

Las Matemáticas en la Lucha contra el Covid-19 en Puerto Rico

Working Paper

23 de agosto de 2020



Capítulo 1. ¿Cómo se propaga el virus?

Angel Suarez-Rivera, MPH

Colaboradores:

Leslie Serrano-Class, MPH

Jesús Salgado-Carreras, M. Sc

Joel Olmedo-Álvarez, MP

Marcos Santiago-Santos, M.Cs

Kenneth Soto-Cedeño, B.Sc

Resumen Ejecutivo

- Han pasado cerca de 9 meses desde el 1er caso del Covid-19 en Diciembre del 2019, en Wuhan, China. De los cuales, Puerto Rico acumula una experiencia con el virus, de cerca de 5 meses (marzo – agosto 2020)
- Las estrategias propuestas para combatir el virus han carecido del ingrediente más importante: conocer como se propaga el virus.
- Matemáticamente, esto se identifica a través del cálculo del número básico de Reproducción, R_0 .
- Para el 20 de agosto de 2020, en Puerto Rico, el $R_0 = 3.11$. Esto significa, que cada infectado podría contagiar a otras 3 personas.

A.Marco Teórico

La serie de investigación conocida como Las matemáticas en la Lucha contra el Covid-19 en Puerto Rico, de forma inédita desarrolla nuestro propio marco teórico. (véase Diagrama 1) Nuestra teoría enfatiza en el hecho de que todo comienza en la Exposición. Esto es, a mayor exposición mayor probabilidad de contagio. En capítulos posteriores, se explicarán cada uno de los compartimientos de nuestro Marco Teórico.

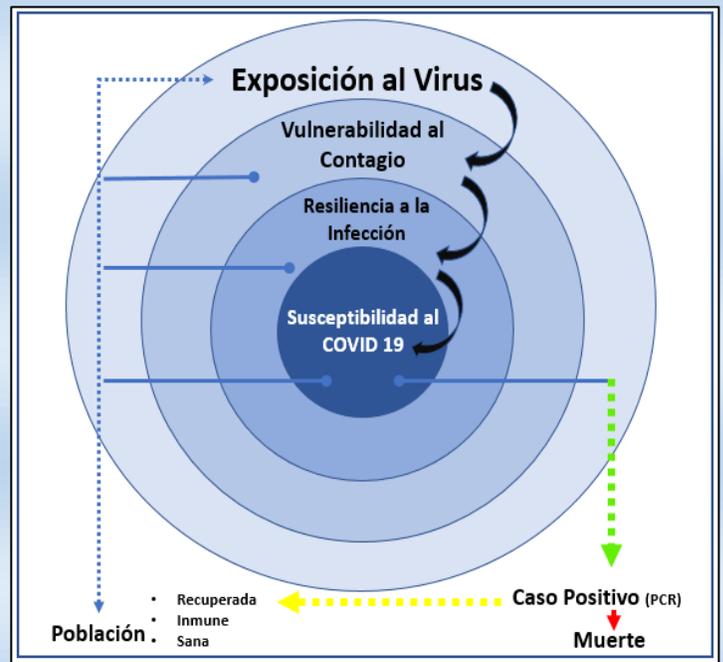


Diagrama 1. Teoría del Contagio en PR

Tabla1. Estimados Teóricos¹

Población ²	Estimado	% dentro de la categoría anterior
Mayor de 17 años de edad	2,698,996	----
Expuesta	1,989,117	73.7%
Vulnerable ³	1,423,541	71.6%
Resiliente	1,187,995	83.5%
Susceptible	544,494	45.8%
Observado		
Casos confirmados PCR	13,005	2.4%
Muertes	374	2.9%

¹ Al 15 de marzo de 2020, se requiere hacer un ajuste al corriente.

² Población mayor de 17 años, residentes en Puerto Rico en el 2018. Estimados utilizando el BRFSS y la Encuesta de la Comunidad para Puerto Rico.

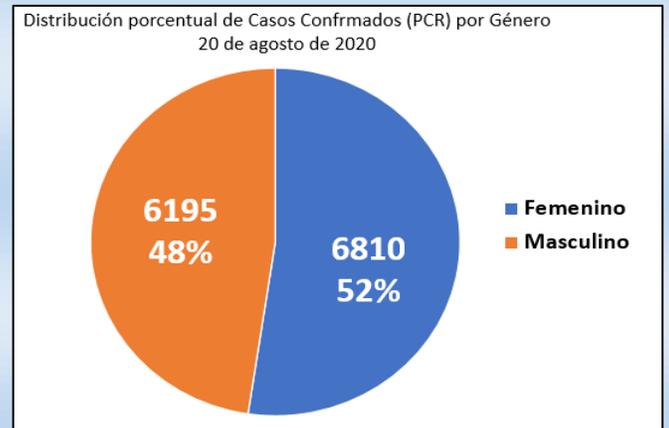
³ Incluye tanto a los que tienen condiciones relacionados al Covid-19 y a los que no.

⁴ Según el reporte del Departamento de Salud estos casos totalizaban 13,014, sin embargo, se desconocía la edad de 9 casos

B. Situación al 20 de agosto de 2020

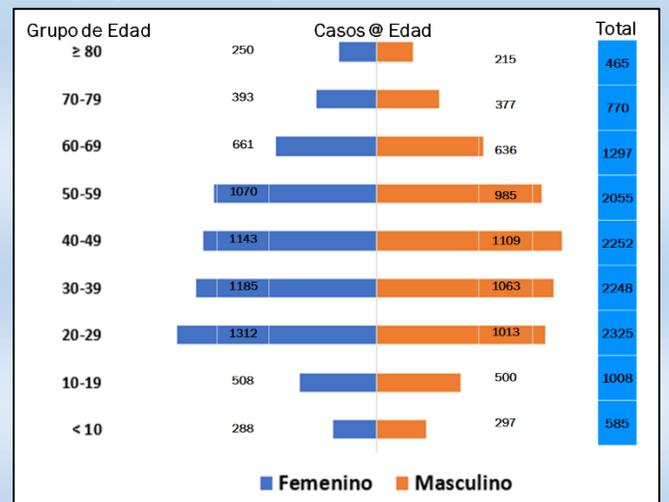
Casos Confirmados. Prueba Molecular (PCR)

- **Total⁴ 13,005**
 - **Femenino 6,810**
 - **Masculino 6,195**



Grafica 1. Distribución por Género

- **Con 2,325 casos, los jóvenes de 20 a 29 años representan, el mayor grupo de contagio.**



Grafica 2. Pirámide Poblacional del Covid-19

C. ¿Qué es el R_0 y cuál es su importancia durante el manejo efectivo de una crisis pandémica?

- **Calcular el R_0 es de vital importancia durante el estudio de una nueva enfermedad como lo es el Coronavirus. En palabras sencillas este valor resume cuan contagiosa es la nueva enfermedad.**

○ **Por ejemplo, para**

$R_0 < 1$,

significa que:

- **en promedio, una persona infectada puede contagiar a menos de una persona.**
- **Se espera que la enfermedad esté controlada.**

$R_0 = 1$,

significa que:

- **una persona infectada contagia a un promedio de una persona.**
- **Se espera que la propagación de la enfermedad es estable o endémica, y no se espera que el número de infecciones aumente o disminuya.**

$R_0 > 1$,

significa que:

- **en promedio, una persona infectada contagia a más de una persona.**
- **Se espera que la enfermedad se propague cada vez más ante la falta de medicamentos o intervenciones de política pública.**

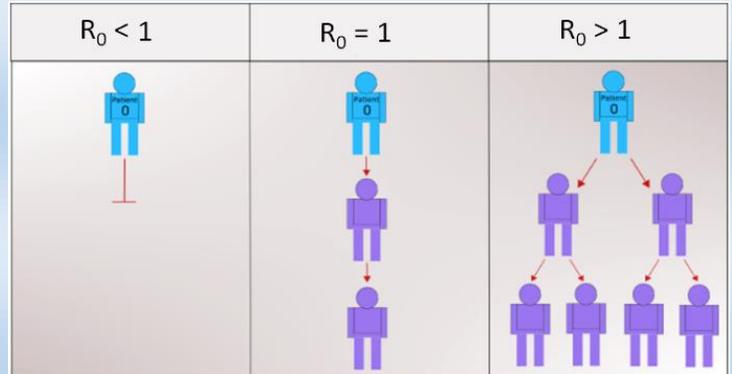


Diagrama 1. Representación del R_0

Por lo tanto, a mayor R_0 mayor probabilidad de contagio.

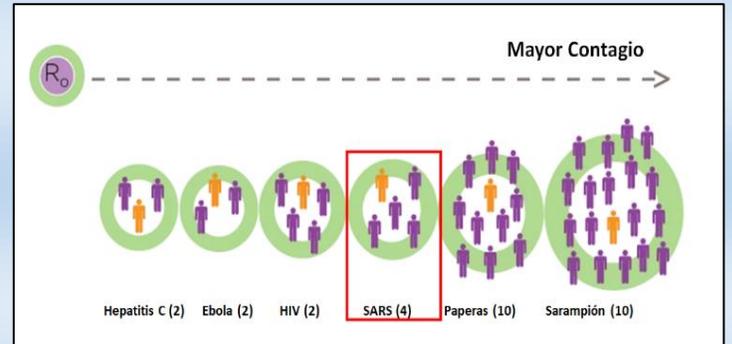


Diagrama 2. Comparación del R_0 en Enfermedades

C.1 ¿Cómo se obtiene el R_0 ?

El R_0 se puede calcular de diferentes maneras, sin embargo, el tema principal durante el cálculo del R_0 es el mismo: medir la razón de cambio de nuevos casos (incidencia de casos)

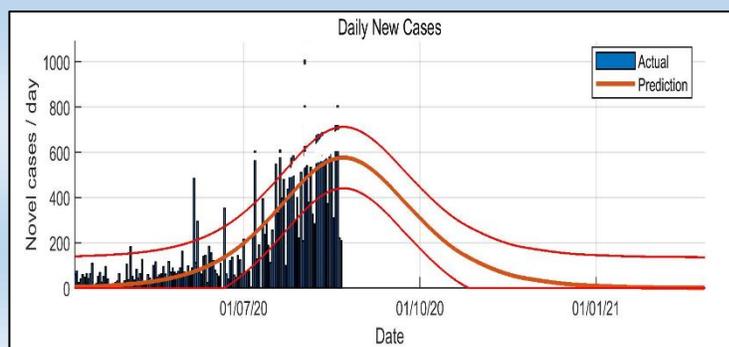
- Por ejemplo, se observa la incidencia de casos (casos nuevos diarios) y a base de algoritmos matemáticos se evalúa entre otras cosas, el cambio diario. Se puede observar como hubo 15 nuevos casos reportados para el 25 de abril y ya para agosto los nuevos casos diarios llegaban a 538 el 11, 446 el 13, 427 el 16 de agosto.

Date	Puerto Rico	Razón de Cambio
4/25/2020	15	
4/26/2020	6	-60%
4/27/2020	2	-67%
4/28/2020	10	400%
4/29/2020	21	110%
4/30/2020	11	-48%
5/1/2020	15	36%
5/2/2020	17	13%
5/3/2020	11	-35%
5/4/2020	4	-64%
5/5/2020	1	-75%
5/6/2020	7	600%
5/7/2020	12	71%
5/8/2020	6	-50%
5/9/2020	12	100%

....

....

Date	Puerto Rico	Razón de Cambio
8/7/2020	311	-25%
8/8/2020	383	23%
8/9/2020	342	-11%
8/10/2020	284	-17%
8/11/2020	538	89%
8/12/2020	168	-69%
8/13/2020	446	165%
8/14/2020	325	-27%
8/15/2020	179	-45%
8/16/2020	427	139%
8/17/2020	577	35%
8/18/2020	106	-82%
8/19/2020	155	46%
8/20/2020	451	191%



Gráfica 3. Estimación de Casos Nuevos

Cabe señalar que los resultados, depende de la calidad y consistencia de los datos reportados.

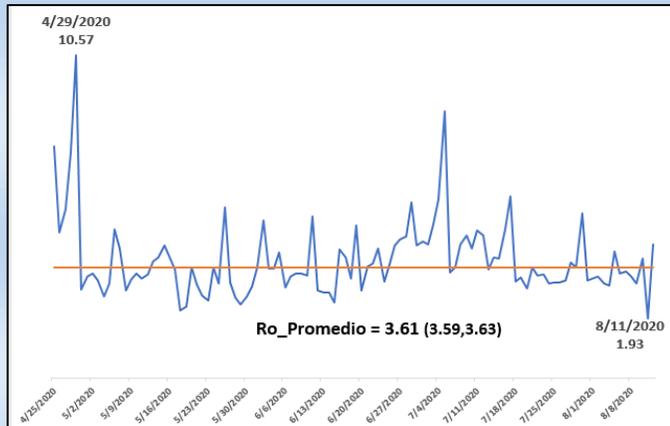
D. Resultados

Los resultados se presentarán de la siguiente manera:

1. Al 13 de agosto de 2020
 - a. Incluye análisis sobre:
 - i. R_0 diario Puerto Rico
 - ii. Comparación entre Días de Semana y Fin de Semana
 - iii. Días de Fiesta
 - iv. Ordenes Ejecutivas
2. Al 20 de agosto de 2020
 - a. Incluye análisis sobre:
 - i. Puerto Rico
 1. General
 2. Género
 3. Grupo de Edad
 4. Municipios
 - ii. Comparación vs Estados en USA con mayor población boricua.

D1. Al 13 de agosto del 2020

Del 24 de abril al 13 de agosto del 2020, se observó en Puerto Rico un Ro promedio igual a 3.61. Esto es, cada persona infectada podría contagiar a cerca de otras 4 personas. (véase gráfica 1)



Gráfica 4. Ro diario del 24 abril al 13 de agosto 2020

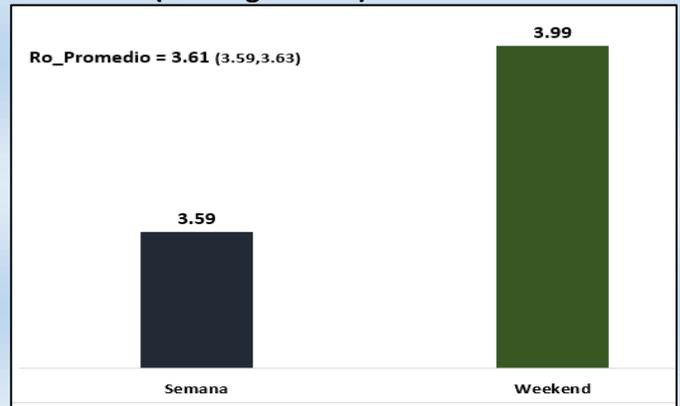
El valor máximo en este periodo se observó el 29 de abril (Ro = 10.57). Para esa fecha la incidencia de casos reportados se comportaba de la siguiente manera:

Date	PuertoRico
4/27/2020	2
4/28/2020	10
4/29/2020	21

Mientras que el valor mínimo en este periodo se observó el 11 de agosto (Ro = 1.93). Para esa fecha la incidencia de casos reportados se comportaba de la siguiente manera:

Date	PuertoRico
8/11/2020	538
8/12/2020	168

La comparación entre los días de semana vs los fines de semana fue analizada estadísticamente y el resultado comprobó las especulaciones de todos: Existe MAYOR probabilidad de Contagio durante el Fin de Semana. (véase gráfica 2)



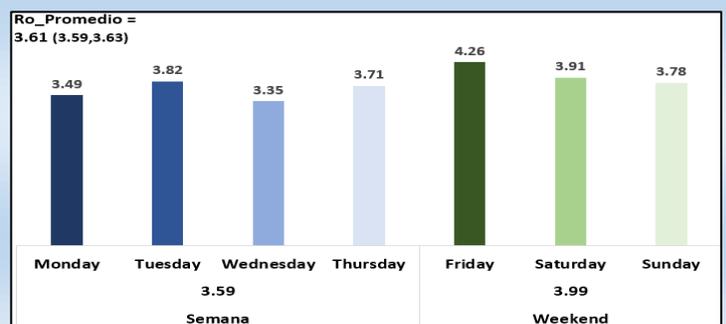
Gráfica 5. Semana vs Weekend

Con p-value = 0.04, se puede decir que existe la probabilidad de contagio durante el fin de semana es 10% mayor que en la semana. (véase Resultado 1)

Periodo	Ro_Periodo	ttest	p-value
Semana	3.59	-1.7612	0.0406
Weekend	3.99		
Diferencial Porcentual	10%		

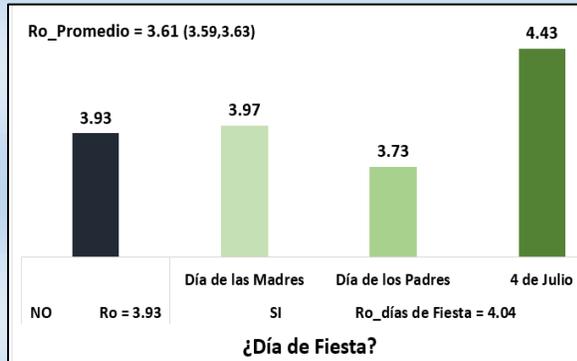
Resultado 1. Prueba T-test

Resultando el Viernes, como el día de mayor probabilidad de contagio (Ro = 4.26)



Gráfica 6. Semana vs Weekend. Detalle

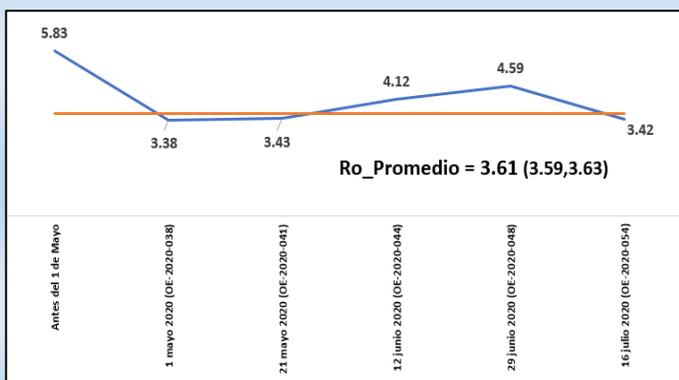
Sin embargo, aunque Ro promedio en los días de fiesta de este periodo (Día de las Madres, Día de los Padres, 4 de julio) resulto ser mayor que los días “normales”, 4.04 y 3.93, respectivamente, los análisis no reflejaron evidencias estadísticas para determinar diferencias entre estos periodos. (véase gráfica 7)



Gráfica 7. Días de Fiesta

Es importante resaltar que para el 4 de julio se reporto un Ro = 4.43.

El último análisis de este periodo se enfoca en observar el comportamiento de contagio en y antes de Ordenes Ejecutivas.



Se puede resaltar que se reflejó una disminución del número básico de reproducción, luego de dos ordenes ejecutivas. (véase tabla 1)

Orden Ejecutiva	Ro_Orden Ejecutiva	Reducción Observada
Antes del 1 de Mayo	5.83	
1 mayo 2020 (OE-2020-038)	3.38	-42%
Antes del 16 de Julio	4.59	
16 julio 2020 (OE-2020-054)	3.42	-25%

Tabla 1. Comparación Orden Ejecutiva

D2. Al 20 de agosto del 2020

Al 20 de agosto de agosto de 2020 el número básico de Reproducción del Virus, Ro, observado fue:

Observación	Ro
• Puerto Rico	3.11
○ Mujeres	2.57
○ Hombres	2.40
• Grupo de Edad	
○ < 10	1.28
○ 10-19	1.37
○ 20-29	1.68
○ 30-39	1.66
○ 40-49	1.66
○ 50-59	1.60
○ 60-69	1.42
○ 70-79	1.30
○ ≥ 80	1.24

Ro por Municipio

	Municipio	Ro	Nivel de Contagio		Municipio	Ro	Nivel de Contagio		Municipio	Ro	Nivel de Contagio
1	SanJuan	1.64	Alto	27	LasPiedras	1.08	Medio Alto	53	Peñuelas	1.04	Medio
2	Bayamón	1.36	Alto	28	Camuy	1.07	Medio Alto	54	Culebra	1.04	Medio
3	Carolina	1.29	Alto	29	Utua	1.07	Medio Alto	55	JuanaDíaz	1.04	Medio
4	VegaBaja	1.19	Alto	30	Mayagüez	1.07	Medio Alto	56	Salinas	1.03	Bajo
5	ToaBaja	1.18	Alto	31	Barceloneta	1.07	Medio Alto	57	Patillas	1.03	Bajo
6	ToaAlta	1.16	Alto	32	Yabucoa	1.07	Medio Alto	58	Adjuntas	1.03	Bajo
7	Naranjito	1.15	Alto	33	Humacao	1.06	Medio Alto	59	Añasco	1.03	Bajo
8	Caguas	1.14	Alto	34	Ponce	1.06	Medio Alto	60	Jayuya	1.03	Bajo
9	TrujilloAlto	1.14	Alto	35	Naguabo	1.06	Medio Alto	61	CaboRojo	1.03	Bajo
10	Guaynabo	1.13	Alto	36	Comerío	1.06	Medio Alto	62	Cayey	1.03	Bajo
11	Morovis	1.12	Alto	37	Guayama	1.06	Medio Alto	63	SanGermán	1.03	Bajo
12	Manatí	1.11	Alto	38	Hatillo	1.06	Medio Alto	64	Moca	1.03	Bajo
13	Corozal	1.10	Alto	39	Coamo	1.06	Medio Alto	65	Aibonito	1.03	Bajo
14	Vieques	1.10	Alto	40	Lares	1.05	Medio	66	Hormigueros	1.03	Bajo
15	Canóvanas	1.10	Alto	41	Ciales	1.05	Medio	67	Isabela	1.03	Bajo
16	RíoGrande	1.10	Alto	42	Aguadilla	1.05	Medio	68	Arroyo	1.02	Bajo
17	VegaAlta	1.10	Alto	43	SantaIsabel	1.05	Medio	69	LasMarías	1.02	Bajo
18	Fajardo	1.10	Alto	44	AguasBuenas	1.05	Medio	70	Guayanilla	1.02	Bajo
19	Arecibo	1.09	Alto	45	Luquillo	1.05	Medio	71	Ceiba	1.02	Bajo
20	Loíza	1.09	Alto	46	Florida	1.05	Medio	72	Lajas	1.01	Bajo
21	Gurabo	1.09	Alto	47	Cidra	1.04	Medio	73	SabanaGrande	1.01	Bajo
22	Cataño	1.08	Medio Alto	48	Aguada	1.04	Medio	74	Maricao	1.01	Bajo
23	Juncos	1.08	Medio Alto	49	Maunabo	1.04	Medio	75	SanSebastián	1.00	Bajo Control
24	Dorado	1.08	Medio Alto	50	Barranquitas	1.04	Medio	76	Villalba	1.00	Bajo Control
25	SanLorenzo	1.08	Medio Alto	51	Rincón	1.04	Medio	77	Quebradillas	1.00	Bajo Control
26	Orocovis	1.08	Medio Alto	52	Yauco	1.04	Medio	78	Guánica	0.98	Bajo Control

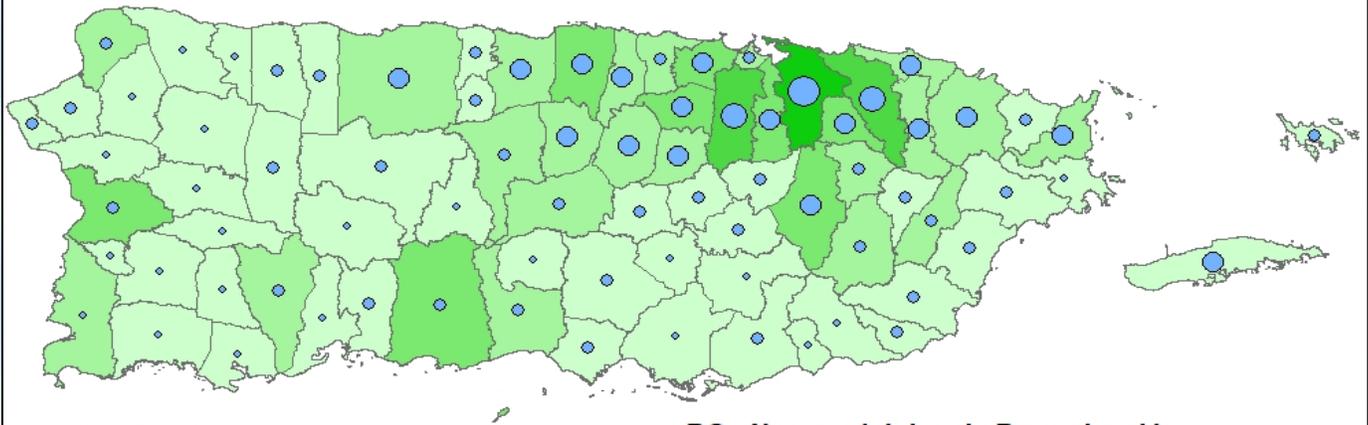
Comparación vs Estados de USA con mayor población Boricua

Según la encuesta del Viajero, el 24% de los visitantes desde Estados Unidos, provienen de Florida. Se estima un Ro para Florida igual a 4.65.

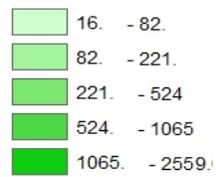
País	Ro	Relación con PR	
		Población de Boricuas	Encuesta del Viajero
Puerto Rico	3.11	----	----
Florida	4.65	1,120,225	24.00%
Nueva York	4.65	1,112,123	17.30%
Nueva Jersey	4.70	470,640	6.00%
Massachusetts	5.10	327,959	5.90%
Texas	5.24	189,643	5.70%
Pensilvania	4.90	472,442	4.40%
Connecticut	4.60	298,603	3.50%
California	4.91	212,500	3.20%
Illinois	5.13	202,046	2.90%

Mapa

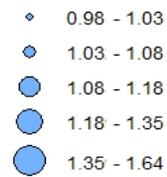
¿Cómo se Propaga el Virus Covid 19?



Confirmados



RO - Numero básico de Reproducción



Notas

1. Las fuentes bibliográficas y demás referencias estarán disponibles en el documento final.
2. En el siguiente diagrama se presenta las consideraciones para el análisis de la definición de días.

Se toma como base un periodo de pre-síntomas de 5 días. Esto es, para estimar los efectos de un evento o un día en particular, como es el caso del 4 de julio, se monitorean las pruebas tomadas y reportadas del 9 de julio.

Fecha de Reporte (basado en el día de la toma de muestra)	7/1/2020	7/2/2020	7/3/2020	7/4/2020	7/5/2020	7/6/2020	7/7/2020	7/8/2020	7/9/2020
Fecha de posible Contagio									

“Pre-symptomatic transmission

The incubation period for COVID-19, which is the time between exposure to the virus (becoming infected) and symptom onset, is on average 5-6 days”

Source: World Health Organization. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation Report – 73 <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200402-sitrep-73-Covid-19.pdf>