

COVID-19: Determinantes de los niveles de vacunación (20/10/2021)

Miguel Messmacher Linartas¹

Director Centro Covid-19

Quisimos revisar que factores han sido más importantes para determinar el grado de avance en la vacunación, con el objeto adicional de poder evaluar que países parecen haber tenido un mejor desempeño y cuáles han tenido retrasos relativos. Para lo anterior, especificamos un modelo econométrico donde la variable dependiente era el porcentaje de personas vacunadas, ya fuera con cuando menos una vacuna o con dosis completas. Encontramos que los factores importantes han sido el nivel de desarrollo medido por el PIB per cápita, y la composición de la población por grupos de edad. Si bien estas variables están asociadas con el 65% de la variabilidad en los niveles de vacunación, encontramos que no podemos explicar del todo niveles muy elevados de vacunación, lo cual quizás tenga que ver con calidad institucional y de gobierno. A continuación, se describe el análisis detallado.

Datos empleados

Para esta nota se emplearon los datos de vacunación recabados por Our World in Data² de las publicaciones de los ministerios de salud de cada país. Hay dos series de datos de vacunación: porcentaje de la población con al menos una dosis y porcentaje de la población con dosis completas. Para los niveles de vacunación por país se tomó el dato más reciente que se encontró en el rango que va del 20 de agosto al 5 de septiembre del 2021.

Para el análisis se empleó la siguiente información adicional: territorio (pensando en que sería más difícil vacunar en países extensos), densidad de población y porcentaje de población urbana (más fácil vacunar poblaciones densas y urbanas), población por rango de edad (más vacunas si el porcentaje de edad avanzada es mayor) y PIB per cápita para cada país (países más ricos pueden comprar y aplicar más rápidamente las vacunas). Toda la información corresponde a la publicada por el Banco Mundial³ para el año 2020 (se emplearon datos de población total y territorio para calcular la densidad por km²). Los rangos que el Banco Mundial emplea para clasificar las edades son 0 a 14, 15 a 64 y 65 o más años. Además, se usaron los años de

¹ Saúl González Ortiz y Mariana Guzmán Soto colaboraron en la presente nota.

² <https://ourworldindata.org/covid-vaccinations>

³ <https://datos.bancomundial.org/>

escolaridad promedio de cada país, reportados por la UNESCO para el 2019. También se consideraron el número de casos y defunciones acumulados por millón de habitantes recabados hasta el 5 de septiembre del 2021 por Our World in Data.

Se realizó la transformación a logaritmo natural de los siguientes datos: territorio, densidad en km², PIB per cápita, el promedio de años de escolaridad, casos acumulados y defunciones acumuladas por millón de habitantes. El número de países empleados para esta nota fue 155.

Inicialmente, se consideraron todos los datos descritos. Sin embargo, debido a posibles problemas de multicolinealidad se terminaron excluyendo el logaritmo natural de defunciones y el logaritmo natural de años de escolaridad. La primera variable tiene una alta correlación con el logaritmo natural de casos y la segunda variable con logaritmo natural de PIB per cápita.

La forma específica de la regresión que se llevó a cabo es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Vacunación}_{ij} = & \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{Territorio})_i + \beta_2 \ln(\text{Densidad})_i + \beta_3 \text{PU}_i \\ & + \beta_4 \text{PoblaciónA}_i + \beta_5 \text{PoblaciónC}_i + \beta_6 \ln(\text{PIB})_i + \beta_7 \ln(\text{Casos})_i \end{aligned} \quad (1)$$

donde Vacunación_{ij} : Porcentaje de **población vacunada** en el país i y clasificación j para al menos una dosis o dosis completas; $\ln(\text{Territorio})_i$: Logaritmo natural del **territorio en Km²**; $\ln(\text{Densidad})_i$: Logaritmo natural de la **densidad de población en Km²**; PU_i : Porcentaje de **población urbana**; PoblaciónA_i : Porcentaje de **población de 0 a 14 años**; PoblaciónC_i : Porcentaje de **población de 65 o más años**; $\ln(\text{PIB})_i$: Logaritmo natural del **PIB per cápita** y $\ln(\text{Casos})_i$: Logaritmo natural de los **casos acumulados por millón de habitantes**.

Los resultados se presentan en la tabla 1, y las correlaciones encontradas están asociadas a entre el 62 y 64% de la variabilidad en los tipos de vacunación. El factor más importante es el nivel de PIB per cápita, con una relación positiva. El porcentaje de cuando menos una dosis de vacunación se reduce cuando hay más población de 14 o menos años, mientras que el porcentaje con dosis completas aumenta con el porcentaje de la población mayor a 65 años. Las gráficas 1 a 4 presentan los dos tipos de vacunación contra las variables con las cuales se encontró una relación estadísticamente significativa, y en todos los casos se puede observar a simple vista lo encontrado estadísticamente.

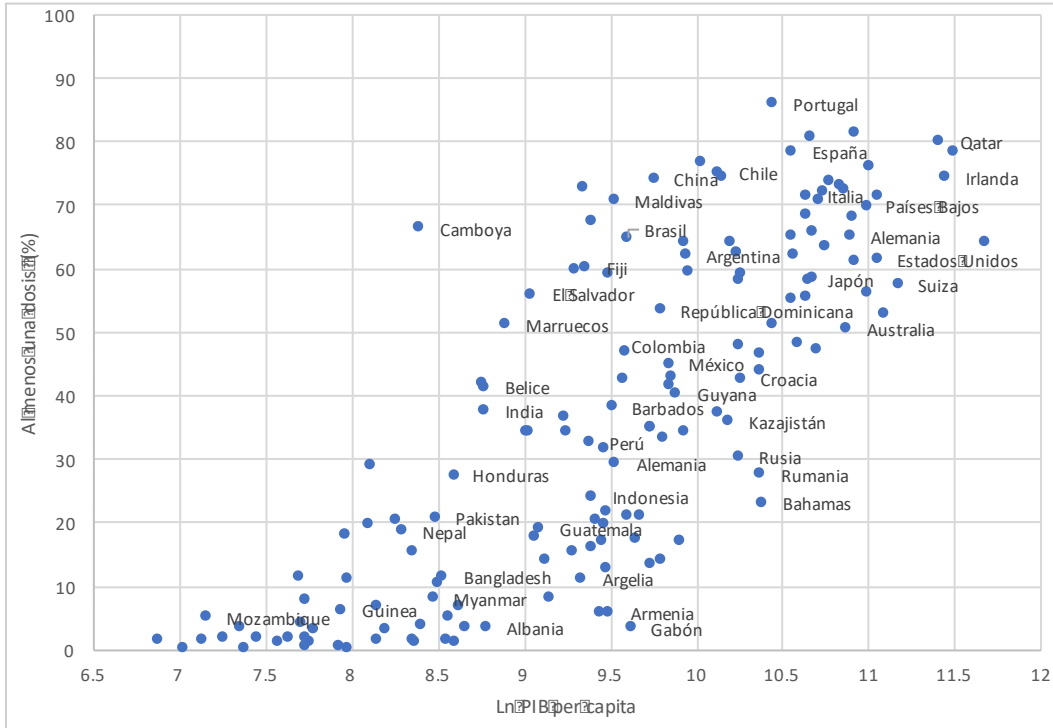
Tabla 1. Resultados de regresiones

VARIABLES INDEPENDIENTES	Original Una dosis	Versión final Una dosis	Original Dosis completas	Versión final Dosis Completas
Constante	-97.99** (37.13)	-82.74 ** (27.51)	-123.32*** (35.01)	-109.21 *** (13.22)
ln(territorio)	0.25 (0.70)		-0.24 (0.66)	
ln(densidad)	1.22 (1.14)		1.60 (1.08)	
Población urbana (%)	0.05 (0.08)		0.04 (0.08)	
Población 0 a 14 (%)	-0.44 (0.34)	-0.57* (0.25)	-0.18 (0.32)	
Población 65 o más (%)	0.01 (0.35)		0.79* (0.33)	0.73 ** (0.27)
ln(pib per cápita)	13.35*** (2.83)	14.19 *** (2.26)	13.14*** (2.67)	13.77 *** (1.59)
ln(casos)	0.82 (0.96)		0.82 (0.91)	
Número de Observaciones	155	155	155	155
R ²	0.65	0.65	0.64	0.63
R ² Ajustada	0.64	0.64	0.62	0.62
Estadístico F	40.5	143.1	38.3	131.2

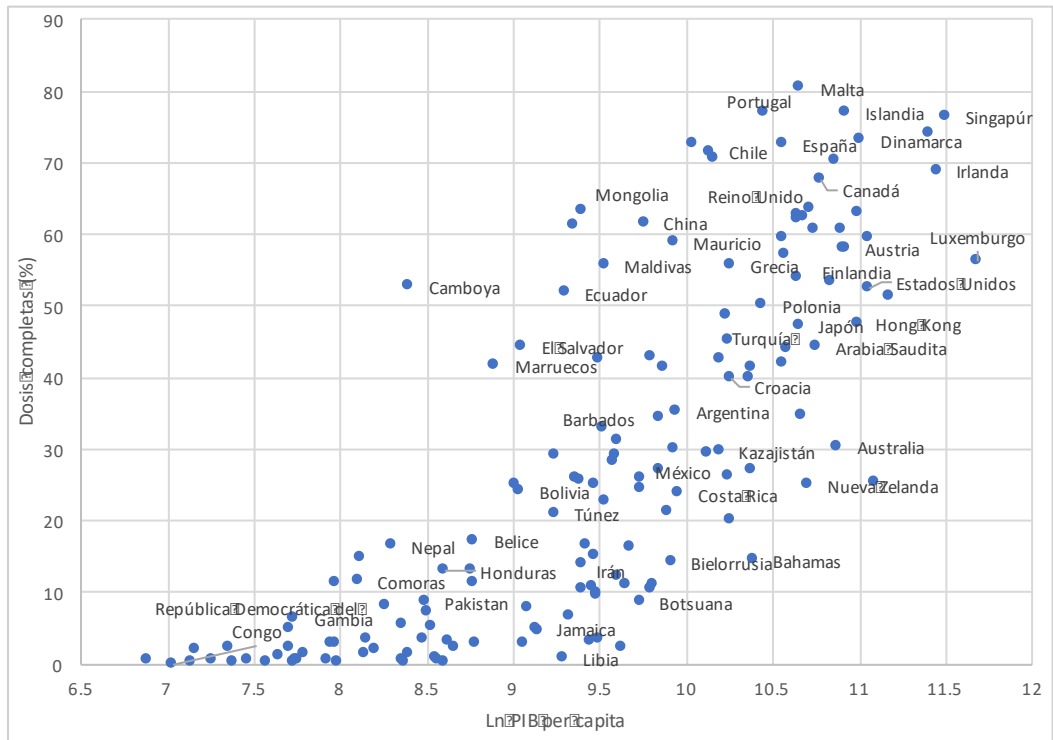
Notas: Los valores entre paréntesis son errores estándar.

*** nivel de significancia del 0.1%; ** nivel de significancia del 1%; * nivel de significancia del 5%

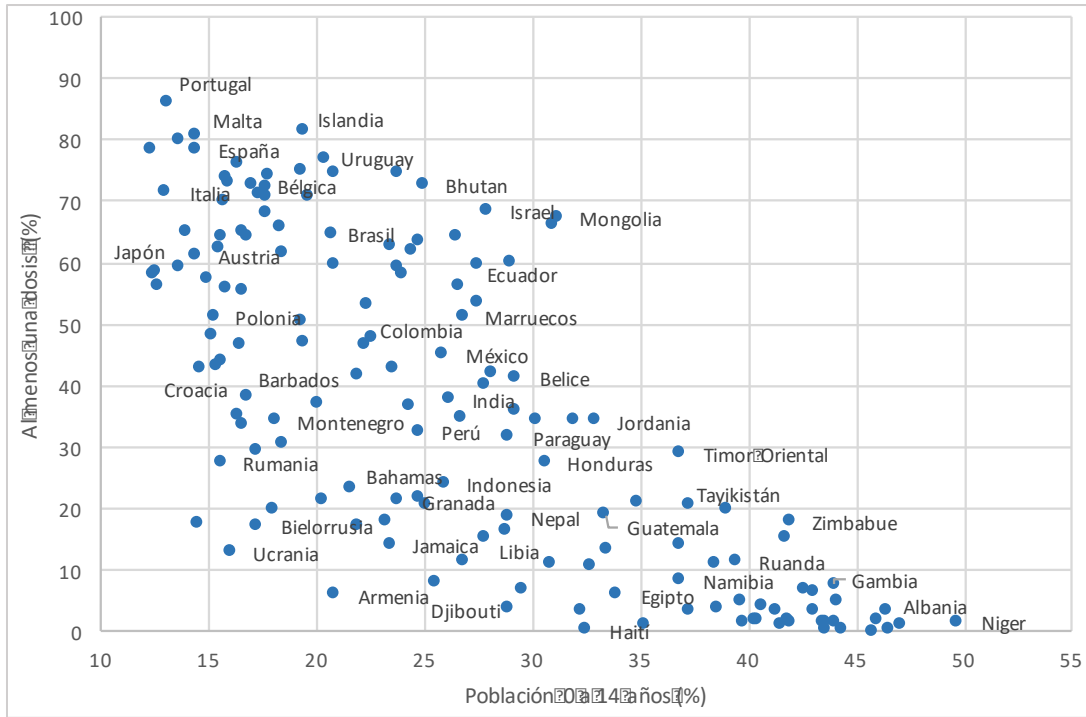
Gráfica 1. Vacunación al menos una dosis y Ln(PIB per cápita)



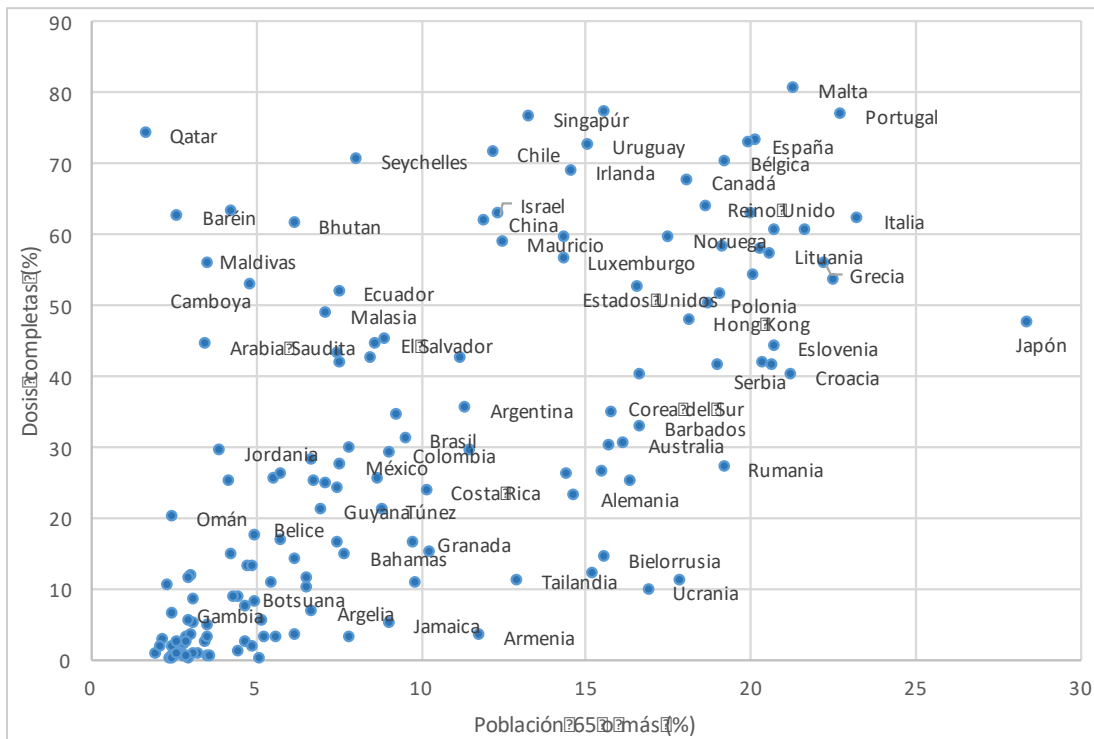
Gráfica 2. Vacunación dosis completas y Ln(PIB per cápita)



Gráfica 3. Vacunación al menos una dosis y población de 0 a 14 años



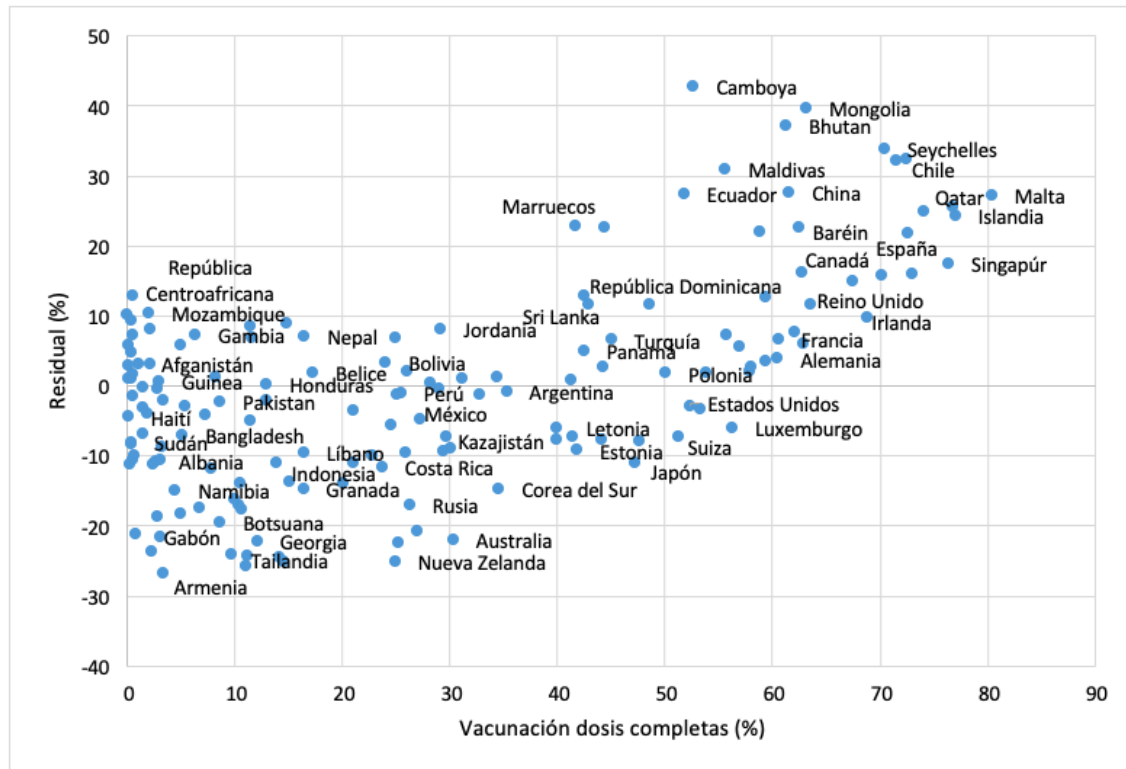
Gráfica 4. Vacunación dosis completas y población 65 o más años



Para revisar si pudiera haber algún problema con las regresiones, se graficaron también los residuales de la regresión contra el porcentaje de vacunación, para ambas series de vacunación. La gráfica 5

muestra el caso de las dosis completas (el caso de cuando menos una dosis muestra el mismo patrón). Encontramos que los residuales son persistentemente mayores para niveles mayores de vacunación, lo cual implica que el modelo estimado en la tabla 1 no logra explicar de forma adecuada niveles altos de vacunación.

**Gráfica 5. Residuales regresión versión final
Dosis completas**



Dado lo anterior, procedimos a ver si la estructura de los residuales podría deberse a que hubiera una relación no lineal entre el porcentaje de vacunación y el nivel de PIB per cápita. Para hacer ese análisis, se añadieron a la regresión el Logaritmo natural del PIB per cápita al cuadrado y logaritmo natural del PIB per cápita al cubo.

$$\begin{aligned}
 \text{Vacunación}_{ij} = & \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{Territorio})_i + \beta_2 \ln(\text{Densidad})_i + \beta_3 PU_i + \beta_4 \text{Población}A_i \\
 & + \beta_5 \text{Población}C_i + \beta_6 \ln(\text{PIB})_i + \beta_7 [\ln(\text{PIB})_i]^2 + \beta_8 [\ln(\text{PIB})_i]^3 \\
 & + \beta_9 \ln(\text{Casos})_i
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

donde Vacunación_{ij} : Porcentaje de **población vacunada** en el país i y clasificación j para al menos una dosis o dosis completas; $\ln(\text{Territorio})_i$: Logaritmo natural del **territorio en Km²**; $\ln(\text{Densidad})$: Logaritmo natural de la **densidad de población en Km²**; PU_i : Porcentaje de **población urbana**; $\text{Población}A_i$: Porcentaje de **población de 0 a 14 años**; $\text{Población}C_i$: Porcentaje de **población de 65 o más años**; $\ln(\text{PIB})_i$: Logaritmo natural del **PIB per cápita**; $[\ln(\text{PIB})_i]^2$: Logaritmo natural del **PIB per cápita al cuadrado** y $[\ln(\text{PIB})_i]^3$: Logaritmo natural

del PIB per cápita al cubo y $\ln(Casos)_i$: Logaritmo natural de los casos acumulados por millón de habitantes.

Los resultados se presentan en la tabla 2. Encontramos que aumenta ligeramente la R^2 , pero el aumento es marginal. Los términos cuadráticos son significativos, pero si uno repite las gráficas de residuales de la regresión contra los niveles de vacunación se sigue encontrando el mismo patrón (ver gráfica 6). Ello sugiere que deben haber otros elementos, como calidad de instituciones y de gobierno, confianza en las autoridades, entre otros, que son importantes para entender niveles tan altos de vacunación en algunos países.

Tabla 2. Resultados de regresiones con términos no lineales del PIB

Variables independientes	Original Una dosis	Versión final Una dosis	Original Dosis completas	Versión final Dosis Completas
Constante	756.80 (641.63)	-17.65 (16.53)	642.24 (596.04)	113.58 (74.63)
$\ln(\text{territorio})$	0.40 (0.69)		-0.06 (0.64)	
$\ln(\text{densidad})$	1.15 (1.16)		1.39 (1.08)	
Población urbana (%)	0.03 (0.08)		0.01 (0.08)	
Población 0 a 14 (%)	-0.71 (0.37)	-0.58 * (0.24)	-0.16 (0.34)	
Población 65 o más (%)	-0.37 (0.38)		0.35 (0.35)	0.63 * (0.27)
$\ln(\text{pib per cápita})$	-241.47 (212.20)		-204.11 (197.13)	-35.15 * (16.22)
$[\ln(\text{pib per cápita})]^2$	25.05 (23.14)	0.76 *** (0.12)	20.21 (21.50)	2.66 ** (0.88)
$[\ln(\text{pib per cápita})]^3$	-0.81 (0.83)		-0.61 (0.77)	
$\ln(\text{casos})$	1.31 (0.98)		1.48 (0.91)	
Número de Observaciones	155	155	155	155
R^2	0.67	0.66	0.67	0.65
R^2 Ajustada	0.65	0.65	0.65	0.64
Estadístico F	33.3	147.2	33.0	95.3

Notas: Los valores entre paréntesis son errores estándar.

*** nivel de significancia del 0.1%; ** nivel de significancia del 1%; * nivel de significancia del 5%

**Gráfica 6. Residuales regresión con términos no lineales del PIB versión final
Dosis completas**

