

Las empresas chinas y las vacunas contra la COVID-19

Chinese companies and COVID-19 vaccines

Juan José Ramírez Bonilla
Centro de Estudios de Asia y África
El Colegio de México, A.C.

Fecha de aceptación: diciembre de 2022
Fecha de publicación: marzo de 2023



Resumen. El texto presenta un análisis sobre la participación china en el desarrollo y comercialización de vacunas contra la COVID-19. La primera parte explora el desarrollo de las vacunas y, dado el interés por analizar el papel de China en este mercado, Estados Unidos es el referente geográfico con fines comparativos, sin ir más allá. La segunda parte estudia las relaciones de cooperación entre actores (nacionales y foráneos) participantes en el desarrollo de las vacunas, en China y en Estados Unidos; destacamos dos fases de desarrollo y de uso de las vacunas, para mostrar el retroceso de China y el progreso de Estados Unidos. En la tercera parte, se resaltan los patrones de distribución geográfica correspondientes a las siete empresas principales fabricantes de vacunas, con particular atención sobre Sinovac y Beijing CNBG, para mostrar que sus principales mercados regionales se encuentran en Asia.

Palabras clave: pandemia; desarrollo de vacunas; tecnologías de las vacunas; cooperación sanitaria; mercado de vacunas.

Abstract. This text presents an analysis of China's participation in the development and commercialization of COVID-19 vaccines. The first part explores the development of vaccines and, given the interest in analyzing China's role in this market, the United States is the geographical reference for comparative purposes, without going any further. The second part studies the cooperative relations between actors (national and foreign) involved in the development of vaccines, in China and the United States; we highlight two phases of vaccine development and use, to show China's retreat and America's progress. In the third part, the geographical distribution patterns corresponding to the seven main vaccine manufacturing companies are highlighted, paying particular attention to Sinovac and Beijing CNBG, to show that their main regional markets are in Asia.

Keywords: pandemic; vaccine development; vaccine technologies; health cooperation; vaccine market.

Introducción

En abril de 2020, cuando la pandemia de la COVID-19 se encontraba en plena expansión, el portal de noticias sobre farmacología Fierce Pharma anunciaba:

La firma de análisis global Clarivate analizó las vacunas de dos compañías que han entrado en ensayos clínicos, Moderna e Inovio, y llegó a una conclusión aleccionadora: tomará al menos cinco años para que cualquiera de las vacunas candidatas complete el proceso de desarrollo a través de la aprobación regulatoria completa. Y ninguna de las compañías tiene una alta probabilidad de éxito... (Weintraub, 2020, párr. 1).

El mensaje parecía poco esperanzador; sin embargo, es necesario diferenciar dos cosas fundamentales: por un lado, el lapso de cinco años o más correspondía a una estimación de la duración de las pruebas clínicas y de la aprobación por parte de las autoridades médicas para la comercialización de las vacunas (del gobierno estadounidense en la ocurrencia y/o de la Organización Mundial de la Salud, OMS, en la escala global); por el otro, y esto era lo más importante, en abril de 2020, dos vacunas contra la COVID-19 ya estaban listas.

Dada la urgencia sanitaria, las autoridades responsables de la salud no esperaron cinco o más años; aprobadas las primeras pruebas clínicas, adoptaron medidas de urgencia: el 2 de diciembre de 2020, el gobierno del Reino Unido fue el primero en aprobar el uso de la vacuna de Pfizer-BioNTech contra la COVID-19 (Elbaum y Smith, 2020); el 30 de ese mes, el gobierno chi-

no anunció la aprobación de la vacuna de Sinopharm (en adelante, referida como Beijing CNBG) para uso público (Reuters, 2020); al día siguiente, la OMS también autorizó el uso de emergencia de la vacuna Pfizer-BioNTech (OMS, 2020); la Food and Drug Administration (FDA) de Estados Unidos también le otorgaría su autorización, pero hasta el 23 de agosto de 2021 (FDA, 2021).

Las vacunas de Pfizer-BioNTech y de Beijing CNBG están basadas en tecnologías muy diferentes: mientras la empresa china recurrió al uso tradicional de virus inertes provenientes de enfermos de COVID-19, el tándem germano-estadounidense utilizó el ácido ribonucleico mensajero (ARNm) de las proteínas del coronavirus, para inocularlo mediante un adenovirus inerte (vector viral no replicante). Ahora bien, 23 meses después de ser aprobada la primera vacuna contra el referido virus, hacia finales de noviembre de 2022, 821 vacunas contra la COVID-19 estaban en pruebas clínicas; 201 gobiernos habían aprobado el uso de 50 de ellas, mientras la OMS había establecido una lista de 11 para uso de emergencia (COVID-19 Vaccine Tracker, 2022). Esas 821 vacunas corresponden a 11 tipos de tecnologías diferentes y esta diversificación tecnológica concierne al uso de los progresos realizados en la investigación para curar otras enfermedades infecciosas.

En ese sentido, la primera parte de este texto está dedicada a una exploración general del desarrollo de las vacunas contra la COVID-19; ahora bien, siendo el interés principal analizar el papel de China en este mercado, utilizamos como referente a Estados Unidos; debemos señalar que esa referencia es sólo geográfica, sin más; pues, dados los recursos disponibles por los gobiernos chino y estadounidense, es muy difícil establecer comparaciones intergubernamentales.

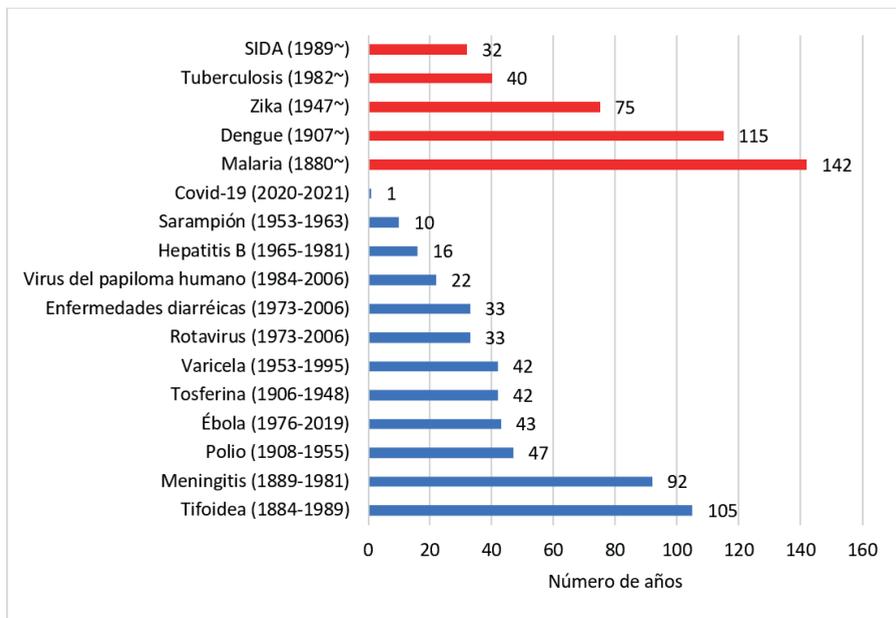
La segunda parte está abocada al estudio de las relaciones de cooperación entre actores nacionales y foráneos participantes en el desarrollo de las vacunas contra la COVID-19, tanto en China como en Estados Unidos; destacamos dos fases de desarrollo y de uso de las vacunas para mostrar que, durante el tránsito de la primera a la segunda fase, China ha registrado un retroceso, mientras Estados Unidos ha realizado un progreso.

Finalmente, en la tercera parte, a partir del total de vacunas recibidas por las autoridades de las entidades políticas participantes en la OMS, destacamos los patrones de distribución geográfica correspondientes a las siete empresas principales fabricantes de vacunas, poniendo particular atención sobre Sinovac y Beijing CNBG, para mostrar que sus principales mercados regionales se encuentran en Asia.

El desarrollo de las vacunas contra la COVID-19

La figura 1 nos muestra el tiempo de desarrollo de las vacunas para combatir algunas de las enfermedades infecciosas que aquejan al género humano. En la parte superior, las barras rojas muestran el tiempo que llevan los investigadores trabajando para diseñar una vacuna, sin lograrlo todavía; los cinco ejemplos incluidos indican un abanico temporal que va de 32 (SIDA) a 142 años (Malaria). En la parte inferior, las barras azules muestran los lapsos transcurridos entre el descubrimiento de la causa microbiológica de una enfermedad infecciosa y el diseño de una vacuna para combatirla; en estos casos, el espectro temporal va de 1 (COVID-19) hasta 105 años (tifoidea). El aspecto más sobresaliente es, sin duda, la rapidez con que los investigadores lograron poner a punto no una, sino una amplia diversidad de vacunas para combatir la COVID-19.

Figura 1. Tiempo para desarrollar una vacuna*



*Lapso entre el descubrimiento de la causa microbiológica de una enfermedad infecciosa y el diseño de una vacuna. Fuente: elaboración propia, con información de AVAC (2021) y de Our World in Data (2022).

Ahora bien, de acuerdo con la OMS, existen tres métodos para fabricar vacunas y cada uno depende de los virus o de las partes de los virus

utilizadas para provocar la inmunización de las personas vacunadas (OMS, 2021). El primer método utiliza virus íntegros, es la técnica tradicional de las vacunas y se remonta a 1796, cuando Edward Jenner (1749-1823, naturalista, nacido en Berkley) inoculó material de una pústula de viruela de vacas en el brazo de un niño; dos meses más tarde, le inoculó material de una lesión de un enfermo de viruela y demostró que el niño había quedado “inmune” gracias a la primera inoculación (Quezada, 2020).

El recurrir a los virus que provocan una enfermedad infecciosa es la base del desarrollo de las vacunas; en la actualidad, los virus utilizados son debilitados, para limitar su reproducción dentro del cuerpo humano, o inertes, para evitar su reproducción. La vacuna de Codagenix recurre al coronavirus vivo atenuado para provocar la inmunización (COVID-19 Vaccine Tracker, 2022a), mientras la de Sinopharm utiliza el SARS-CoV-2 inerte, proveniente de enfermos de COVID-19 (Corum y Zimmer, 2021).

El segundo método utiliza solamente las proteínas (generalmente las S y, menos frecuentemente, las N) del coronavirus; este método también tiene dos variantes: una utiliza las proteínas tal como existen en el virus de la COVID-19, como en el caso de la vacuna Covovax del Serum Institute of India; la otra, agrupa las proteínas para simular virus (de ahí el nombre de “partículas similares a virus”, pues carecen del DNA del virus), como en el caso de la vacuna Nuvaxovid de Novavax (Novavax, 2022).

El tercer método recupera el ácido ribonucleico (ARN) o el ácido desoxirribonucleico (ADN) del virus; al ser inoculado uno u otro, las células del cuerpo humano reproducen las proteínas del virus y provocan la inmunización. Este método tiene más variantes, cada una de ellas depende del vehículo biológico utilizado para inocular el material genético del virus: debido a la fragilidad del ARN, Pfizer-BioNTech recurre a una cobertura de lípidos y ésta requiere una refrigeración de -70°C (Corum y Zimmer, 2021b). Las vacunas de ADN utilizan el del coronavirus para fabricar proteínas S y N, incorporadas a un plásmido inocuo para el cuerpo humano; la vacuna de la farmacéutica Scancell es un ejemplo de esta técnica (Scancell, s.f.).

Además, existen vacunas que utilizan virus o bacterias diferentes al de la COVID-19, para transmitir el material genético del SARS-CoV-2; cuando los virus o bacterias utilizados como vehículos de transmisión están vivos son denominados vectores virales replicantes; la vacuna contra la COVID-19 desarrollada por la Universidad de Texas y el Sinai Hospital, utiliza una combinación del virus de la enfermedad de Newcastle (vivo, pero inocuo para

los seres humanos) y una proteína del SARS-CoV-2 modificada y denominada HexaPro (Zimmer, 2021). Cuando los virus o las bacterias utilizados como vehículos son inertes, son llamados vectores virales no replicantes; la vacuna de Oxford-AstraZeneca utiliza el ADN de hélice doble modificado para no replicarse, en el interior de las células del adenovirus de chimpancé, utilizado como vector viral no replicante (Corum y Zimmer, 2021c). Estos dos últimos tipos de vacunas pueden, además, ser combinados con células presentadoras de antígenos para reforzar la reacción inmunizadora de las células del cuerpo humano.

Con el objetivo de ofrecer una aproximación al estado reciente del desarrollo de vacunas contra la COVID-19, la tabla 1 resume la situación presentada hacia finales de octubre de 2022 por la OMS, en su *COVID-19 Dashboard* sobre el desarrollo de las vacunas contra la enfermedad. Si tenemos en consideración los métodos utilizados para la fabricación de vacunas, resaltan cuatro aspectos:

Primero, en términos generales, la OMS daba cuenta de 370 vacunas en desarrollo; de esas, 171 (46.22%) ya eran usadas clínicamente en condiciones de emergencia; 35 eran producidas por farmacéuticas chinas y 41 por empresas estadounidenses. Las 199 (53.78%) restantes estaban en la fase de pruebas clínicas; 11 eran producidas por empresas chinas y 43 por firmas estadounidenses. Cierto, estas cifras totales no coinciden con las del COVID-19 Vaccine Tracker; aun cuando las dos páginas han sido consultadas en la misma fecha, la diferencia parecería indicar una desactualización de la base de datos de la OMS; no obstante, las cifras de la Organización indican que el trabajo de investigación para desarrollar nuevas vacunas es intenso; todavía más, indican una superioridad de las empresas localizadas en Estados Unidos sobre las ubicadas en China, en materia de desarrollo de vacunas en uso clínico, así como una ventaja incluso más amplia en este rubro en la fase experimental.

En segundo término, las basadas en los nueve tipos de vacunas ARN o ADN son predominantes (176 o 46.76% del total). De este tipo de vacunas, 87 ya estaban en uso clínico y otras tantas estaban en desarrollo experimental; eso significa que, si bien ha habido una predilección inicial por este tipo de vacunas, los científicos han tendido a interesarse en el desarrollo de otras técnicas para producir vacunas, como las basadas en las proteínas del virus. Más allá de esa suerte de estancamiento en el desarrollo de vacunas ARN y DNA, podemos constatar un rezago de la producción de estos tipos en China

con respecto a Estados Unidos; en efecto, mientras en China son utilizadas 17 vacunas basadas en ARN o ADN, en Estados Unidos la cifra es de 25.

En materia de las vacunas en fase experimental, el rezago es todavía más marcado: siete vacunas en desarrollo en el caso chino y 17 en el estadounidense. En cuanto al tipo de vacunas en uso, el predominio va a las vacunas de ARNm, seguidas por las basadas en un vector viral no replicante, las de ADN y las de vector viral replicante.

En tercera instancia, las vacunas basadas en las proteínas del coronavirus ocupan el segundo lugar, con un total de 157 (42.43% del total). De esa cantidad, 61 (38.85%) están en uso clínico y las vacunas hechas en China registran desventaja marginal (12) ante las producidas en Estados Unidos (14); en ambos países, es notable la preferencia por el desarrollo de vacunas basadas en proteínas del coronavirus. Las 96 restantes (61.15%) corresponden a las vacunas en pruebas clínicas; en este grupo, el aspecto destacado es el diferencial existente entre las 19 vacunas del tipo partículas similares a virus en desarrollo, con respecto a las seis del mismo tipo utilizadas clínicamente. En este caso, el rezago de las vacunas producidas en China es todavía más marcado con respecto a las hechas en Estados Unidos: en el país asiático sólo son producidas tres vacunas basadas en proteínas, en el norteamericano han sido desarrolladas 19 de proteínas y 24 de partículas similares a virus.

Finalmente, las vacunas basadas en el uso de virus atenuados o inactivos tan sólo llegan a 38 (10.27% del total), denotando una baja preferencia por las técnicas tradicionales para la producción de vacunas contra la COVID-19. Esta situación es puesta de realce por la reducción del número de vacunas en experimentación (14) con respecto a las usadas clínicamente (24). Ahora bien, mientras las empresas farmacéuticas ubicadas en China han optado por privilegiar la técnica de los virus inactivos (seis vacunas en uso clínico y una en desarrollo), las localizadas en Estados Unidos han puesto al alcance de las autoridades sanitarias dos basadas en virus vivos atenuados, pero se han concentrado exclusivamente en el desarrollo de tres vacunas de virus inactivos.

Tabla 1. Participación de China y de Estados Unidos en el desarrollo de vacunas contra la COVID-19, en uso clínico y en pruebas clínicas

Base de la vacuna	Tipo de vacuna	Total		En uso clínico		China		EEUU		En pruebas clínicas		China		EEUU	
		Total	%	Total	%	Sub total	%	Sub total	%	Total	%	Sub total	%	Sub total	%
	Total	370	100.00	171	100.00	35	20.47	41	23.98	199	100.00	11	5.53	43	21.61
Virus íntegros	Virus inactivos	33	8.92	22	12.87	6	27.27			11	5.53	1	9.09	3	27.27
	Virus vivos atenuados	5	1.35	2	1.17			2	100.00	3	1.51				
Proteínas del coronavirus	Subunidad de proteínas	132	35.68	55	32.16	11	20.00	14	25.45	77	38.69	3		19	24.68
	Partículas similares a virus	25	6.76	6	3.51	1	16.67			19	9.55			4	21.05
RNAm o DNA	Ácido Ribonucleico mensajero (ARNm)	65	17.57	40	23.39	9	22.50	16	40.00	25	12.56	4	16.00	5	20.00
	Ácido Desoxirribonucleico (ADN)	32	8.65	16	9.36	2	12.50	2	12.50	16	8.04			1	6.25
	Vector viral (Non-replicante)	48	12.97	23	13.45	3	13.04	6	26.09	25	12.56	2	8.00	8	32.00
	Viral vector (No-replicante) + Células presentadoras de antígenos	1	0.27	1	0.58	1	100.00								
	Vector viral (Replicante)	23	6.22	4	2.34	1	25.00	1	25.00	19	9.55	1	5.26	3	15.79
	Viral vector (Replicante) + Células presentadoras de antígenos	2	0.54	2	1.17	1	50.00								
	Vector bacterial vivo atenuado	2	0.54							2	1.01				
	De base celular	1	0.27							1					
	BacAg-SPV	2	0.54	1	0.58	1	100.00			1	0.50				

Fuente: elaboración propia, con información de la OMS (2022). Actualizada a octubre de 2022.

Este panorama parecería indicar un desuso progresivo de las técnicas tradicionales para producir vacunas y una adopción muy rápida de las tecnologías utilizadas para crearlas contra otras enfermedades infecciosas, en el combate contra la COVID-19. En ese sentido, lo novedoso es, por un lado, la capacidad de los ingenieros biomédicos para adaptar esas tecnologías a un nuevo virus que afecta la salud de los humanos; por el otro, la celeridad con que las autoridades nacionales e internacionales han aprobado el uso clínico de las vacunas. Nótese que se trata de un uso condicionado por la situación de emergencia, gracias a lo cual no fue necesaria la espera de un tiempo extenso para obtener las aprobaciones oficiales indicadas en el inicio de este trabajo. Por otra parte, dada la extensa difusión geográfica de las nuevas técnicas para la producción de vacunas contra la COVID-19, todo indica que se trata de tecnologías ampliamente difundidas y, en ocasiones, cuando las vacunas utilizan procesos tecnológicos patentados, la cesión de derechos, mediante pago o de manera gratuita¹, han permitido este rápido desarrollo de las vacunas requeridas para enfrentar la situación de emergencia.

Con respecto al desarrollo de vacunas contra la COVID-19 por empresas farmacéuticas localizadas en China y en Estados Unidos, hemos visto que las segundas superan a las primeras en términos del número de vacunas, tanto en uso clínico como en fase experimental, en todos los rubros, con excepción de las vacunas que utilizan virus inactivos y que se encuentran en fase de desarrollo. Como veremos a continuación, este rezago puede deberse, en gran parte, al hecho de que en Estados Unidos se localiza un mayor número de empresas farmacéuticas que en China; pero, también, a que las capacidades de investigación y desarrollo de las empresas localizadas en Estados Unidos son mayores que las de aquellas establecidas en China; este último tema puede ser objeto de un trabajo de investigación posterior más profundo.

¹ Las empresas Johnson&Johnson, Moderna, Pfizer-BioNTech, Novavax y Sanofi utilizan proteínas del coronavirus modificadas genéticamente, denominadas 2P y patentadas por la University of Texas. Los investigadores de esta institución han introducido nuevas modificaciones genéticas a las proteínas del coronavirus, patentadas ahora bajo el nombre HexaPro; en colaboración con el Mont Sinai Hospital, han utilizado la técnica para producir una vacuna contra el ébola, basada en el uso del virus (inocuo para los humanos) de la enfermedad aviar de New Castle como vector viral replicante, para inocular las proteínas HexaPro del coronavirus en los humanos. El nuevo proceso ha sido cedido de forma gratuita para producir masivamente vacunas en Brasil, México, Tailandia y Vietnam (Cross, 2021; Zimmer, 2021).

Actores involucrados en el desarrollo de vacunas

Un aspecto interesante de la información proporcionada por la OMS sobre el desarrollo de las vacunas contra la COVID-19 es el referente a quienes están involucrados en los trabajos de investigación y desarrollo. Podemos sistematizar la información de la Organización en cuatro tipos de actores y cada uno de ellos dividido en dos subcategorías (nacionales y foráneos); así, tenemos cuatro tipos de actores, igualmente nacionales y extranjeros, excepto en el último caso, como se señala: empresas, centros de investigación adscritos a universidades, agencias gubernamentales responsables de las políticas sanitarias, y organizaciones no gubernamentales (para nuestro caso, consideramos todas ellas de carácter internacional)².

Hemos construido la tabla 2 sobre la base de los actores que, según la OMS, participan en el desarrollo de cada vacuna particular incluida en la base de datos del *COVID-19 Dashboard*. Nuestra finalidad es comparar el estado actual en que se encuentran las relaciones entre actores involucrados en el desarrollo de vacunas en China y en Estados Unidos, tanto en uso clínico, como en pruebas clínicas.

El primer aspecto que sobresale en la tabla 2 es la importancia de las empresas en el desarrollo de las vacunas. En relación con las que ya están en uso clínico:

- De 35 producidas en China, 31 implican empresas locales y 11 involucran agencias gubernamentales; en orden de importancia, sigue la participación asociada de nueve empresas locales, cinco empresas de otros países, tres universidades locales y dos ONG. Con respecto al tipo de vacunas en uso clínico, ya hemos señalado que 11 corresponden a las basadas en proteínas del coronavirus; nueve a ARNm, y seis a virus inactivos.
- De 41 producidas en Estados Unidos, 38 cuentan con la participación de empresas y las agencias gubernamentales participan solamente en cinco; con el mismo número (tres) de participa-

2 Un aspecto no del todo claro de la información proporcionada por la OMS es la importancia de cada actor en el orden que son citados. Suponemos que el primer actor es el líder de las iniciativas; sin embargo, dada la incertidumbre sobre ese hecho, para nuestro estudio, optamos por no tener en cuenta este tipo de información.

ciones siguen: otras empresas locales, empresas de otro país, universidades y ONG. En cuanto al tipo de vacunas, destacan 16 basadas en ARNm; 14 en unidades proteicas y en vectores virales no replicantes.

Con respecto a las vacunas todavía en fase de pruebas clínicas:

- La investigación y desarrollo en China ha sufrido un retroceso, en relación con las vacunas en uso clínico; en efecto, en el primer caso, la OMS tan solo registra 11 nuevas vacunas; en su producción participaron 10 empresas, asociadas con siete universidades locales, dos empresas locales, una agencia gubernamental y una ONG. Este retroceso va aparejado con una regresión de la participación gubernamental y de actores internacionales (la excepción es la participación de una sola ONG), así como con un incremento en el involucramiento de las universidades chinas.
- La investigación y desarrollo en Estados Unidos se intensificó, al aumentar hasta 43 el número de vacunas en pruebas clínicas; ese incremento, a su vez, es resultado de la combinación de un retroceso considerable de la participación de empresas (28) y de un progreso notable de los trabajos realizados en universidades (21 de carácter local) y/o en asociación con empresas foráneas (siete). La participación gubernamental también registró movimientos contrastados: se redujo la participación de agencias locales (dos), pero se incrementó la de instituciones de gobiernos extranjeros (tres). En cuanto a las ONG, su participación fue en tres iniciativas, como en el caso de las vacunas en uso clínico.

Tabla 2. Actores involucrados en el desarrollo de vacunas en uso clínico y en pruebas clínicas

	En uso clínico	Virus inactivos	Virus vivos atenuados	Subunidad de proteínas	Partículas similares a virus	Ácido ribonucleico mensajero (ARNm)	Ácido Desoxirribonucleico (ADN)	Vector viral (No-replicante)	Viral vector (No-replicante) + Células presentadoras de antígenos	Vector viral (Replicante)	Viral vector (Replicante) + Células presentadoras de antígenos	Vector bacterial vivo atenuado	De base celular	En pruebas clínicas	Virus inactivos	Virus vivos atenuados	Subunidad de proteínas	Partículas similares a virus	Ácido ribonucleico mensajero (ARNm)	Ácido Desoxirribonucleico (ADN)	Vector viral (No-replicante)	Viral vector (No-replicante) + Células presentadoras de antígenos	Vector viral (Replicante)	Viral vector (Replicante) + Células presentadoras de antígenos	Vector bacterial vivo atenuado	De base celular	BackAg-SPV			
China	35	6	11	1	1	9	2	3	1	1	1	1	1	1	11	1	3	3	4	4	2	2	1							
Empresa 1	31	3	11	1	1	9	2	3		1	1			1	10	1	3	4	4	4	2	2								
Empresa 2	9	2	3			4									2	1					1									
Empresa otro país	5		2			2	1																							
Universidad 1	2						1			1				5		1	1	3	3	2										
Universidad 2	1									1				2				2	1											
Gobierno	11	2	3	3	2	2	1	1		1				1				1	1											
Gobierno otro país																														
ONG	2		1	1			1							1			1													
EEUU	41	2	14	16	2	16	2	6	1	1				43	3	19	4	5	5	1	8	3								
Empresa 1	38	2	13	16	1	16	1	5	1	1				28	3	10	2	4	4	1	5	3								
Empresa 2	3		3																											
Empresa otro país	3					2	1							7	2	4					1*	1								
Universidad 1	3		1				1	1		1				19		10	2	1	1	5	1	1								
Universidad 2														2		1				1	1									
Gobierno	5		2	2	1									2		2														
Gobierno otro país	1		1											3		1														
ONG	3						2	1						3		3				1	2	2								

Fuente: elaboración propia, con información de la OMS (2022). Actualizada a octubre de 2022.

Podemos decir que, en materia del desarrollo de vacunas, han existido dos fases: la primera, determinada por la urgencia de mitigar las infecciones y reducir el número de muertes ligadas a la COVID-19, corresponde a la creación y autorización para uso de emergencia de las vacunas ahora en uso clínico. Durante esta fase, tanto en China como en Estados Unidos, las empresas fueron los principales actores de la investigación y el desarrollo; en ambos casos, es importante señalar la cooperación entre empresas locales y empresas foráneas; en el caso de Estados Unidos, esa cooperación incluyó agencias gubernamentales de otros países. La urgencia de contar con vacunas se impuso sobre los pruritos políticos.

Durante la segunda fase del desarrollo de vacunas, la emergencia disminuyó y los gobiernos han tendido a desentenderse, tanto de la pandemia como de sus consecuencias sociales. Debido a ese desentendimiento, las vacunas en experimentación clínica siguen siendo desarrolladas por empresas, pero ahora con una mayor participación de los centros de investigación y desarrollo, así como con un menor involucramiento directo de los gobiernos a través de sus agencias responsables de las políticas sanitarias. En China, la cooperación internacional ha desaparecido, mientras que en Estados Unidos se ha reforzado.

Las vacunas hechas en China en el mercado global de vacunas

- a. Pese a la proliferación de vacunas en uso clínico y en pruebas clínicas, el mercado mundial ha sido dominado por unas cuantas de ellas; en efecto, la tabla 3 contiene las informaciones de la OMS sobre las vacunas recibidas por las autoridades sanitarias de las entidades políticas participantes en la Organización. Cabe hacer notar que las regiones establecidas por la OMS difieren ampliamente de criterios geográficos comúnmente establecidos; por lo tanto, en la tabla 3 hemos reorganizado las regiones, para ajustarlas a las divisiones continentales y regionales tradicionales. Por otra parte, debemos hacer notar cuatro cosas:
- b. Primero, la información no incluye países como la República de Corea, República Popular Democrática de Corea, Rusia, Turquía o la República Popular China, pese a ser miembros de la OMS.

- c. Segundo, algunas autoridades gubernamentales (por ejemplo, de Australia, Canadá, Estados Unidos, Israel, Japón, y la mayoría de los miembros de la Unión Europea) no proporcionan informaciones cuantitativas sobre las vacunas recibidas; en contraste, indican el fabricante de las vacunas; debido a ello, por ejemplo, la tabla 3 indica 0 para América del Norte, en todos los casos de las vacunas autorizadas por la Food and Drugs Administration (FDA); el 0 significa que la vacuna ha sido usada, pero que el gobierno no ha notificado cuántas dosis ha recibido; en cambio, un – significa que una vacuna en particular no ha sido usada en un país, o en una región geográfica.
- d. Tercero, debido a lo indicado en los dos incisos anteriores, el total de dosis entregado a los gobiernos es subvaluado, pues no incluye las estadísticas correspondientes a los países ahí mencionados. Aun así, las informaciones de la OMS permiten establecer un panorama sobre el uso de las vacunas en la escala global.

Cuarto, la primera columna indica el nombre del fabricante de vacunas y no el tipo de vacunas; esto se debe a que la evolución del coronavirus ha exigido desarrollar vacunas para contrarrestar sus variantes; la inclusión de las diversas vacunas de un fabricante hubiera complicado la presentación gráfica de la información.

Teniendo esto en cuenta, el primer aspecto sobresaliente es el contraste entre las 370 vacunas registradas por la OMS, en uso clínico y en pruebas clínicas (tabla 1) y los escasos 28 (7.57%) fabricantes de vacunas incluidos en la tabla 3. De una u otra manera, esto significa que muy pocas de las vacunas desarrolladas han alcanzado un uso internacional notorio; así, podemos ver que de los 28 fabricantes incluidos en la tabla 3, la OMS proporciona información para 22 de ellos; con frecuencia, esas informaciones son incompletas, como indica la mención “0” que aparece cuando la Organización detecta sin cuantificar el uso de una vacuna; así, de esos 22 fabricantes, sólo siete tienen presencia en los cinco continentes, aunque no necesariamente en todas las regiones geográficas. Comenzaremos concentrando nuestra atención en esos siete fabricantes.

En conjunto, las autoridades de las entidades políticas participantes en la OMS han solicitado a los fabricantes de vacunas, prácticamente 26,000 millones de dosis; si tenemos en cuenta que las estimaciones sobre el tamaño de la población mundial indican que ésta ha llegado recientemente a 8,000

millones de personas (Naciones Unidas, 2022); esa cantidad alcanzaría para una vacunación doble y un refuerzo por cada habitante del planeta. Ahora bien, de esos casi 26,000 millones de dosis, los siete primeros fabricantes del listado se distinguen de los restantes, como hemos mencionado, por concentrar el 93.50% de las solicitudes gubernamentales. De esos siete fabricantes, dos están localizados en China, cinco en Reino Unido, Estados Unidos, India y Bélgica, con una de ellas producida por un tándem germano-estadounidense.

Por otra parte, de acuerdo con la tabla 3, las dos farmacéuticas establecidas en China (Sinovac y Beijing CNBG, también conocida como Sinopharm) ocupan los lugares 1 y 4 del listado, concentrando 37.19% del total de dosis. Los lugares 2 y 3 son ocupados por las vacunas de Pfizer-BioNTech y Oxford-AstraZeneca, con 39.53% (23.11% y 16.42% respectivamente) acumulado del total de dosis. Las vacunas de Moderna y del Serum Institute of India concentran un 13.30% adicional, mientras otro 3.47% corresponde a Janssen.

La distribución geográfica de las dosis por fabricante ofrece otra dimensión del fenómeno estudiado: en primer término, dada la concentración geográfica de la población en el continente asiático, es normal que las dosis de vacunas también se concentren en esa área geográfica: en términos generales, de los 26,000 millones de dosis, 59.16% corresponde a Asia; le siguen América Latina y el Caribe, con 20.18%³; Europa, con 11.92%; África, con 8.42% y Oceanía, con 0.32%⁴. En segundo lugar, los siete fabricantes más importantes denotan tres patrones geográficos predominantes:

Por un lado, para Beijing CNBG, Sinovac y Serum Institute of India (SII), Asia es el mercado predominante; el continente representa 77.05%, 80.53% y 91.51%, de las dosis totales entregadas por cada fabricante; por otra parte, dentro del continente, la distribución es muy diferente: las del SSI y Sinovac se concentran esencialmente en el área de influencia de India y de China; en consecuencia, el Sur de Asia absorbe el 87.37%.

³ Las dosis correspondientes a las Américas, Europa y Oceanía están ampliamente subvaluadas: no incluyen las correspondientes a Canadá, Estados Unidos, la mayoría de los países de la Unión Europea y Australia.

⁴ Nótese: los países insulares del Pacífico, por su situación geográfica, han sido los menos afectados por la pandemia; además, las cifras no incluyen a Australia, ni el total de los países de Oceanía.

Tabla 3. Vacunas recibidas, por tipo de vacunas, así como por región y subregión geográficas

	Total	Asia			
		Total	Asia Oriental	Asia del Sur	Asia central
Población (1 julio 2022)	7,973,413,043	4,721,383,274	2,344,325,113	2,007,549,713	77,039,830
Dosis/habitante	3.25	3.25	3.30	2.52	5.49
Total dosis recibidas	25,953,201,305	15,353,555,244	7,745,488,582	5,064,756,754	423,105,285
Sinovac	6,172,780,473	4,970,851,473	3,769,452,656	1,005,079,710	194,319,107
Pfizer BioNTech	5,997,680,492	2,465,301,624	1,592,672,770	754,147,493	50,895,607
AstraZeneca	4,260,732,521	1,959,870,113	1,413,759,760	302,270,990	15,296,028
Beijing CNBG	3,479,871,903	2,681,362,340	98,800,356	1,201,498,008	44,150,000
Moderna	2,118,324,908	835,125,245	527,882,000	256,308,405	14,197,840
Serum Institute of India	1,333,848,854	1,220,579,000	31,332,000	1,165,446,000	15,002,000
Janssen	901,792,836	246,027,240	124,384,600	12,860,940	85,207,400
Gamaleya	723,425,221	185,891,303	94,861,000	40,800,000	2,396,303
Cansino	307,445,112	197,776,348	18,431,140	179,345,208	
Bharat	165,156,000	156,441,000	0	147,000,000	441,000
Shifa	140,471,658	140,471,658			
Vaxine	80,000,000	80,000,000			
Novavax	78,061,500	71,403,500	71,403,500		
Pasteur Institute of Iran	66,450,000	66,450,000			
Wuhan CNBG	41,114,957	3,048,800	1,408,800		1,200,000
Ravi	33,644,600	33,644,600			
Baqiyatallah University	13,000,000	13,000,000			
Finley	12,427,870	8,180,000			
Chumakov	9,935,400	8,136,000			
ODIR	7,925,000	7,925,000			
Julphar	4,850,000	1,100,000	1,100,000		
CIGB	120,000	120,000			
Anhui ZL	0	0			
Curevac	0				
Medicago	0				
Sanofi	0				
SRCVB	0	0			0
Valneva	0				
Otras	4,142,000	850,000			

Fuente: elaboración propia, con información de la OMS (2022). Actualizada al 30 de noviembre de 2022.

Tabla 3. Vacunas recibidas, por tipo de vacunas, así como por región y subregión geográficas

	Total	Cercano y Medio Oriente	Américas		
		Total	Total	América del Norte	América Latina y el Caribe
Población (1 julio 2022)	7,973,413,043	292,468,618	1,037,112,744	600,296,136	436,816,608
Dosis/habitante	3.25	7.25	5.05	0.00	11.99
Total dosis recibidas	25,953,201,305	2,120,204,623	5,236,072,124	0	5,236,072,124
Sinovac	6,172,780,473	2,000,000	812,644,026		812,644,026
Pfizer BioNTech	5,997,680,492	67,585,754	1,359,565,870	0	1,359,565,870
AstraZeneca	4,260,732,521	228,543,335	1,283,017,780	0	1,283,017,780
Beijing CNBG	3,479,871,903	1,336,913,976	385,109,800		385,109,800
Moderna	2,118,324,908	36,737,000	695,105,780	0	695,105,780
Serum Institute of India	1,333,848,854	8,799,000	26,758,784		26,758,784
Janssen	901,792,836	23,574,300	113,463,030	0	113,463,030
Gamaleya	723,425,221	47,834,000	432,848,420		432,848,420
Cansino	307,445,112		109,668,764		109,668,764
Bharat	165,156,000	9,000,000	6,600,000		6,600,000
Shifa	140,471,658	140,471,658			
Vaxine	80,000,000	80,000,000			
Novavax	78,061,500		0	0	
Pasteur Institute of Iran	66,450,000	66,450,000			
Wuhan CNBG	41,114,957	440,000			
Ravi	33,644,600	33,644,600			
Baqiyatallah University	13,000,000	13,000,000			
Finley	12,427,870	8,180,000	4,247,870		4,247,870
Chumakov	9,935,400	8,136,000			
ODIR	7,925,000	7,925,000			
Julphar	4,850,000	0	3,750,000		3,750,000
CIGB	120,000	120,000			
Anhui ZL	0				
Curevac	0				
Medicago	0		0	0	
Sanofi	0		0	0	
SRCVB	0				
Valneva	0				
Otras	4,142,000	850,000	3,292,000		3,292,000

Fuente: elaboración propia, con información de la OMS (2022). Actualizada al 30 de noviembre de 2022.

Tabla 3. Vacunas recibidas, por tipo de vacunas, así como por región y subregión geográficas

	Total	Europa	África	Oceanía
		Total	Total	Total
Población (1 julio 2022)	7,973,413,043	743,147,538	1,426,730,933	45,038,554
Dosis/habitante	3.25	4.16	1.53	1.86
Total dosis recibidas	25,953,201,305	3,094,119,124	2,185,552,153	83,902,660
Sinovac	6,172,780,473	135,355,032	253,929,942	
Pfizer BioNTech	5,997,680,492	1,776,717,215	335,329,523	60,766,260
AstraZeneca	4,260,732,521	455,810,218	555,414,810	6,619,600
Beijing CNBG	3,479,871,903	43,083,183	367,116,580	3,200,000
Moderna	2,118,324,908	490,778,723	97,315,160	0
Serum Institute of India	1,333,848,854	7,000,000	76,984,070	2,527,000
Janssen	901,792,836	116,089,720	415,493,046	10,719,800
Gamaleya	723,425,221	60,897,633	43,787,865	
Cansino	307,445,112	0	0	
Bharat	165,156,000	0	2,115,000	
Shifa	140,471,658			
Vaxine	80,000,000			
Novavax	78,061,500	6,588,000		70,000
Pasteur Institute of Iran	66,450,000			
Wuhan CNBG	41,114,957		38,066,157	
Ravi	33,644,600			
Baqiyatallah University	13,000,000			
Finley	12,427,870			
Chumakov	9,935,400	1,799,400		
ODIR	7,925,000			
Julphar	4,850,000			
CIGB	120,000			
Anhui ZL	0			
Curevac	0	0		
Medicago	0			
Sanofi	0	0		
SRCVB	0			
Valneva	0	0		
Otras	4,142,000			

De las dosis correspondientes a la primera farmacéutica y, si bien ésta tiene presencia en los cinco continentes, en los cuatro restantes sería considerada mínima. Por otra parte, Asia Oriental y el Sur de Asia absorben 61.07% y 16.28% de las dosis de Sinovac; mientras, la demanda para Beijing CNBG se divide entre Asia del Sur (34.53%) y el Cercano y Medio Oriente (38.42%). Mención especial merecen dos circunstancias: para Sinovac y Beijing CNBG, América Latina y el Caribe es el tercer mercado regional y, pese a ser la empresa fabricante de vacunas más importante, Sinovac no tiene presencia en Oceanía.

Por otro lado, en cuanto a Moderna, Pfizer-BioNTech y AstraZeneca la demanda es geográficamente más diversificada; por supuesto, dado el peso poblacional de Asia, en ese continente se concentra la mayor proporción de la demanda para cada empresa: 39.42%, 41.10% y 46.00% respectivamente; en los tres casos, Asia Oriental y Asia del Sur son los principales componentes regionales. Aunque los patrones de distribución geográfica difieren en cada caso, América Latina y el Caribe, Europa y África son los mercados de segunda y tercera importancia para estas tres empresas.

Finalmente, el patrón geográfico de Janssen es completamente diferente: su principal componente es África, con 46.07% de las dosis proporcionadas por esa empresa; en orden de importancia, al continente africano siguen Asia, Europa y América Latina y el Caribe.

Ahora bien, estos patrones geográficos, en gran medida, dependen de las regulaciones establecidas por cada gobierno para autorizar vacunas específicas; el chino, por ejemplo, sólo ha autorizado vacunas hechas en China, por empresas de ese país; en ese sentido, la tabla 4 muestra que, de ocho vacunas autorizadas por Beijing, cinco son producidas por las tres empresas más importantes y las tres restantes son vacunas que podrían ser consideradas prácticamente locales, aunque gobiernos como el de Indonesia hayan autorizado algunas de ellas, incluso sin ser usadas oficialmente en China.

Los gobiernos de los llamados países avanzados han autorizado básicamente las mismas vacunas fabricadas por farmacéuticas transnacionales y por empresas locales (Medicago, Takeda, SK Bioscience, Medigen) o regionales (Sanofi-GSK y Valneva); además, se han distinguido por no autorizar el uso de vacunas hechas en china o por empresas chinas. En la Unión Europea, Dinamarca y Hungría se diferencian, la primera, por autorizar solamente 10 de las 11 vacunas reconocidas por las autoridades sanitarias de la Unión y, la segunda, por ampliar la autorización a las vacunas producidas por SII, Gamaleya, Cansino y Beijing CNBG.

Entre China y los países “avanzados” se encuentran los países restantes, cuyos gobiernos se han visto compelidos a solicitar vacunas tanto de las farmacéuticas transnacionales como de las empresas chinas; Indonesia, como hemos mencionado, destaca por haber autorizado no únicamente las vacunas de las tres empresas chinas más importantes, sino también las de otras cuatro secundarias.

Podemos, en consecuencia, concluir que la política de acceso a las vacunas ha estado marcada y determinada por intereses políticos; en esta relación entre intereses políticos y política sanitaria traslucen los diferendos que oponen a China no sólo con el gobierno estadounidense, sino también con los gobiernos de los países “avanzados”.

Tabla 4. Vacunas autorizadas por los gobiernos, por fabricante

	Total	Pfizer-BioNTech	Moderna	Janssen	Novavax	Oxford-AstraZeneca	SII*	Gamaleya	Bharat Biotech	Abdala	Medicago	Takeda	SK Bioscience	Medigen	Sanofi-GSK	Valneva	Cansino	Beijing CNBG	Sinovac	Anhui Zhifei Longcom	Livzon Mabpharm	Shenzhen Kangtai	PT Bio Farma	Walvax	
Estados Unidos	6	2	2	1	1																				
Canadá	11	3	3	1	1	1	1				1														
Japón	8	3	2			1						2													
Corea	8	2	2	1	1	1							1												
Taiwán	6	1	2		1	1								1											
Australia	7	2	2	1	1	1																			
Nueva Zelanda	4	1		1	1	1																			
Unión Europea	11	3	3	1	1	1									1	1									
Dinamarca	10	3	3	1	1									1	1										
Hungría	15	3	3	1	1	1	1	1						1	1	1	1	1							
China	8																2	2	1	1	1	1			
Hong Kong	2	1																	1						
Indonesia	13	1	1	1		1	1	1									1	1	1	1		1	1	1	1
Filipinas	11	1	1	1		1	1	2	1																
Vietnam	8	1	1	1		1	1	1	1	1															

* Serum Institute of India, producción de la vacuna de Oxford-AstraZeneca

Fuentes: elaboración propia, con información de COVID-19 Vaccine Tracker (2022). Actualizada al 1 de diciembre de 2022.

Conclusiones

El aspecto más importante derivado de nuestro estudio es, quizás, la relación entre intereses políticos y política sanitaria puesta en evidencia por las autorizaciones gubernamentales para usar unas vacunas y excluir otras. En ese sentido, la mayoría de los gobiernos de los países “avanzados” ha establecido una suerte de consenso para autorizar las vacunas de las farmacéuticas transnacionales Pfizer-BioNTech, Moderna, Janssen, Novavax y Oxford-AstraZeneca, así como para excluir las vacunas fabricadas por las empresas chinas. En contraparte, el gobierno chino ha autorizado las vacunas hechas por empresas chinas y excluido todas las fabricadas en el exterior. Debido a ello, la competencia por el mercado global de las vacunas se ha desarrollado esencialmente en los países en desarrollo.

Hemos visto que, debido a la concentración de la población mundial en Asia, este continente es el principal mercado para las grandes empresas manufactureras de vacunas. Ahora bien, teniendo en cuenta los principales mercados regionales podemos encontrar una lógica geográfica basada en el ámbito de influencia de los gobiernos de los países originarios de los fabricantes de vacunas: para Sinovac, Asia Oriental y Asia del Sur son los principales segmentos regionales de su mercado global; para Beijing CNBG, lo son Asia del Sur y el Cercano y Medio Oriente. Para las farmacéuticas no chinas, además de su interés por los mercados regionales asiáticos, destaca su presencia en América Latina y el Caribe y Europa, así como, en menor medida, África y Oceanía.

Estos patrones geográficos plantean interrogantes que merecen ser respondidas mediante una agenda de investigación más profunda y diversificada, con la finalidad de comprender: hasta qué grado las tecnologías utilizadas por las empresas productoras de vacunas influyen sobre las preferencias de los gobiernos consumidores de vacunas; cuáles son las nuevas pautas de cooperación entre los actores participantes en el desarrollo de vacunas; en qué medida las empresas chinas pueden adaptarse a una competencia marcada por el uso de nuevas tecnologías para producir las vacunas requeridas por la mitigada emergencia sanitaria; hasta dónde pueden influir las protestas sociales recientes en China para el abandono de la política “cero COVID-19” y la adopción de un programa de vacunación dinámico adaptado a las mutaciones del virus.

En todo caso, los datos disponibles muestran, en el caso de las empresas localizadas en China, una disminución del involucramiento gubernamental.

mental en el desarrollo de nuevas vacunas; en consecuencia, la pregunta en el aire consiste en saber si eso tendrá una influencia decisiva sobre el papel de las empresas localizadas en China en el mercado global de las vacunas.

Referencias

- AVAC. (2021). *Vaccine development history*. <https://www.avac.org/infographic/vaccine-development-history>
- COVID-19 Vaccine Tracker. (2022). *By the numbers*. <https://covid19.trackvaccines.org/>
- COVID-19 Vaccine Tracker. (2022a). *Codagenix Inc: COVI-VAC*. <https://covid19.trackvaccines.org/vaccines/59/>
- Corum, J. y Zimmer, K. (2021a, 4 de agosto). Cómo funciona la vacuna de Sinopharm. *NYTimes.com* <https://www.nytimes.com/es/interactive/2021/health/sinopharm-vacuna-covid.html>
- Corum, J. y Zimmer, K. (2021b, 21 de enero). Cómo funciona la vacuna de Pfizer-BioNTech. *NYTimes.com* <https://www.nytimes.com/es/interactive/2021/health/pfizer-biontech-vacuna-covid.html>
- Corum, J. y Zimmer, K. (2021c, 5 de marzo). Cómo funciona la vacuna de Oxford-AstraZeneca. *NYTimes.com* <https://www.nytimes.com/es/interactive/2021/health/oxford-astrazencana-vacuna-covid.html>
- Cross, R. (2021, 8 de abril). UT Austin and Mont Sinai partner to create low-cost COVID-19 vaccine. *Chemical and Engineering News*. <https://cen.acs.org/pharmaceuticals/vaccines/UT-Austin-Mount-Sinai-partner/99/i13>
- Elbaum, R. y Smith, A. (2020, 2 de diciembre). U.K. becomes first country to approve Pfizer-BioNTech COVID-19 vaccine. *NBC News* <https://www.nbcnews.com/news/world/u-k-becomes-first-country-approve-pfizer-biontech-covid-19-n1249651>
- Food and Drug Administration (FDA). (2021, 23 de agosto). FDA Approves First Covid-19 Vaccine. <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-approves-first-covid-19-vaccine#:~:text=Today%2C%20the%20U.S.%20Food%20and,-years%20of%20age%20and%20older>
- Food and Drug Administration (FDA). (2022, 29 de noviembre). *COVID-19 Vaccines*. <https://www.fda.gov/emergency-preparedness-and-response/coronavirus-disease-2019-covid-19/covid-19-vaccines>
- Naciones Unidas. (2022). *World Population to reach 8 billion on 15 November 2022*. <https://www.un.org/en/desa/world-population-reach-8-billion-15-november-2022>
- Novavax. (2022). *Our recombinant, protein based nano-particle vaccine technology*. <https://www.novavax.com/science-technology/recombinant-protein-based-nanoparticle-vaccine-technology>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). *WHO issues its first emergency use validation for a COVID-19 vaccine and emphasizes need for equitable global access*. <https://www.who.int/news/item/31-12-2020-who-issues-its-first-emergency-use-validation-for-a-covid-19-vaccine-and-emphasizes-need-for-equitable-global-access>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *Los distintos tipos de vacunas que existen*. <https://www.who.int/es/news-room/feature-stories/detail/the-race-for-a-covid-19-vaccine-explained>

- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). *COVID-19 Dashboard*. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMWNjNzZkNjctZTNiNy00YmMzLTkxZjQtNmJiZDM2MTYxNzEwli-widCI6ImY2MTBjMGI3LWJkMjQtNGl3OS04MTBiLTNkYzI4MGFmYjU5MCIslmMiOjh9>
- Our World in Data. (2022). *Vaccination Innovation from 1880 to 2020*. <https://ourworldindata.org/vaccination>
- Quezada, A. (2020). Los orígenes de la vacuna. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 31(3-4). <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-medica-clinica-las-condes-202-pdf-S0716864020300535>
- Reuters. (2020, 30 de diciembre). *China gives its first COVID-19 vaccine approval to Sinopharm*. <https://www.reuters.com/article/us-health-coronavirus-vaccine-china-idUSKBN29505P>
- Scancell. (s.f). *Covidity*. <https://www.scancell.co.uk/covidity>
- Weintraub, A. (2020, 17 de abril). It could take 5 year for 2 leading COVID-19 vaccines to debut, AI analysis find. *Fierce Pharma*. <https://www.fiercepharma.com/pharma/don-t-count-a-covid-19-vaccine-for-at-least-five-years-says-ai-based-forecast>
- Zimmer, C. (2021, 12 de julio). Researchers are hatching a low-cost coronavirus vaccine. *NYTimes.com* <https://www.nytimes.com/2021/04/05/health/hexapro-mclellan-vaccine.html>