. No obstante, habrá situaciones, en ocasiones las más interesantes, donde las decisiones simultáneas de diversos jugadores conducirán a resultados sub-óptimos.

ANÁLISIS METODOLÓGICO

Dinámica viral y niveles de bioseguridad

La teoría de la transición epidemiológica (Omran, 1971) sostiene que las personas en países desarrollados han tenido una transición en sus causas de muerte de enfermedades infecciosas a enfermedades crónico-degenerativas. La misma teoría predecía que en el futuro la humanidad en su conjunto, al aumentar los niveles de desarrollo económico, tendría la misma transición dejando atrás las enfermedades infecciosas y muriendo de diabetes, cáncer, etc. Las enfermedades infecciosas entonces eran vistas si no como cosa del pasado, al menos como un problema de los pobres. Las expectativas creadas por la teoría de la transición epidemiológica llevaron a la industria y sector público de la salud a concentrar sus esfuerzos en la atención a la diabetes, cancer, alzheimer, etc. A la luz de la actual pandemia de COVID-19 y siguiendo la lógica epistemológica propuesta por Karl Popper (1962) es posible falsear la teoría de la transición epidemiológica, es decir, se puede declarar como falsa. Esto convierte a la investigación sobre la dinámica viral de las enfermedades infecciosas en una cuestión de vida o muerte.

29

El coronavirus SRAS-CoV ha tenido por lo menos dos cepas que han migrado de animales a humanos, muy probablemente a través del consumo de carne silvestre. Aquí les llamaremos SRAS-CoV-1 y SRAS-CoV-2. El SRAS-CoV-1 fue causante de la pandemia de 2003 y no se le atribuyó gran poder pandémico. Para junio de ese año la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaraba que se había podido erradicar dicho virus de los seres humanos (OMS, 2003) y la búsqueda de cualquier vacuna se abandonó por falta de casos. Casi dos décadas después, en 2019, dicho coronavirus mutó al SRAS-CoV-2. Este último tendría una mayor tasa de infectividad, aunque ambos virus tienen nivel de bioseguridad tipo 2 (BSL-2 por sus siglas en inglés) (CDC, 2003).

El nivel de bioseguridad esta relacionado con su tasa de letalidad. Es decir, qué tan mortal es para los seres humanos. Sobre las condiciones que explican el nivel de letalidad de un virus podemos mencionar al menos dos teorías. Por un lado, Jared Diamond (1999) considera que el nivel de bioseguridad esta relacionado con la co-evolución del virus con los seres humanos. Según Diamond (1999), mientras más tiempo haya pasado un virus conviviendo con los seres humanos estaría mejor adaptado y, por lo tanto, sería más letal. Es una visión que podríamos denominar como el virus predador (Diamond, 1999). Por su parte Peter Piot (Edx, 2015), considera que un virus que mata a sus huéspedes se encuentra deficientemente adaptado ya que lo que necesita es mantener vivo el organismo de su huésped para poder continuar

Ecosistemas de innovación contra el coronavirus SRAS-CoV: industria farmacéutica

teniendo un suministro de células recién nacidas. A esta teoría se le podría llamar el virus simbiótico (EdX, 2015). Ninguna de estas teorías ha sido aún falseada; es decir, ninguna ha sido declarada falsa.

En términos de la dinámica evolutiva del SRAS-CoV se podría expresar en su forma normal de la siguiente manera (Tabla 1):

Tabla 1. Forma normal de la evolución del SRAS-CoV

		Virus 2	
		Predador (Diamond)	Simbiótico (Piotr)
Virus 1	Predador (Diamond)	N/V, N/V	N, 0
	Simbiótico (Piotr)	0, N	N, N

Fuente: elaboración propia.

La Estrategia Evolutivamente Estable (EEE) será aquella que permita una mejor adaptación del virus. En el caso del modelo mostrado en la tabla 1, hay dos equilibrios de Nash (sombreados) que constituirían EES: predador-predador y simbiótico-simbiótico. Por lo pronto, los niveles de bioseguridad del SRAS-CoV-1 y el SRAS-CoV-2 son muy similares, ambos virus son BSL-2. Ambos tienen niveles de letalidad relativamente bajos. Podríamos decir que se encuentran en la EES (simbiótico, simbiótico). Esto no garantiza que el virus no cambie su EES en el futuro, y mute aumentando sus niveles de infectividad y/o letalidad.

30

El modelo microeconómico: La complejidad de la investigación y desarrollo (I+D)

Supongamos dos compañías farmacéuticas toman decisiones de inversión en investigación y desarrollo (I+D). Deben decidir entre buscar el tratamiento de una enfermedad con un alto valor de mercado como el Alzheimer o una de bajo valor como el SARS. La tabla 2 muestra la forma normal de un juego que representa dichas decisiones de inversión.

Tabla 2. Juego de I+D de la vacuna contra el SRAS-CoV

		Empresa 2	
		Alzheimer	SRAS
Empresa 1	Alzheimer	$Q_A/2, Q_A/2$	Q_A, Q_{SRAS}
	SRAS	Q_{SRAS}, Q_A	$Q_{SRAS}/2, Q_{SRAS}/2$

Fuente: elaboración propia.

Con un valor de mercado equivalente donde $Q_A=Q_{SRAS}$ la estrategia dominante es que una empresa produzca tratamientos contra el Alzheimer y otra compañía produzca tratamientos contra el SARS (los equilibrios de Nash se muestran en las celdas sombreadas).

MERCADOS y Negocios

Por su parte, si el valor de la demanda por el tratamiento contra el Alzheimer es mayor que el valor de mercado del tratamiento contra el SARS, ambas empresas invertirán en el tratamiento contra el Alzheimer. Antes de la pandemia de COVID19, el Alzheimer era la demencia mas común entre adultos mayores, sobre todo en países desarrollados. Se estima que en 2010, 46.8 millones de personas alrededor del mundo tenían demencia con un costo total de 818 mil millones de dólares. Para 2030 se estimaba que 74.4 millones de personas tendrían demencia a nivel mundial y el costo de cuidar de estas personas podría llegar a los 2 billones de dólares. En la ausencia de terapias efectivas, se estima que el número de personas con demencia podría haber alcanzado los 131.5 millones para 2050 (Regmi *et al.*, 2014).

En nuestro modelo suponemos que antes de la pandemia de COVID19 el valor de la demanda para tratamientos contra el Alzheimer era un cierto número de veces mayor que el valor de la demanda para tratamientos contra el SARS: $Q_A = aQ_{SRAS}$. La tabla 3 muestra la forma normal del juego con estos valores.

Tabla 3. Juego de I+D de la vacuna contra el SRAS-CoV

		Empresa 2	
		Alzheimer	SRAS
Empresa 1	Alzheimer	$aQ_{SRAS}/2, aQ_{SRAS}/2$	aQ_{SRAS}, Q_{SRAS}
	SRAS	Q_{SRAS}, aQ_{SRAS}	$Q_{SRAS}/2, Q_{SRAS}/2$

Elaboración propia.

Cuando $a > 2$ la estrategia dominante de ambas compañías es invertir en I+D para un tratamiento contra el Alzheimer (el equilibrio de Nash se muestra en la celda sombreada). El resultado es un mercado incompleto de I+D en tratamientos contra el SRAS.

En este sentido, se hacen necesarios incentivos a la I+D para encontrar un tratamiento contra el SRAS. La literatura documenta al menos dos tipos de incentivos: empuje (ej. subsidios, condonación de impuestos); y jale (ej. premios, compra de patentes, compromiso de compra anticipada). Ambos tipos de incentivos difieren en la focalización de insumos o de productos, respectivamente. Mientras que los incentivos de empuje subsidian insumos de la I+D, los de jale premian los resultados de la I+D (Anderson & Mueller, 2017).

La tabla 4 muestra un subsidio (S_{SRAS}) que empuja la I+D, donde la búsqueda de una vacuna contra el SRAS-CoV es subsidiada. El monto del subsidio para generar I+D en SRAS debe de ser:

$$(1) S_{SRAS} > [(2a-1)/2] * Q_{SRAS}$$

Ecosistemas de innovación contra el coronavirus SRAS-CoV: industria farmacéutica

El subsidio entonces es una función del tamaño de la demanda Q_{SRAS} . Con este resultado el equilibrio de Nash sería (SRAS, SRAS).

Tabla 4. Juego de I+D de la vacuna contra el SRAS-CoV con subsidio (programa de empuje)

		Empresa 2	
		Alzheimer	SRAS
Empresa 1	Alzheimer	$aQ_{SRAS}/2, aQ_{SRAS}/2$	$aQ_{SRAS}, Q_{SRAS}+S_{SRAS}$
	SRAS	$Q_{SRAS}+S_{SRAS}, aQ_{SRAS}$	$Q_{SRAS}/2+S_{SRAS}, Q_{SRAS}/2+S_{SRAS}$

Fuente: elaboración propia.

Cuando se analiza un programa que jala la I+D es necesario tomar en cuenta la incertidumbre de los resultados. Acemoglu y Linn (2004) han construido un modelo ligando tasas de innovación al tamaño de mercado actual y futuro y estudian la relación entre el tamaño de mercado y la innovación en la industria farmacéutica. Utilizan una función de innovación caracterizada por:

$$(2) n_j(t) = d_j Z_j(t)$$

32 Hay libre entrada en I+D y cada empresa tiene accesos a tecnología que genera un flujo de innovación d_j por cada dólar gastado en el tratamiento j al tiempo t . $Z_j(t)$ es la inversión de una empresa en el tratamiento j en el tiempo t . Las diferencias en d_j contabilizan la posibilidad de que el progreso científico puede ser mas difícil en algunas enfermedades que en otras. En nuestro modelo suponemos que j puede ser A o SRAS.

Con base en Acemoglu y Linn (2004), los rendimientos de la empresa con los mejores tratamientos para la enfermedad j en el tiempo t tienen la forma:

$$(3) Y_j = (a-1) bQ_j$$

Donde abQ_j corresponde al tamaño de la demanda del tratamiento j .

Nuevamente, con base en Acemoglu y Linn (2004), el valor descontado de los rendimientos para empresas que ganan premios de innovación puede ser expresado por la función:

$$(4) R_j = Y_j + d_j(P_j(t) - Z_j(t))$$

Donde P_j es el premio obtenido por la mejor innovación j . La tabla 5 muestra el valor de los rendimientos de las empresas que ganan premios de innovación. Para generar I+D en SARS como estrategia dominante, el premio debe ser una función del tamaño de la demanda y la tasa de innovación. Con este resultado el equilibrio de Nash sería (SRAS, SRAS):

$$(5) P_{SRAS} > [(a-ab-b)*Q_{SRAS} + d_{SRAS}*Z_{SRAS}] / d_{SRAS}$$

Tabla 5. Juego de I+D de la vacuna contra el SRAS-CoV con premio (programa de jale)

		Empresa 2	
		Alzheimer	SRAS
Empresa 1	Alzheimer	$a_{Q_{SRAS}/2}, a_{Q_{SRAS}/2}$	$a_{Q_{SRAS}}, R_{SRAS}$
	SRAS	$R_{SRAS}, a_{Q_{SRAS}}$	$R_{SRAS}/2, R_{SRAS}$

Fuente: elaboración propia.

En términos del costo fiscal, los subsidios serían mas baratos que los premios: $S_{SRAS} < P_{SRAS}$. Sin embargo, los subsidios S_{SRAS} garantizan inversión en I+D para SRAS, pero no innovación. Por otro lado, los premios P_{SRAS} (d_{SRAS}), consideran la tasa de innovación y de alguna manera garantiza mayores montos de inversión en I+D con cierto éxito en nuevos tratamientos. En este sentido, para que los subsidios sean tan exitosos como los premios deben ser del mismo monto $S_{SRAS} = P_{SRAS} (d_{SRAS})$; es decir, los subsidios también deberían ser una función de la tasa de innovación.

El modelo macroeconómico: La complejidad del comercio internacional

El modelo aquí utilizado es un modelo de Heckscher-Ohlin con dos bienes y dos insumos. Medicamentos, tecnologías de la información y comunicación (TIC) e información y conocimiento, respectivamente. Primero, es necesario definir la frontera de posibilidades de producción bajo los siguientes parámetros.

a_{Mc} = conocimiento utilizado para la producción de una unidad de medicamentos (mg).

a_{Mi} = información utilizada para la producción de una unidad medicamentos (mg).

a_{Tc} = conocimiento utilizado para la producción de una unidad de TIC (dispositivos de IoT).

a_{Ti} = información utilizada para la producción de una unidad de TIC (dispositivos de IoT).

C = oferta de conocimiento en la economía.

I = oferta de información en la economía.

La frontera de posibilidades de producción (fpp) está definida por el siguiente par de ecuaciones:

$$(6) Q_M \cdot a_{Mc} + Q_T \cdot a_{Tc} \leq C$$

$$(7) Q_M \cdot a_{Mi} + Q_T \cdot a_{Ti} \leq I$$

Por su parte, el valor de la producción está dada por la ecuación de isovalor:

$$(8) V = P_M \cdot Q_M + P_T \cdot Q_T$$

Ecosistemas de innovación contra el coronavirus SRAS-CoV: industria farmacéutica

Donde Q_M es la producción de medicamentos, Q_T la producción de TIC, P_M es el precio de los medicamentos y P_T es el precio de las TIC. El equilibrio dependerá de si la relación entre conocimiento e información utilizada en la producción de medicamentos es mayor o menor que la relación de conocimiento e información utilizada en la producción de TIC. Por el momento supongamos esta relación como la define la ecuación (9).

$$(9) a_{Mc}/a_{Mi} > a_{Tc}/a_{Ti}$$

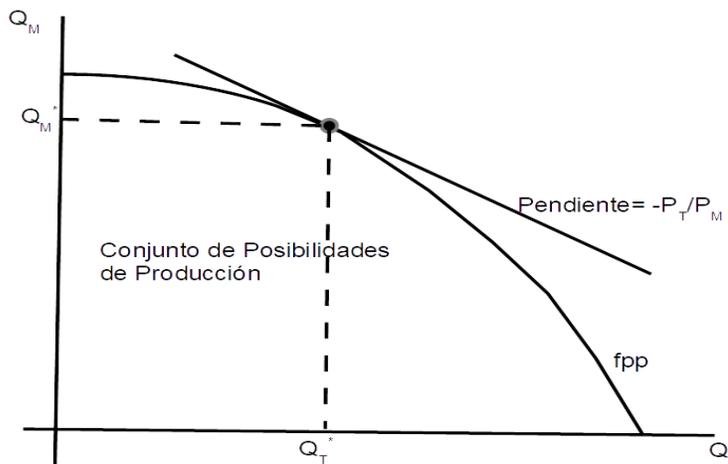
lo que equivale a

$$(9.1) a_{Mc}/a_{Tc} > a_{Mi}/a_{Ti}$$

La gráfica 1 muestra la forma de la fpp con rendimientos decrecientes a escala y el punto de tangencia con la función de isovalor que cumple las condiciones de primer orden. La forma convexa de la fpp dice que se puede sustituir información por conocimiento y viceversa; y que el costo de oportunidad en términos de TIC para producir una unidad más de medicamentos aumenta a medida que la economía va produciendo más medicamentos y menos TIC. No obstante, la economía produce en el punto en el que se maximiza el valor de la producción. Es decir, donde se alcanza la recta de isovalor más alejada del origen y que aún intersecta con el conjunto de posibilidades de producción, en este caso un conjunto cerrado y acotado.

34

Gráfica 1. Frontera de Posibilidades de Producción y función de isovalor en el modelo de Heckscher-Ohlin



Fuente: elaboración propia

Ahora ampliemos el modelo de Heckscher-Ohlin e incluyamos a los consumidores (modelo estándar de comercio) con una función de utilidad tipo Cobb-Douglass como la muestra la ecuación 5.

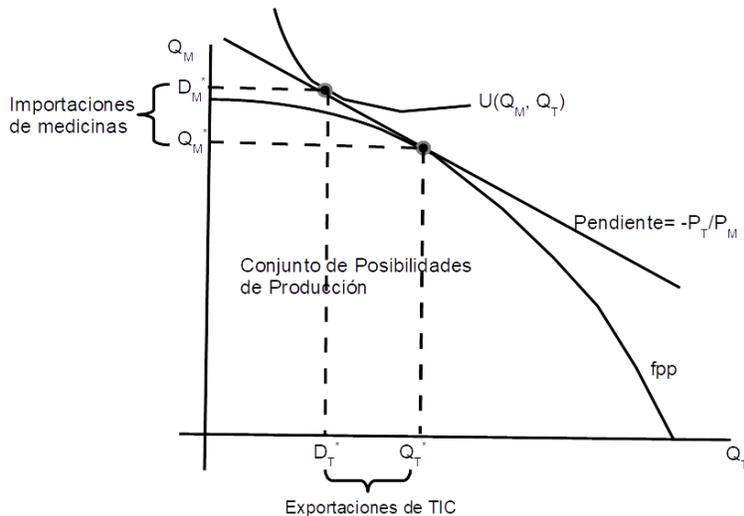
$$(10) U(M,T) = M^\alpha T^\beta$$

donde $1 > \alpha > 0$, $1 > \beta > 0$ y $\alpha + \beta = 1$.

Asimismo, el valor de consumo en una economía debe ser igual al valor de la producción. Por lo que la función de isovalor es equivalente a la restricción presupuestal. A partir de las ecuaciones (10) y (11) podemos derivar la demanda de medicamentos y TIC. El equilibrio de muestra en la gráfica 2.

$$(11) P_M \cdot D_M + P_T \cdot D_T = P_M \cdot Q_M + P_T \cdot Q_T$$

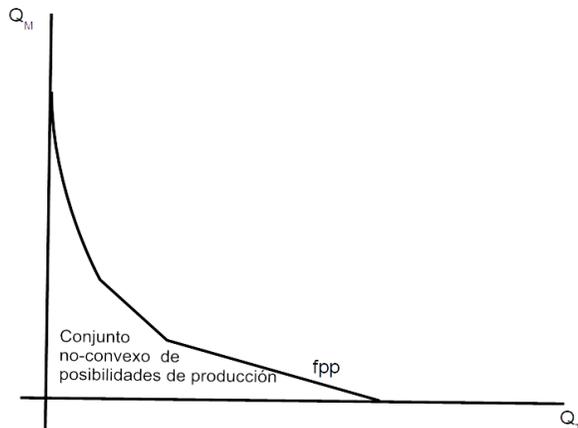
Gráfica 2. Producción, consumo y comercio en el modelo estándar



Fuente: elaboración propia.

El modelo muestra que las exportaciones de TIC han permitido una mayor demanda de medicinas y, por lo tanto, la necesidad de importarlas. Con rendimientos crecientes a escala en ambos sectores, el conjunto de posibilidades de producción pierde convexidad. La gráfica 3 muestra el conjunto y la frontera de posibilidades producción con rendimientos crecientes.

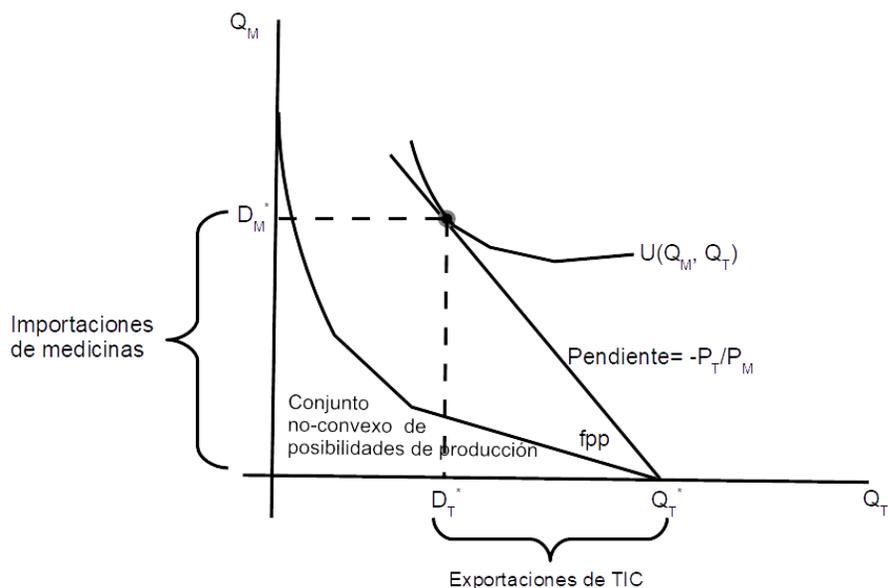
Gráfica 3. Conjunto y frontera de posibilidades de producción con rendimientos crecientes a escala en ambos sectores



Fuente: elaboración propia.

Con rendimientos crecientes a escala, el equilibrio de mercado es la especialización en uno de los sectores como lo muestra la gráfica 4. A una relación de precios dada, la canasta óptima es una solución de esquina, utilizando todos los insumos en la producción de TIC y cero en la producción de medicamentos, lo que implica mayores importaciones de medicamentos y una mayor dependencia del exterior en un sector tan estratégico como el farmacéutico.

Gráfica 4. Producción, consumo y comercio con rendimientos crecientes a escala en ambos sectores.



36

Fuente: elaboración propia.

Una forma algebraica de ver la fpp con rendimientos constantes a crecientes a escala es con la siguiente ecuación:

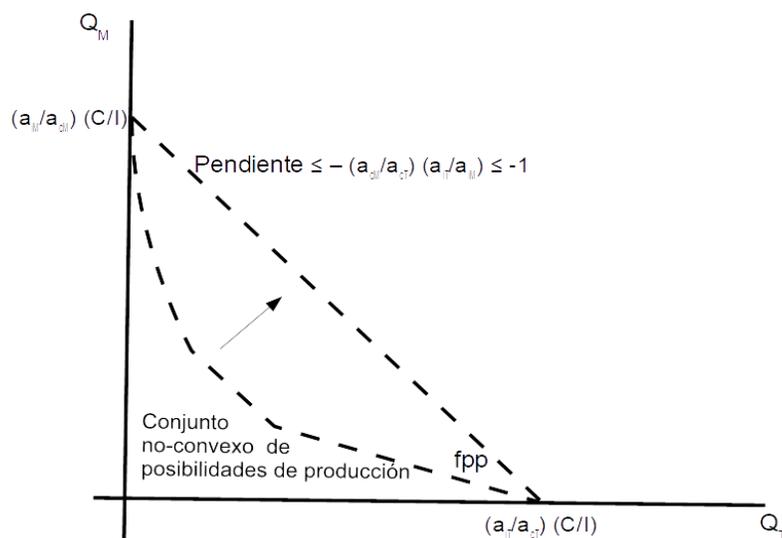
$$(12) (a_{cM}/a_{iM}) \cdot Q_M + (a_{cT}/a_{iT}) \cdot Q_T \leq C/I$$

de donde se obtiene

$$(12.1) Q_T = (a_{iT}/a_{cT}) (C/I) - (a_{cM}/a_{cT}) (a_{iT}/a_{iM}) Q_M$$

La gráfica 5 muestra cómo el conjunto de posibilidades de producción únicamente alcanza la convexidad cuando hay rendimientos constantes a escala y la pendiente de la fpp esta dada por $-(a_{cM}/a_{cT}) (a_{iT}/a_{iM}) = -1$. Esto que equivale a $(a_{cM}/a_{iM}) = (a_{cT}/a_{iT})$; es decir, cuando ambos sectores son igualmente intensivos en información y conocimiento, al menos en términos relativos.

Gráfica 5. Conjunto y frontera de posibilidades de producción de rendimientos crecientes a constantes a escala.



Fuente: elaboración propia.

37

DISCUSIÓN

Para entender mejor el efecto de los incentivos de “jale” y “empuje” en la dinámica de la innovación de tratamientos contra enfermedades infecciosas, intentemos entender dos casos exitosos que han ganado el Premio Nobel en Fisiología y Medicina. En 2015 el Premio Nobel fue otorgado al descubrimiento de la artemisinina y la ivermectina, ambos medicamentos que mejoran el tratamiento contra la malaria, onchocerciasis y filariasis linfática respectivamente. El premio fue otorgado conjuntamente, una mitad a los profesores William C. Campbell (2015,2016) y Satoshi Ōmura (2015) por sus descubrimientos concernientes a las terapias contra infecciones causadas por parásitos multicelulares; y otra mitad al profesor Youyou Tu (2015) por sus descubrimientos relacionados con terapias contra la malaria.

En su conferencia de recepción, *Ivermectina: Una Reflexión sobre la Simplicidad* (Ivermectin: A Reflection on Simplicity), el profesor Campbell (2015) dijo:

“Estoy usando la palabra 'simplicidad' aquí en el contexto de la ciencia, pero no pretendo sugerir que la ciencia es simple; tampoco quiero decir que el desarrollo del medicamento ivermectina fuera un ejercicio de simplicidad. Mi intención es más bien resaltar el elemento

de la simplicidad en la ciencia y espero hacerlo señalando la importancia de la simplicidad en el nacimiento del medicamento ivermectina. Ha sido ampliamente reconocido que la simplicidad tiene una particular importancia para los científicos y efectivamente la simplicidad es celebrada en la ciencia como un elemento de belleza. Sin embargo, aquí quiero hablar de la simplicidad no como un elemento estético, sino como un elemento utilitario ...” (Campbell, 2015, 2016).

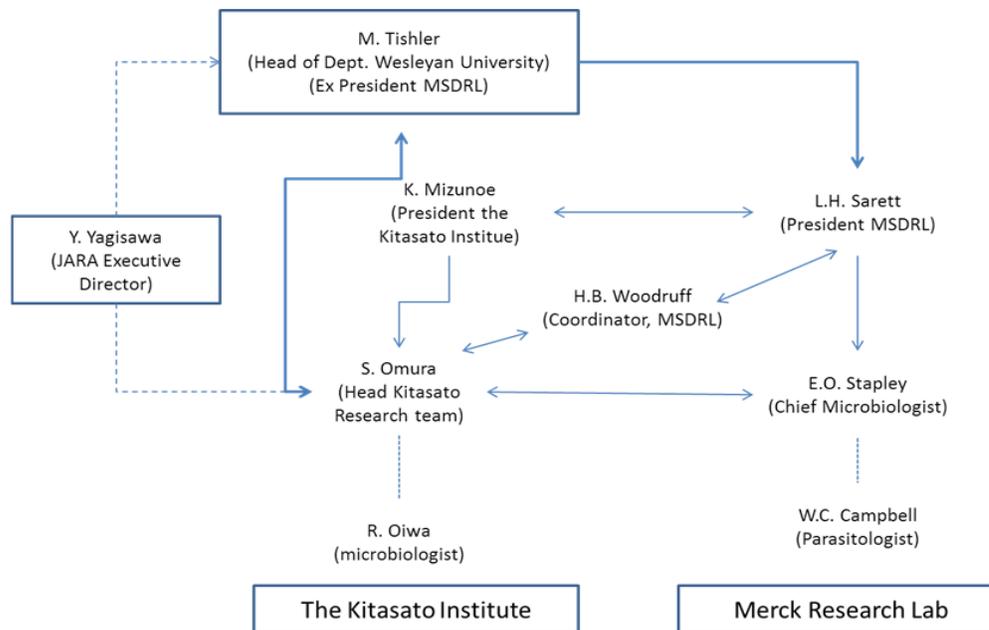
En este sentido, pensar que el descubrimiento de tratamientos como la ivermectina o artemisinina son el resultado de un solo incentivo de “empuje” o de “jale” no es suficiente. Los modelos mostrados en los apartados anteriores no dejan de ser una simplificación de la realidad. Pero a pesar de que los científicos aprecian la simplicidad, el proceso de desarrollo de tratamientos médicos sigue siendo complejo. Por ejemplo, entre los muchos actores que intervinieron en el desarrollo de ivermectina están *Merck & Co. Inc.* del lado de los negocios y el Instituto Kitasato en Tokyo, del lado sin fines de lucro. El proceso de I+D involucró a microbiólogos, químicos especialistas en fermentación y análisis, parasitólogos, bioquímicos, veterinarios, etc. Hubo al menos 125 científicos y técnicos involucrados que publicaron más de 70 artículos científicos durante más de diez años (Campbell, 2015).

38 Desde 1973, el número de científicos y organizaciones involucradas en la búsqueda de las hasta entonces desconocidas avermectinas involucró diversos equipos de personas con múltiples fuentes de financiamiento. El profesor Satoshi Ōmura (2015), en su conferencia de recepción del Premio Nobel recuerda como:

“... el descubrimiento de las avermectinas fue el resultado de un gran proyecto de investigación multidisciplinario que involucró la cooperación internacional entre instituciones públicas como el Instituto Kitasato en Japón y empresas farmacéuticas privadas como Merck, Sharp y Dohme en Estados Unidos. Pero la historia mas exitosa de esta asociación público-privada ha sido el compromiso, habilidad y calidad de los intercambios científicos y culturales entre el equipo de científicos que logro superar las diferencias profesionales, de nacionalidad y en ocasiones hasta de las metas ...” (Ōmura, 2015)

La I+D, distribución e impacto en la salud de estos medicamentos dependió de una combinación sin precedente de programas de donación de medicamentos, de un consorcio internacional de organizaciones públicas y privadas, agencias multilaterales, donantes, gobiernos, organizaciones no gubernamentales (ONG), científicos, trabajadores de la salud, así como de la comunidad de personas afectadas por la enfermedad (Ōmura, 2015). La Figura 1 muestra el flujo de colaboraciones entre científicos y organizaciones en la búsqueda de avermectinas.

Figura 1. Colaboración Kitasao-MSDRL, 1973 en inglés



Fuente: Ōmura (2015).

39

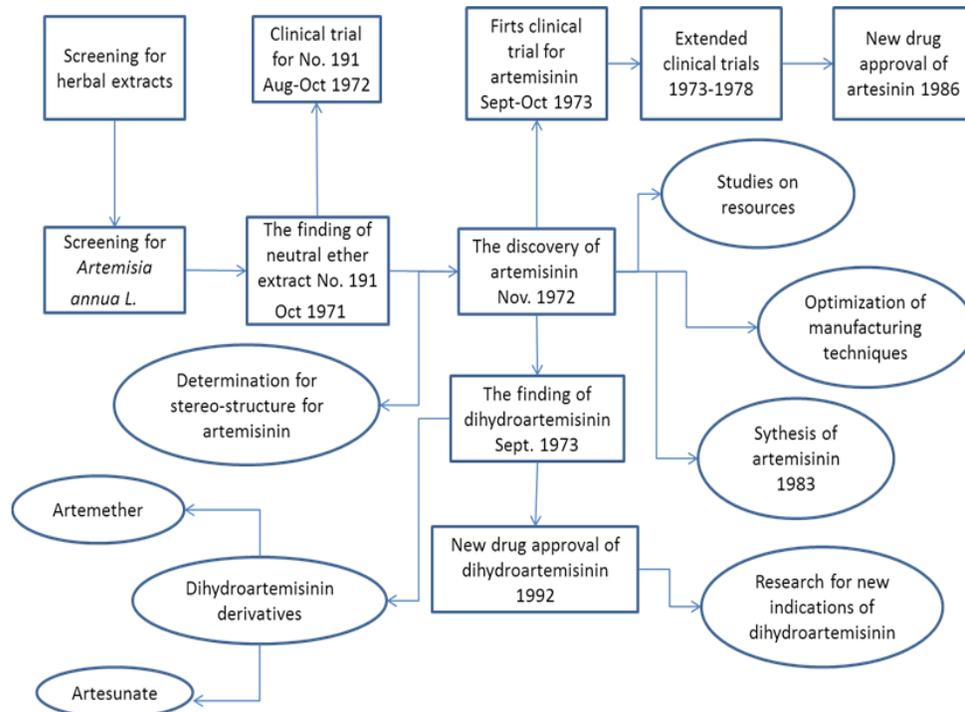
Un elemento frecuentemente, ignorado pero que podríamos considerar un tipo de subsidio, es la biodiversidad y el conocimiento tradicional. Por ejemplo, la principal fuente de ivermectinas es literalmente el suelo de Japón. Las ivermectinas, son un medicamento multipropósito derivado de un microorganismo descubierto en el suelo japonés. Actualmente, la ivermectina es tomada completamente gratis por más de 250 millones de personas (Youyou, 2015).

El conocimiento tradicional de la biodiversidad fue también muy importante en el descubrimiento de la artemisinina, el tratamiento antimalárico que le valió el Premio Nobel al Profr. Tu You You. El término “Qinghao” es un sinónimo genérico utilizado para referirse en chino a las hierbas de la familia Artemisia. Qinghao ha sido de las hierbas más comunes en la medicina tradicional china en los últimos dos mil años.

En términos médicos tradicionales chinos, las hierbas de la familia Artemisia ofrece la función de limpiar el calor deficiente, enfriar y desintoxicar la sangre, eliminar la fiebre y la ostopirexia, liberar del calor del verano, aliviar las fiebres de la malaria, remover la ictericia, etc. En el texto herbal clásico de China, Sheng Nong de las dinastías Qin y Han de alrededor del 221 a.C. al 220 d.C., Qinghao es listado con aplicaciones clínicas que van del alivio de salpullidos al tratamiento contra piojos y la mejora de la vista. Diferentes autores de la China

antigua documentaron el uso de la hierba Qinghao, sin embargo, pocos detalles fueron proporcionados sobre las especies o partes de la planta que son útiles para uso clínico. La Figura 2 muestra un diagrama de flujo del trabajo de I+D en la Academia de Medicina Tradicional China en la búsqueda de la artemisinina (Youyou, 2015).

Figura 2. Diagrama de flujo de la I+D en la Academia China de Medicina Tradicional en inglés



Fuente: Youyou Tu (2015).

El impulso en la búsqueda de un tratamiento contra la malaria se volvió una prioridad militar durante la Guerra Fría, cuando el Sudeste Asiático era una de las áreas de mayor endemismo. Durante la Guerra de Vietnam, en 1964, las bajas por malaria del ejército de los Estados Unidos alcanzó cinco veces más que las bajas por combates directos. En 1965, cerca de la mitad del total de las tropas de los Estados Unidos en Vietnam fueron infectadas por malaria. Sin el conocimiento tradicional chino a su disposición, el ejército norteamericano probó cerca de 214,000 compuestos entre 1965 y 1972 sin ningún éxito. Simultáneamente, y en contraposición a las tropas de los EE. UU., el ejército de la República Popular de China inició un programa de I+D secreto en la búsqueda de tratamientos antimaláricos en 1964. En 1967 la investigación antimalárica se convirtió en una prioridad para el ejército de China, probando distintos compuestos entre 1967 y 1969, de igual manera, sin ningún éxito. En 1969 el

ejército de China solicitó a la academia de Medicina Tradicional China su participación en la búsqueda de tratamientos antimaláricos. El profesor Tu You You fue asignado como cabeza del equipo de investigación. En este sentido, el financiamiento del ejército fue fundamental en el descubrimiento de la artemisinina (Youyou, 2015).

Si bien, en la I+D de productos farmacéuticos se requiere la combinación de conocimientos altamente especializado en microbiología, bioquímica, uso y conocimiento de la biodiversidad, también las TIC juegan un importante papel. En la salud internacional existe consenso sobre la utilidad de que los países establezcan un plan de acciones coordinado entre todos los actores del campo farmacéutico para asegurar la disponibilidad y calidad de los medicamentos y fomentar su uso racional, fomentando el desarrollo de la industria farmacéutica. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha recomendado a los países desarrollar una Política Farmacéutica Nacional (PFN), la cual se define como

“un compromiso con un objetivo y una guía de acción que expresa y prioriza las metas a medio y largo plazo establecidas por el gobierno para el sector farmacéutico, e identifica las estrategias principales para alcanzarlas” (Wrtiz et al., 2013).

Una PFN involucra a los sectores público y privado y debe de abordar lo relacionado con la regulación, producción, distribución, prescripción, dispensación y consumo de medicamentos (Wrtiz et al., 2013).

41

En México, el modelo de la farmacia hospitalaria utilizado por la Secretaría de Salud en hospitales públicos, exige a los profesionales farmacéuticos no solamente gestionar el almacenaje y distribución de los medicamentos, sino también su uso seguro y eficiente. Lo que involucra recursos humanos calificados en el sector farmacéutico que muchas veces no están disponibles. Asimismo, hay una creciente necesidad de ampliar la vigilancia en la venta de medicamentos con receta médica más allá de los antibióticos (Wrtiz et al., 2013).

Por su parte, en una evaluación realizada a unidades de especialidades médicas de enfermedades crónicas (UNEMES-EC) de México en 2012, en su abastecimiento de medicamentos se encontró que de 17 medicamentos básicos relacionados con la atención de diabetes mellitus, hipertensión y sobrepeso/obesidad, únicamente 13.3 por ciento de las unidades reportó abasto completo de medicamentos esenciales y dicho abasto fue más frecuente en aquellas unidades con servicio tercerizado de farmacia. Del total de pacientes entrevistados, 35 por ciento alguna vez tuvo que comprar medicamentos con recursos propios (Contreras et al., 2013).

Los sistemas de abastecimiento de medicamentos son uno de los principales determinantes de la disponibilidad de medicinas, así como de su costo total. En muchos países en desarrollo la compra de medicinas representa el mayor gasto en salud después del costo personal. Los

productos farmacéuticos también constituyen el mayor desembolso en moneda extranjera relacionado con la salud (MSH, 2012).

En 2008 la Federación Farmacéutica Internacional con sede en Suiza, desarrolló un conjunto de principio que se denominan *Declaraciones de Basilea 2008* (tabla 6). Dicho documento contiene 75 recomendaciones, agrupadas bajo seis elementos básicos para la práctica de farmacias hospitalarias. Las declaraciones contenidas en la Tabla 6 forman parte del aprovisionamiento de medicinas, uno de los seis elementos básicos considerados por las Declaraciones de Basilea 2008 (Shrestha *et al.*, 2018).

Los sistemas electrónicos de aprovisionamiento surgen para gestionar las complejas cadenas de suministro derivadas de la globalización. En 2012 la Organización Mundial de Comercio (OMC) revisó su acuerdo multilateral sobre aprovisionamiento o contrataciones del gobierno (Anderson & Müller, 2017). Por su parte, la Unión Europea ha legislado algunas directrices sobre aprovisionamiento electrónico (*e-procurement*) en relación con el abastecimiento del sector público y sectores estratégicos como el agua, la energía y el transporte, por lo menos desde 2004. En 2017 el Consejo Europeo publicó una serie de directrices sobre aprovisionamiento del gobierno que incluye los sistemas electrónicos de aprovisionamiento (UE, 2017).

42 Los resultados del modelo explican al menos parcialmente por qué hay desabasto de medicamentos en México y en otros países. La existencia de rendimientos crecientes eleva los costos de oportunidad y evita que empresas privadas se desarrollen en ambos sectores, especialmente en economías abiertas donde al menos teóricamente se podrían importar los productos no producidos domésticamente. Esto es una falla de mercado que por lo tanto requiere de intervención del gobierno. Se recomienda tomar dos tipos de medidas:

1. En el corto plazo es necesario implementar sistemas de e-procuración o e-aprovisionamiento (*e-procurement*) que automatice la cadena de suministro de medicinas en el sector público y privado.
2. En el mediano plazo es importante desarrollar la industria farmacéutica nacional. Impulsar planes de estudio a nivel profesional y de investigación en ciencias farmacéuticas y desarrollar clusters para la producción de medicamentos con inversión pública y privada.

Tabla 6. Lineamientos para el abastecimiento de medicinas de las Declaraciones de Basilea 2008

Número	Declaración
17	El proceso de aprovisionamiento debe ser transparente, profesional y ético para promover equidad y acceso y asegurar rendición de cuentas de las entidades gubernamentales y legales pertinentes.
18	El aprovisionamiento debe estar guiado por el principio de aprovisionamiento para la seguridad.
19	El aprovisionamiento farmacéutico es un proceso complejo que requiere el control del personal farmacéutico y un equipo técnicamente competente.
20	Los principios operacionales para una buena práctica de aprovisionamiento deben ser regularmente revisados y los distintos modelos de aprovisionamiento deben ser adaptados a distintas situaciones y necesidades emergentes de la manera mas costo efectiva.
21	El aprovisionamiento debe ser apoyado por fuertes principios de control de la calidad, para asegurar que medicinas de baja calidad no sean distribuidas dentro del sistema. El apropiado almacenamiento para asegurar el mantenimiento de la calidad en toda la cadena de valor es necesario.
22	El aprovisionamiento no debe ocurrir en aislamiento, sino ser informado por el proceso de de selección de medicamentos.
23	El buen aprovisionamiento debe ser apoyado por un sistema de información confiable que proporcione información accesible, precisa y a tiempo.
24	Es necesaria la existencia de un mecanismo formal para la solicitud de fondos, para que el personal de la farmacia pueda hacer las compras de medicinas.
25	Cada farmacia debe tener planes de contingencia para la escases de medicamento y para realizar compras durante emergencias.

Fuente: Shrestha *et al.*, 2018.

Una tecnología recientemente introducida a los mercados farmacéuticos y biomédicos es la impresión 3D (I3D). La tecnología de impresión 3D puede brindar propuestas interesantes que vinculan ambas recomendaciones. Durante la última década, el paradigma farmacéutico ha virado hacia un desarrollo centrado en el paciente. Se enfoca en dosis *ad-hoc* a cada paciente y en prótesis y tejidos a medida del paciente, personalizando la atención médica. Esta tecnología permite desde la manufactura de medicamentos personalizados, hasta la bioingeniería de tejidos y órganos, así como la modelación tridimensional de enfermedades. El primer método de I3D utilizado en el desarrollo de dosis farmacológicas se basó en la patente de 1993 *Three-dimensional printing techniques* (US Patent US 5,204,055 A). De ahí al desarrollo de los métodos como la Estereolitografía (SLA, STL por sus siglas en inglés), *Selective Laser Sintering* (SLS), *Selective Laser Melting* (SLM) o *Drop on Solid* (DoS) sólo

por mencionar algunos, han pasado casi 30 años. Uno de los últimos avances ha sido el desarrollo de la biorobótica. Los biorobots son dispositivos híbridos que tratan de imitar varios procesos biológicos, muy útiles en la regeneración de tejidos, en el suministro fisiológico de medicinas y en la investigación de frontera en ciencias de la vida y de la salud (Jamroz *et al.*, 2018).

En México ha habido importantes desarrollos en la e-procuración fuera del sector farmacéutico. En 2010 Arturo Delfin y Alberto Wario, dos ingenieros en Guadalajara, Jalisco, el Valle del Silicio mexicano, obtendrían la patente de su invento, el *Replenishment Management System and Method* (US patent 7,711,612 B1). La patente, no obstante, está a nombre del *International Business Machines Corporation* (IBM) con sede en Armonk, NY (EE. UU.), y sería la pieza logística clave de la planta que la compañía transnacional tiene en Guadalajara. La solución aumentó el valor de la producción de IBM en Guadalajara de \$1,600 a \$3,600 millones de dólares, entre 2009 y 2011 (Expansión, 2011).

La operación de Guadalajara se convirtió en un epicentro del *e-business* y en líder en *e-procurement* de IBM a nivel global, exportando el concepto a otras instalaciones de IBM en el mundo. El *e-procurement* permite a las plantas de manufactura de IBM no desperdiciar recursos materiales, reducir los costos por inventarios y hacer más eficientes los procesos. La plataforma de *e-procurement* de IBM es la pieza fundamental para evitar que ocurran los desperdicios: monitorea necesidades del sistema de producción, solicita reabastecimientos, regula costos de fabricación y administra pagos a proveedores (Expansión, 2011).

CONCLUSIONES

La búsqueda de una vacuna contra el SRAS-CoV es un asunto de seguridad nacional. El sector privado no puede atender las necesidades de la pandemia sin el financiamiento y apoyo del sector público. Se requieren asociaciones público-privadas para encontrar los tratamientos y, en dado caso, la vacuna contra el SRAS-CoV. El presente artículo presenta un análisis situacional de la I+D, aprovisionamiento, producción e intercambio de tratamientos contra el SRAS-CoV. Esto representa un problema económico donde los productos industriales se encuentran dentro de un espacio de productos cuyas coordenadas están determinadas por información y conocimiento (*know-how*). Dicho espacio es un espacio no convexo parecido a un queso gruyere lleno de hoyos. Es decir, el *know how* de un producto sólo puede ser compartido con aquellos productos tecnológicamente más cercanos. En este sentido, la idea de un espacio de productos no convexo en sus combinaciones de insumos va en contra de la teoría económica neoclásica y sugiere la existencia de comportamientos no lineales. Es decir, sugiere la existencia de complejidad económica. (Hausmann & Klinger, 2007; Hidalgo & Hausmann, 2009).

Las innovaciones necesarias en este ecosistema son producto de un proceso complejo desde el punto de vista económico. La creación de nuevas invenciones está caracterizada por dependencia del pasado, interdependencia e interacción entre agentes heterogéneos capaces de aprender y reaccionar de forma creativa. Para entender la complejidad recurrimos a un paradigma emergente en distintas disciplinas como las matemáticas, la física, la biología, las ciencias computacionales y la economía que busca entender el cambio endógeno de los sistemas (Antonelli, 2009).

El artículo presentó un modelo bioeconómico que aborda:

1. La dinámica viral del SRAS-CoV. Es difícil determinar cuáles serán las estrategias evolutivamente estables del coronavirus, pero se piensa que la mutación del SRAS-CoV-2 a lo que podríamos llamar SRAS-CoV-3 no es improbable.
2. Un modelo de teoría de juegos donde se muestra la dinámica microeconómica en las decisiones de I+D de la industria farmacéutica. En este sentido las fluctuaciones de la demanda son un determinante importante en las decisiones de las empresas sobre a qué tratamientos dedicar recursos. La pandemia genera un aumento en la demanda de tratamientos contra el SRAS-CoV pero es un aumento temporal que esperamos se reduzca en el futuro cercano. Según este modelo, la reducción en la demanda por tratamientos contra el SRAS-CoV llevaría al abandono en la búsqueda de tratamientos y en dado caso de una vacuna por parte de las empresas farmacéuticas.
3. Un modelo macroeconómico de Heckscher-Ohlin y un modelo estándar de comercio internacional con dos sectores de alta tecnología (farmacéutico y TIC) y dos insumos (información y conocimiento). Teóricamente, la existencia de rendimientos crecientes a escala y la ausencia de convexidad en el conjunto de posibilidades de producción conducen a complejidad económica y fallas de mercado. En otras palabras, como producto de la complejidad económica, bajo ciertas condiciones, los mercados de medicina desaparecen.

La actual emergencia conduce a la necesidad de plantear una política farmacéutica nacional (PFN) para que no esté basada exclusivamente en el mercado. Es necesaria la inversión pública que involucre criterios éticos y de seguridad nacional y no únicamente de mercado. A partir del estudio del desarrollo de tratamientos antimaláricos en la República Popular de China, es necesaria la creación de una Academia de Medicina Tradicional Mexicana con financiamiento público como centro nacional de I+D. Asimismo, la complejidad económica en el mercado global de medicinas y la actual pandemia hacen imperativa la búsqueda de

soluciones de gobierno electrónico para el aprovisionamiento de medicinas. Esto exige un nuevo paradigma de la atención hospitalaria, donde el desarrollo de los sistemas digitales y de los materiales farmacéuticos y orgánicos, así como la atención clínica al paciente y la farmacología deben ir de la mano en la implementación de propuestas de *e-procurement*. Soluciones aún en escaso desarrollo, como el expediente clínico electrónico, son también de gran importancia para la implementación de un sistema farmacéutico basado en el Internet de las Cosas Médicas (IoMT por sus siglas en inglés). La I3D representa una importante tecnología para en el futuro proveer a pacientes de los insumos necesarios para el cuidado a la salud, así como para la investigación científica.

REFERENCIAS

Acemoglu, D. & Linn, J. (2004). Market size in innovation: Theory and evidence from the pharmaceutical industry. *The Quarterly Journal of Economics*.

Anderson, R. & Müller, A. (2017). The Revised WTO Agreement on Government Procurement (GPA): Key design features and significance for global trade and development, *WTO Working Paper ERSD-2017-04*.

⁴⁶ Antonelli, C. (2009). The economics of innovation: from the classical legacies to the economics of complexity, *Economics of Innovation and New Technology*, 18:7, 611-646, DOI: 10.1080/10438590802564543.

Campbell, W. (2015). *Ivermectin: A Reflection on Simplicity*. Nobel Lecture.

Campbell, W. (2016). Lessons from the history of ivermectin and other antiparasitic agents. *Animal.annualreviews.org*: doi: 10.1146/annurev-animal-021815-111209. *Annual Review of Animal Biosciences*.

CDC. (2003). *SRAS*. Center for Disease Control, Link: <https://www.cdc.gov/sars/index-sp.html>

UE. (2017). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Making Public Procurement work in and for Europe (COM/2017/0572)*. Bruselas: UE.

Contreras-Loya, D., Reding-Bernal A., Gómez-Dantés, O., Puentes-Rosas, E., Pineda-Pérez D., Castro-Tinoco, M., Garrido-Latorre, F. (2013). Abasto y surtimiento de

medicamentos en unidades especializadas en la atención de enfermedades crónicas en México en 2012. *Salud Pública Méx.*; (55), 618-626.

Diamond, J. M. (1999). *Guns, germs, and steel: The fates of human societies*. New York: W.W. Norton & Co.

EdX. (Hong Kong University). (2015). *Epidemics, HKUx: HKU01x* [Online course]. <https://courses.edx.org/courses/course-v1:HKUx+HKU01x+3T2015/course/>

Expansión (2011). Compras inteligentes. IBM apuesta todo por internet. En Guadalajara, la compañía diseñó una solución que demuestra. *Revista Expansión*. <https://expansion.mx/expansion/2011/09/14/compras-inteligentes>.

Hausmann, R. & Klinger, B. (2007). The Structure of the Product Space and the Evolution of Comparative Advantage, *CID Working Paper No. 146*.

Hidalgo, C. & Hausmann, R. (2009). The Building Blocks of Economic Complexity, *CID Working Paper No. 186*.

Hopkins, J. (2020). *Coronavirus Resource Center*. Recuperado julio 10, 2020 de <https://coronavirus.jhu.edu/>

47

Jamróz, W., Szafraniec, J., Kurek, M., & Jachowicz, R. (2018). 3D Printing in Pharmaceutical and Medical Applications – Recent Achievements and Challenges. *Pharmaceutical Research*, 35(9). doi: 10.1007/s11095-018-2454-x

Kreps, D. (1991). *A course in microeconomic theory*. Princeton University Press.

Kuri, P. & Santos, J. (2003). Preciado Síndrome agudo respiratorio severo y la respuesta organizada en México: ¿estamos preparados?, *Salud pública Méx.* 45(3).

MSH. (2012). *MDS-3: Managing Access to Medicines and Health Technologies*. Arlington, VA: Management Sciences for Health.

Nowak, M. (2006). *Evolutionary Dynamics. Exploring the equations of life*. Harvard University Press.

Omran, A. (1971). The epidemiologic transition: a theory of the epidemiology of population change. *Milbank Quartely*. 83(4):731-757. doi:10.1111/j.1468-0009.2005.00398.x

Ōmura, S. (2015). *A Splendid Gift from the Earth: The Origins and Impact of the Avermectins*. Nobel Lecture

OMS. (2003, 5 de julio). *El brote de SRAS ha sido contenido en todo el mundo*, Organización Mundial de la Salud. Link: <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2003/pr56/es/>

Popper, K. (1962). *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos.

Regmi, S., Callender, T., Knox, A., Bhopal, A. (2014). *Research and development funding for 13 neglected tropical diseases: an observational economic analysis*. The Lancet. Published Online October 19, 2014.

Shrestha, M., Moles, R., Ranjit, E., Chaar, B. (2018). Medicine procurement in hospital pharmacies of Nepal: A qualitative study based on the Basel Statements. *PLoS ONE* 13(2): e0191778. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191778>

WHO. (2020). *WHO press briefing*. Recuperado julio 10, 2020 de <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/media-resources/press-briefings>

48

Wilkens, C. (2009). The Complexity of Models of International Trade, *Working paper*.

Wirtz, V., Dreser, A., Heredia-Pi, I. (2013). Retos y oportunidades para el desarrollo de la política farmacéutica nacional en México. *Salud Pública Méx*; (55), 329-336.

Youyou, T. (2015). *Artemisinin—A Gift from Traditional Chinese Medicine to the World*. Nobel