

Seguimiento de la tendencia del número de contagiados con COVID-19 ajustada a la curva de Verhulst en Bolivia (04/05/2020)

Dr. Ing. Amilkar Ernesto ILAYA-AYZA

Ingeniero Civil

Doctor en Ingeniería del Agua y Medio Ambiente

1. Introducción

Es importante contar con una herramienta para el seguimiento diario de la evolución de las personas contagiadas con COVID-19 en nuestro país, de esta forma se puede tener un análisis más cuantitativo que cualitativo. Esta herramienta puede ser la curva de Verhulst ajustada día a día.

Este seguimiento diario permitirá:

- Observar el desarrollo de la pandemia en Bolivia.
- Identificar o predecir la cantidad máxima de contagiados con COVID-19 en Bolivia, para poder planificar medidas sanitarias y otras acciones que busquen afrontar mejor la situación.
- Estimar el tiempo en el que se presentarán valores máximos y el tiempo en el cual reducirán, por tanto se puede conocer cuando terminar con la cuarentena o cuando tomar otro tipo de medidas.
- Evaluar el grado de eficiencia de las medidas que se van tomando.
- Identificar rebrotes en la cantidad de contagiados.
- Identificar parámetros que puedan ser útiles para la modelación de un futuro rebrote.

El ajuste tendrá cada vez mayor precisión, debido a que cada día se irá alimentando al modelo con datos. El análisis mostrado en el presente documento toma en cuenta los datos oficiales del Ministerio de Salud de Bolivia, hasta el 4 de mayo de 2020.

2. La curva de Verhulst para evaluar Nueva Zelanda y España

Una curva que se está utilizando en varios países para evaluar la evolución de la cantidad de contagiados con COVID-19 es el modelo de Verhulst, que establece el comportamiento del crecimiento de una población en las condiciones de un determinado ecosistema, hasta que el ecosistema limita sus recursos y la población se estabiliza.

Este modelo se ha probado en el crecimiento y desarrollo de microorganismos, en la propagación de enfermedades epidémicas, además de la difusión de noticias en las redes sociales.

Actualmente hay algunas investigaciones en Asia y Europa que consideran que el modelo de Verhulst se ajusta al crecimiento de contagiados con COVID-19.

La curva de valores o casos acumulados es exponencial hasta determinado punto, después el crecimiento empieza a decaer.

Una primera forma de validación del modelo fue realizada con datos de Nueva Zelanda, cuya curva ya se encuentra en su etapa de descenso, con resultados muy interesantes ya que se tiene un buen ajuste y se pueden hacer predicciones fiables. En el caso de nueva Zelanda, se tiene una de las cuarentenas más estrictas que se está llevando adelante en el mundo

(<https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-52236136>), actualmente ya se terminaron su cuarentena (<https://www.infobae.com/america/mundo/2020/04/27/hemos-ganado-la-batalla-la-primera-ministro-de-nueva-zelanda-celebro-tras-enterarse-de-que-hubo-solo-un-caso-de-coronavirus-en-las-ultimas-horas/>).

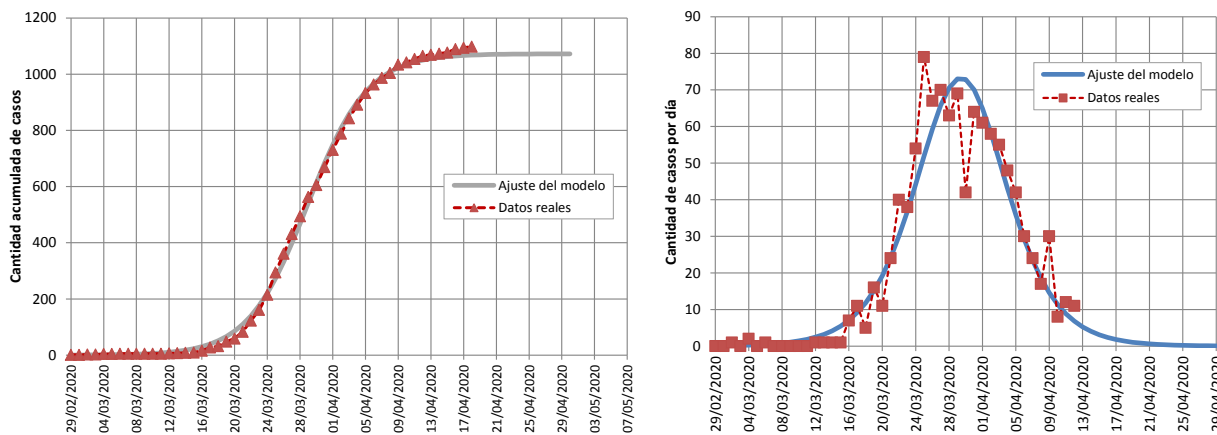


Figura 1. Cantidad diaria, acumulada y parcial, de contagiados con COVID-19 en Nueva Zelanda, datos ajustados a la curva de Verhulst
Fuente: Elaboración propia

Otro caso evaluado con la curva de Verhulst es España, donde las medidas de la cuarentena fueron flexibilizadas (<https://cnnespanol.cnn.com/2020/04/13/300-000-personas-vuelven-a-trabajar-en-madrid-a-medida-que-se-levantan-algunas-restricciones-en-toda-espana/>) y es notoria esta situación en el difícil descenso de la curva que experimentan, incluso es posible identificar un rebrote subyacente.

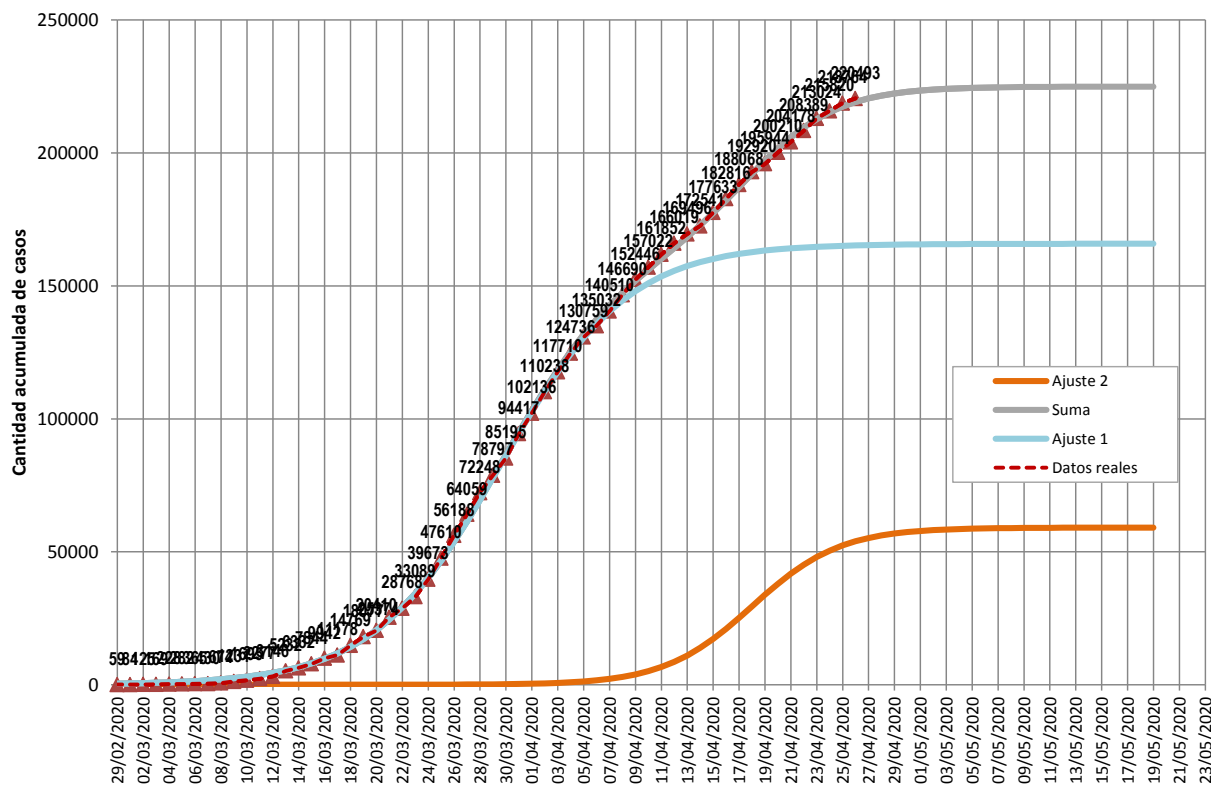


Figura 2. Cantidad acumulada de contagiados con COVID-19 en España, datos ajustados a la curva de Verhulst al (26/04/2020)
Fuente: Elaboración propia

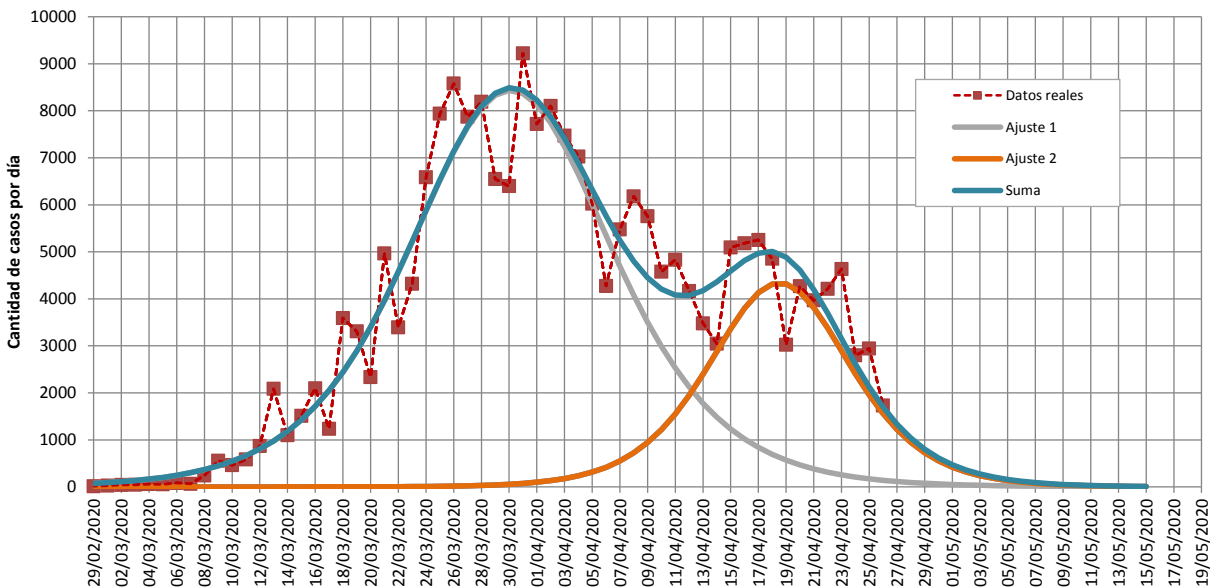


Figura 3. Cantidad diaria de contagiados con COVID-19 en España al (26/04/2020), se puede observar el rebrote subyacente
 Fuente: Elaboración propia

3. Ajuste para los Departamentos de Bolivia

Un ajuste por Departamento puede arrojar un mejor ajuste de las estimaciones realizadas a nivel nacional, ya que el número de contagiados tiene una fecha de origen y un desarrollo específico en cada Departamento. Por otro lado, existe la disposición del Gobierno de la cuarentena dinámica, la cual depende de la evolución de la cantidad de contagiados por región, por lo que consideramos que el presente análisis puede ser útil en ese sentido.

Con base en los datos oficiales que reporta diariamente el Ministerio de Salud de Bolivia, se procedió a realizar el ajuste de los casos de contagio con COVID-19 en cada uno de los Departamentos de Bolivia, al 4 de mayo de 2020.

A continuación se detallan los gráficos de Oruro, Santa Cruz, La Paz y Cochabamba. En la modelación se asume que los datos oficiales son precisos, que no existirán rebrotes en los Departamentos y que las condiciones de cuarentena se mantienen, sin volverlas más estrictas ni flexibilizarlas.

En el caso del Departamento de Oruro, se tiene:

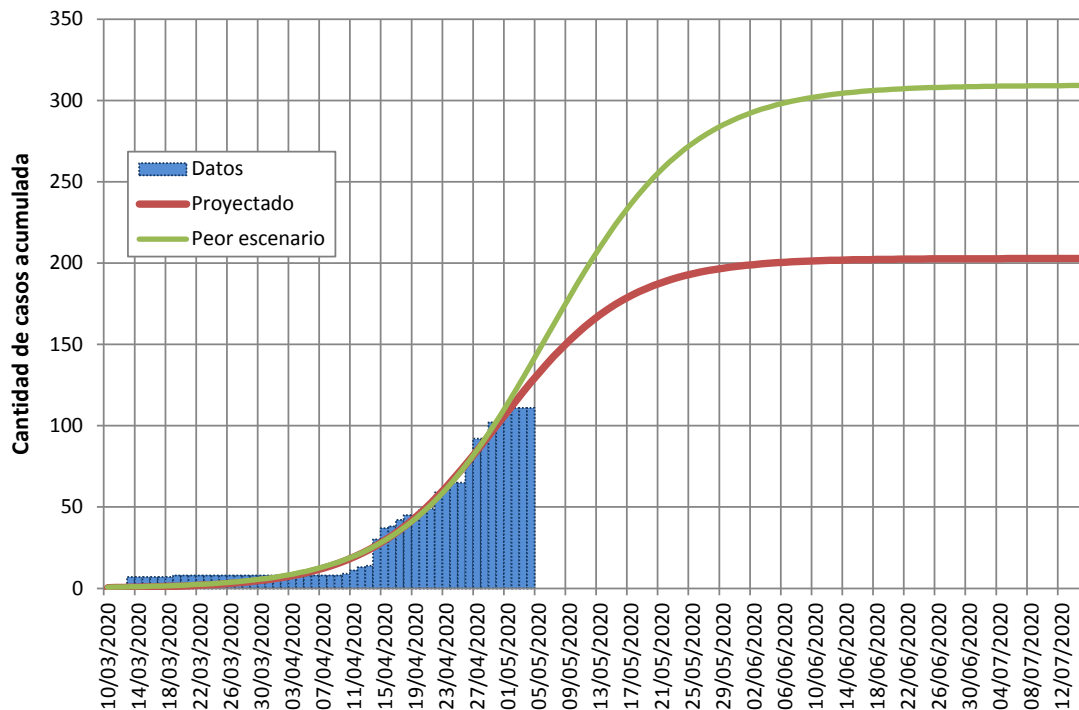


Figura 4. Cantidad acumulada de casos en Oruro, datos ajustados a la curva de Verhulst al (04/05/2020)
Fuente: Elaboración propia

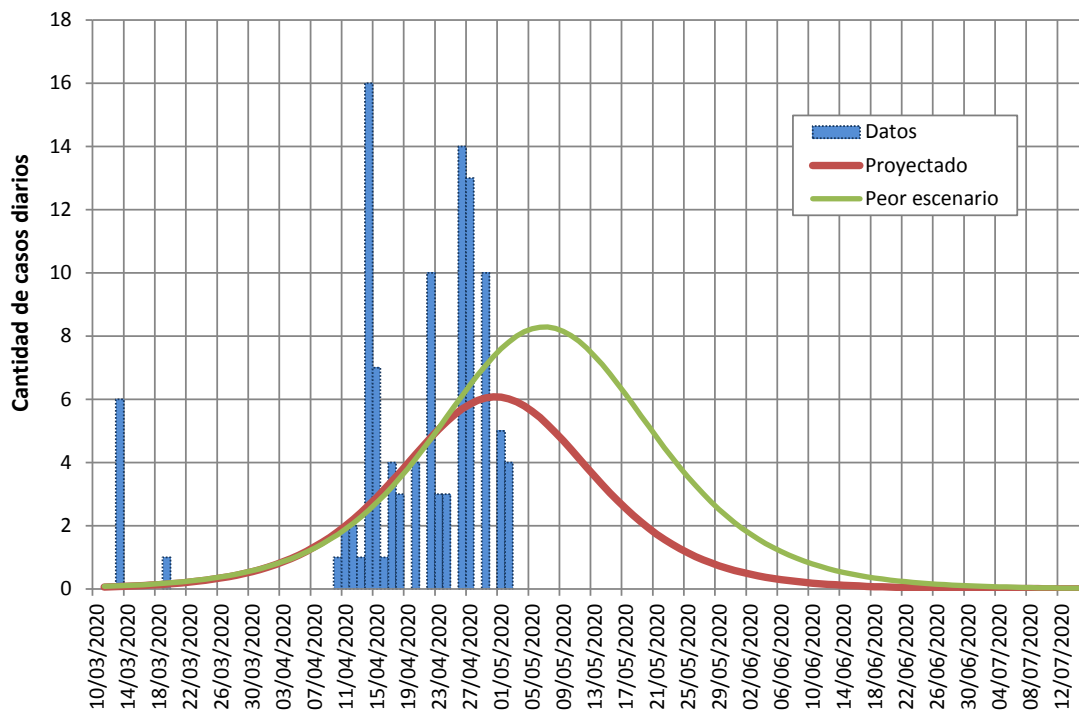


Figura 5. Cantidad diaria de casos en Oruro, datos ajustados a la curva de Verhulst al (04/05/2020)
Fuente: Elaboración propia

En Oruro se tendrán como máximo entre 200 a 300 casos de contagios con COVID-19, la cantidad de casos diarios no superará los 21 contagios. Según la tendencia actual del ajuste, nos encontramos ya

en el descenso de la curva, se tendría una cantidad mínima de contagiados (o varios días sin nuevos contagios) entre la segunda y tercera semana de junio.

Tabla 1. Escenario actual - Departamento de Oruro

Descripción	Valor estimado	Error máximo	Cantidad
Cantidad máxima de casos acumulados	203	10	213
Cantidad máxima de casos diarios	6	13	19
Fecha estimada para el valor máximo diario	lunes, 27 de abril de 2020 domingo, 3 de mayo de 2020		
Fecha estimada cuando reducirán los casos por debajo de 0.2	miércoles, 10 de junio de 2020		

Tabla 2. Peor escenario - Departamento de Oruro

Descripción	Valor estimado	Error máximo	Cantidad
Cantidad máxima de casos acumulados	309	10	319
Cantidad máxima de casos diarios	8	13	21
Fecha estimada para el valor máximo diario	lunes, 4 de mayo de 2020 domingo, 10 de mayo de 2020		
Fecha estimada cuando reducirán los casos por debajo de 0.2	miércoles, 24 de junio de 2020		

Como se observó anteriormente con el caso de Nueva Zelanda, mayores restricciones en la cuarentena logran reducir el tiempo de la cuarentena, por el contrario, la flexibilización tiende a aumentar el tiempo de la cuarentena (como se observó con el ajuste de España). El presente análisis considera que las condiciones se mantienen como las actuales; en ese sentido, si se realizan restricciones en la cuarentena el tiempo podrá reducirse y si se flexibiliza el tiempo se ampliará.

En el Departamento de Santa Cruz se tiene:

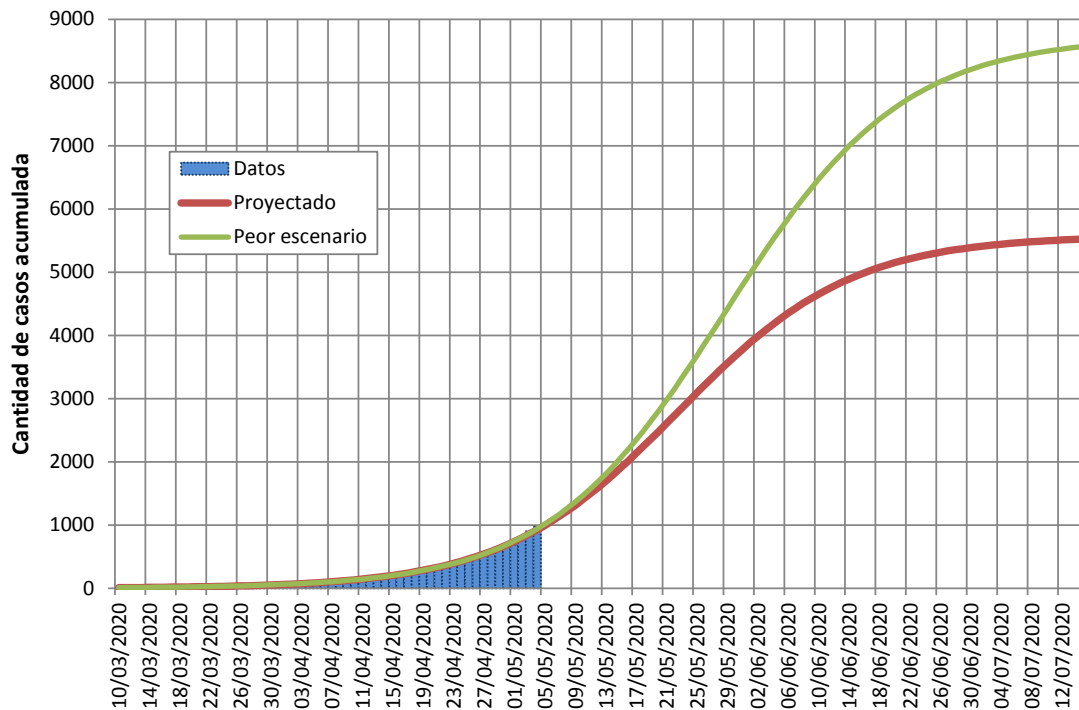


Figura 6. Cantidad acumulada de casos en Santa Cruz, datos ajustados a la curva de Verhulst al (04/05/2020)
Fuente: Elaboración propia

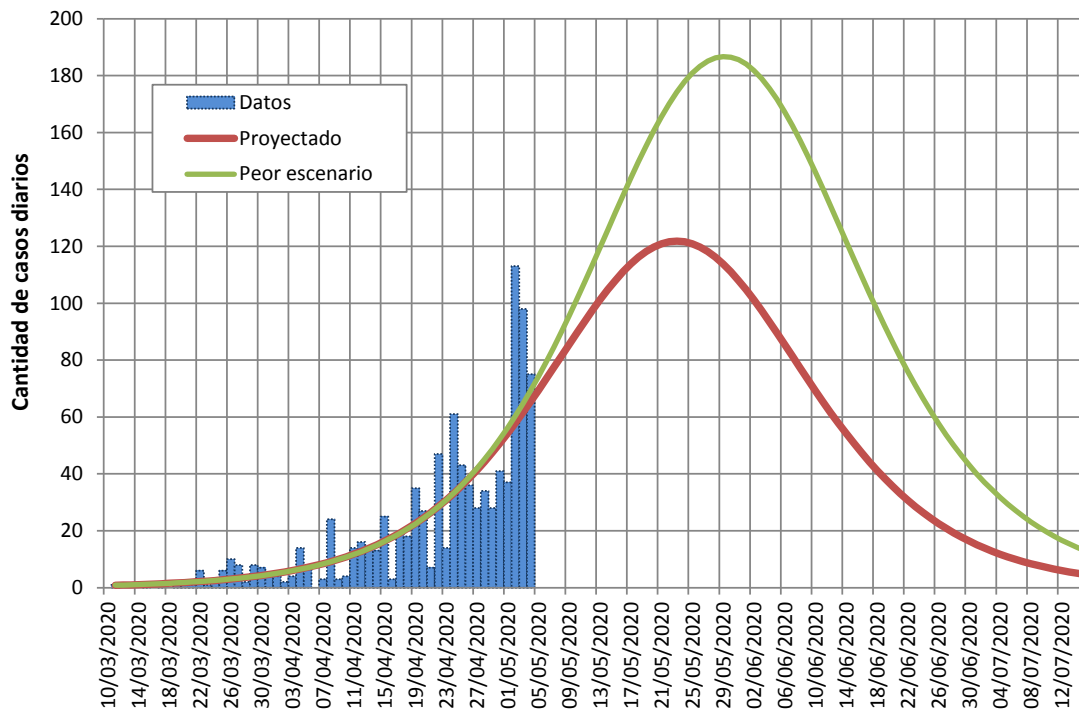


Figura 7. Cantidad diaria de casos en Santa Cruz, datos ajustados a la curva de Verhulst al (04/05/2020)
Fuente: Elaboración propia

El número de contagios en Santa Cruz aún se encuentra en la etapa exponencial de la curva de casos acumulados, la cantidad máxima de personas contagiadas en este Departamento será de 5600 a 8700. Como máximo, se podrán presentar hasta 242 casos en un día (en el escenario más desfavorable). De seguir la tendencia así, el Departamento de Santa Cruz tendría la mayor cantidad de contagios en la última semana de mayo, reduciéndose a valores bajos a finales de agosto.

Tabla 3. Escenario actual - Departamento de Santa Cruz

Descripción	Valor estimado	Error máximo	Cantidad
Cantidad máxima de casos acumulados	5574	48	5622
Cantidad máxima de casos diarios	122	55	177
Fecha estimada para el valor máximo diario	miércoles, 20 de mayo de 2020 martes, 26 de mayo de 2020		
Fecha estimada cuando reducirán los casos por debajo de 0.2	viernes, 21 de agosto de 2020		

Tabla 4. Peor escenario - Departamento de Santa Cruz

Descripción	Valor estimado	Error máximo	Cantidad
Cantidad máxima de casos acumulados	8720	48	8768
Cantidad máxima de casos diarios	187	55	242
Fecha estimada para el valor máximo diario	martes, 26 de mayo de 2020 lunes, 1 de junio de 2020		
Fecha estimada cuando reducirán los casos por debajo de 0.2	jueves, 3 de septiembre de 2020		

En el Departamento de Cochabamba:

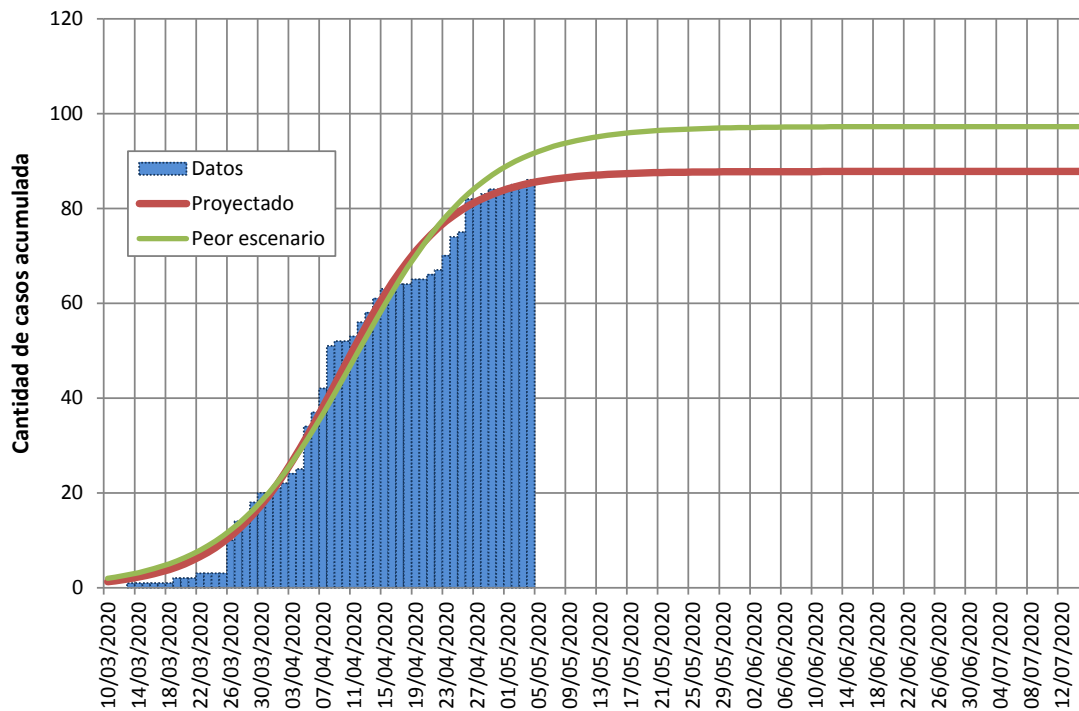


Figura 8. Cantidad acumulada de casos en Cochabamba, datos ajustados a la curva de Verhulst al (04/05/2020)
Fuente: Elaboración propia

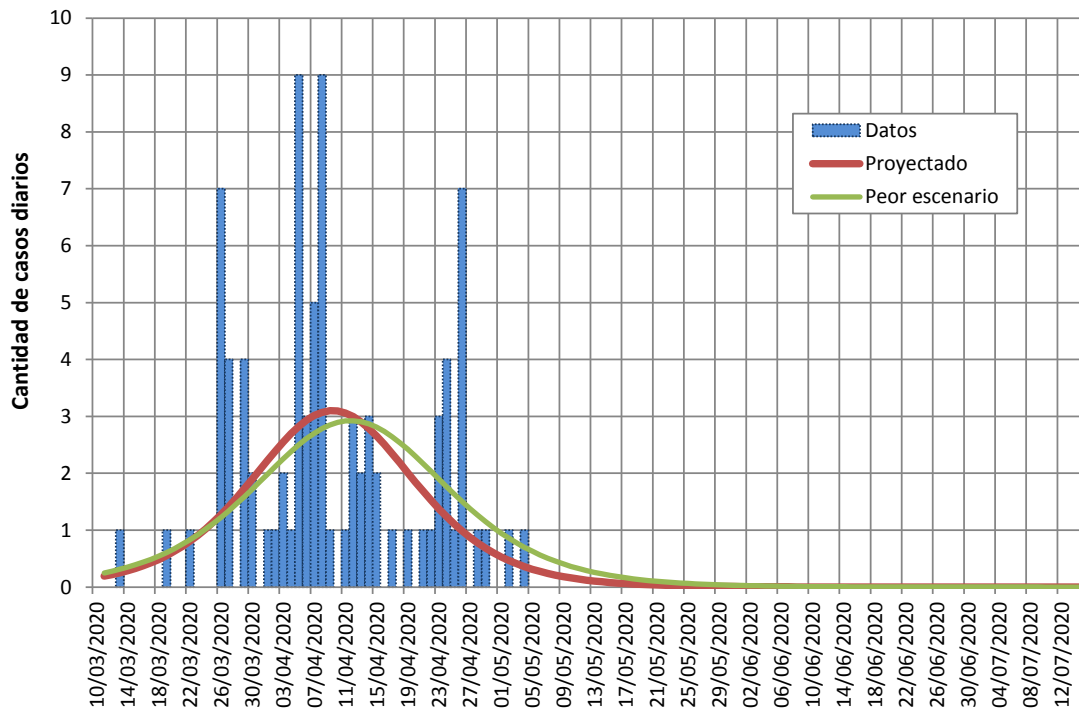


Figura 9. Cantidad diaria de casos en Cochabamba, datos ajustados a la curva de Verhulst al (04/05/2020)
Fuente: Elaboración propia

El Departamento de Cochabamba muestra un comportamiento diferente a Oruro y Santa Cruz, actualmente se encuentra en la etapa de descenso de la curva, aunque la poca cantidad de casos y la posibilidad de un rebrote o de casos de contagiados sin síntomas pueden modificar este escenario. Según la tendencia actual, de mantenerse las condiciones, el Departamento de Cochabamba estaría

con poca cantidad de contagios (o sin reportar casos por muchos días) entre la segunda y tercera semana de mayo. Esta situación puede modificarse en caso de reportarse más cantidad de casos en los siguientes días.

Tabla 5. Escenario actual - Departamento de Cochabamba

Descripción	Valor estimado	Error máximo	Cantidad
Cantidad máxima de casos acumulados	88	10	98
Cantidad máxima de casos diarios	3	6	9
Fecha estimada para el valor máximo diario	lunes, 6 de abril de 2020 domingo, 12 de abril de 2020		
Fecha estimada cuando reducirán los casos por debajo de 0.2	jueves, 14 de mayo de 2020		

Tabla 6. Peor escenario - Departamento de Cochabamba

Descripción	Valor estimado	Error máximo	Cantidad
Cantidad máxima de casos acumulados	97	10	107
Cantidad máxima de casos diarios	3	6	9
Fecha estimada para el valor máximo diario	jueves, 9 de abril de 2020 miércoles, 15 de abril de 2020		
Fecha estimada cuando reducirán los casos por debajo de 0.2	viernes, 22 de mayo de 2020		

En el Departamento de La Paz se presenta el siguiente escenario:

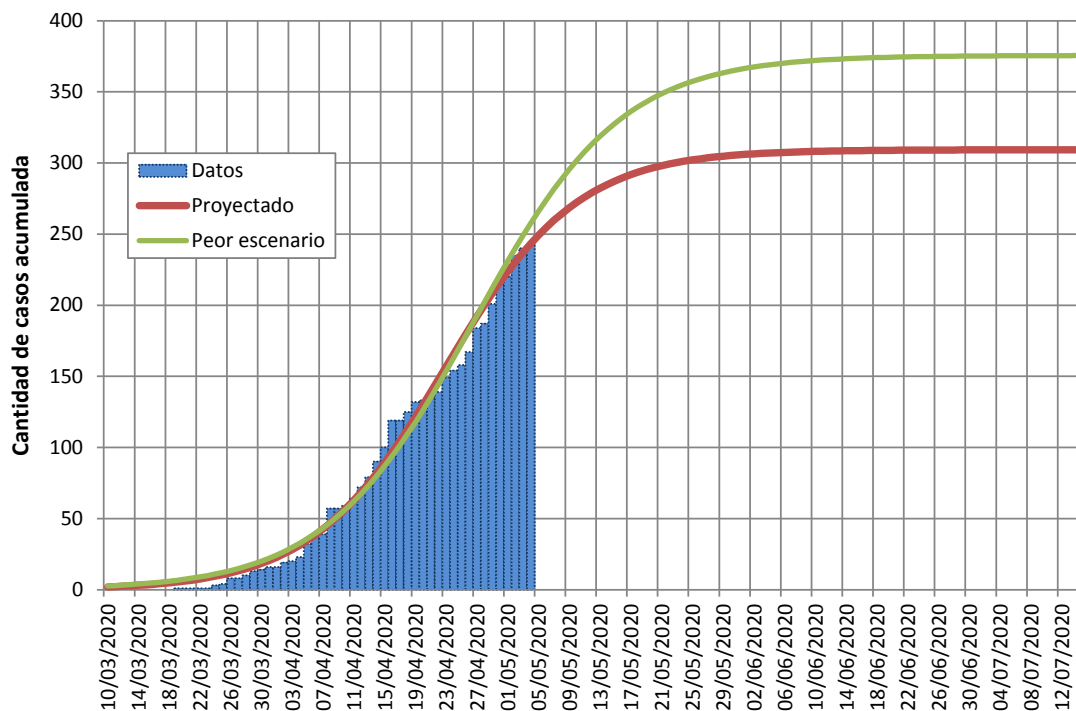


Figura 10. Cantidad acumulada de casos en La Paz, datos ajustados a la curva de Verhulst al (04/05/2020)
 Fuente: Elaboración propia

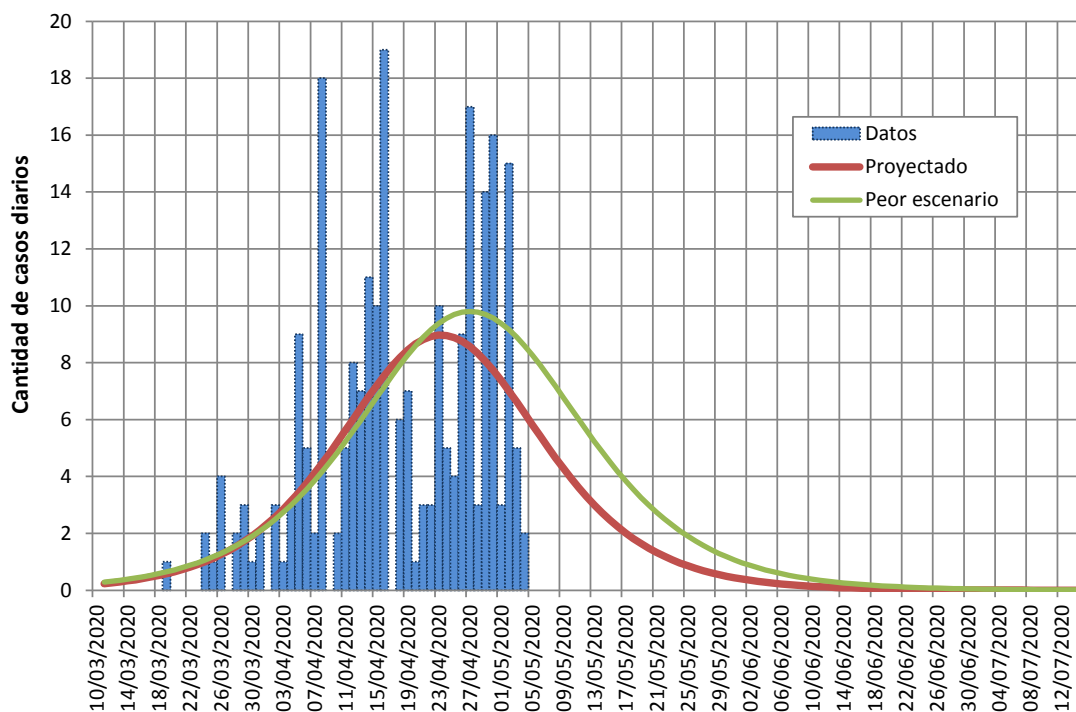


Figura 11. Cantidad diaria de casos en La Paz, datos ajustados a la curva de Verhulst al (04/05/2020)
Fuente: Elaboración propia

El Departamento de La Paz también se encuentra en la etapa de descenso de la curva, según esta tendencia, se alcanzaría a una cantidad máxima de contagiados que rondarían los 300 a 400 casos. La cantidad máxima de casos por día en La Paz es de 24 y se presentaría pocos casos (o ausencia de ellos por días) entre la primera y segunda semana de junio.

Tabla 7. Escenario actual - Departamento de La Paz

Descripción	Valor estimado	Error máximo	Cantidad
Cantidad máxima de casos acumulados	309	22	331
Cantidad máxima de casos diarios	9	14	23
Fecha estimada para el valor máximo diario	lunes, 20 de abril de 2020 domingo, 26 de abril de 2020		
Fecha estimada cuando reducirán los casos por debajo de 0.2	domingo, 7 de junio de 2020		

Tabla 8. Peor escenario - Departamento de La Paz

Descripción	Valor estimado	Error máximo	Cantidad
Cantidad máxima de casos acumulados	376	22	398
Cantidad máxima de casos diarios	10	14	24
Fecha estimada para el valor máximo diario	viernes, 24 de abril de 2020 jueves, 30 de abril de 2020		
Fecha estimada cuando reducirán los casos por debajo de 0.2	miércoles, 17 de junio de 2020		

4. Ajuste acumulado para toda Bolivia

Acumulando los ajustes por Departamento, además de los escenarios más desfavorables en cada uno de ellos, es posible configurar un escenario para toda Bolivia a fecha 04/05/2020.

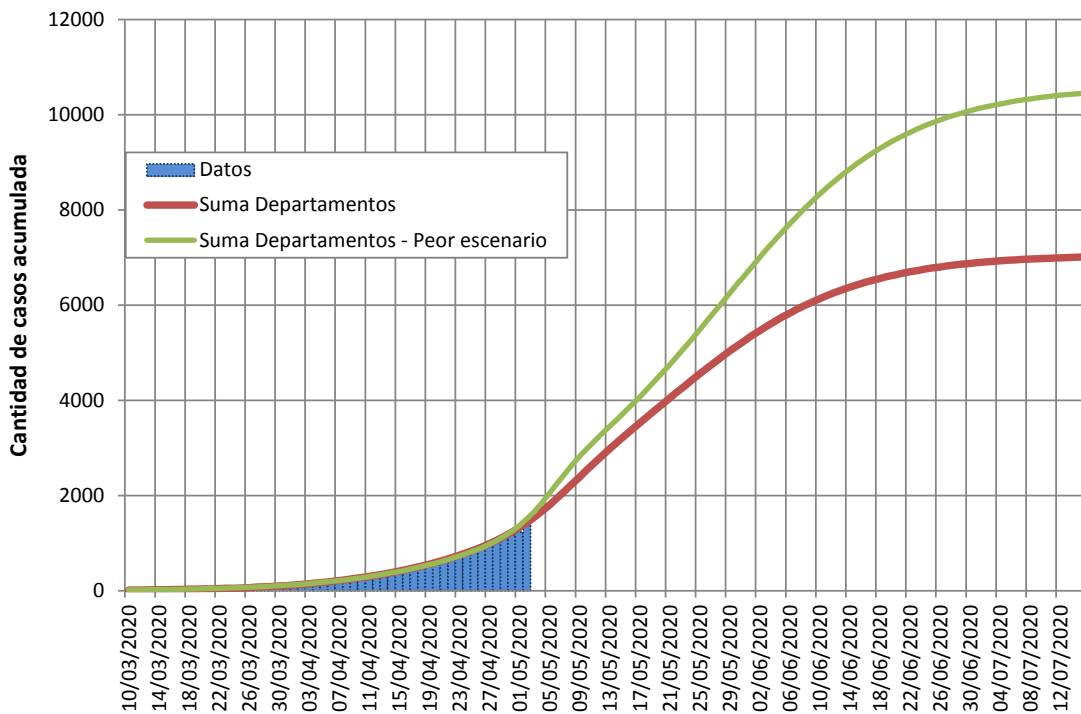


Figura 12. Cantidad acumulada de casos en Bolivia, datos ajustados a la curva de Verhulst al (04/05/2020)
 Fuente: Elaboración propia

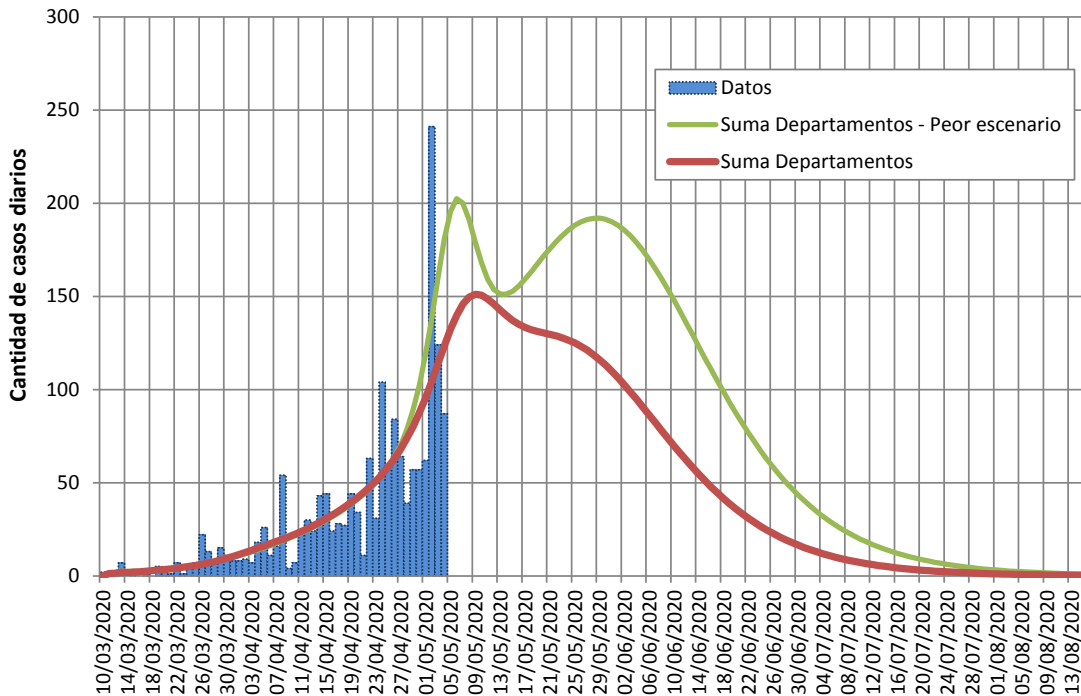


Figura 13. Cantidad diaria de casos en Bolivia, datos ajustados a la curva de Verhulst al (04/05/2020)
 Fuente: Elaboración propia

En el gráfico de casos diarios (peor escenario), es posible observar la presencia de dos picos, el primero se debe a la cantidad de casos de Beni y al aporte de los otros Departamentos, excepto Santa Cruz. Precisamente el Departamento de Santa Cruz hace que el descenso global de la curva del país sea lento.

Tabla 9. Escenario actual - Bolivia

Descripción	Valor estimado	Error máximo	Cantidad
Cantidad máxima de casos acumulados	7061	93	7154
Cantidad máxima de casos diarios	151	136	287
Fecha estimada para el valor máximo diario	miércoles, 6 de mayo de 2020 martes, 12 de mayo de 2020		
Fecha estimada cuando reducirán los casos por debajo de 0.2	viernes, 21 de agosto de 2020		

Tabla 10. Peor escenario - Bolivia

Descripción	Valor estimado	Error máximo	Cantidad
Cantidad máxima de casos acumulados	10598	93	10691
Cantidad máxima de casos diarios	202	136	338
Fecha estimada para el valor máximo diario	domingo, 3 de mayo de 2020 sábado, 9 de mayo de 2020		
Fecha estimada cuando reducirán los casos por debajo de 0.2	jueves, 3 de septiembre de 2020		

Entre la primera y segunda semana de mayo se tendrá la mayor cantidad de casos en nuestro país. De forma general, la cantidad de contagiados bajará con Santa Cruz, la última semana de agosto o la primera de septiembre.

De mantenerse las condiciones actuales, el modelo indica que la cantidad máxima de contagiados en el país estará entre los 7000 a 10000 casos, la cantidad máxima de casos por día no superará los 338 casos.

5. Recomendaciones

La cuarentena en Oruro debe mantenerse hasta fines de mayo y evaluar la situación para ver si se continúa con la medida o se la flexibiliza.

Recalcar nuevamente, las medidas estrictas en la cuarentena repercuten en la reducción en el tiempo de la misma; la flexibilización amplía el tiempo requerido para bajar el número de casos de contagios y puede generar rebrotes.

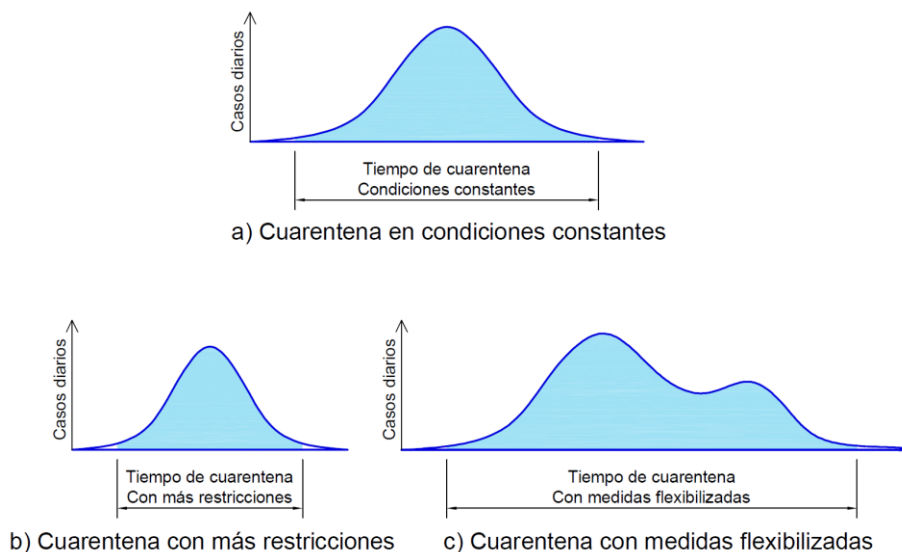


Figura 11. Modificación de la curva de casos diarios en función de las medidas adoptadas en la cuarentena
Fuente: Elaboración propia

La modelación realizada es en situación de la actual cuarentena, las predicciones cambiarán si la cuarentena se flexibiliza.

Aunque la medida es evidente, es importante tratar de bajar el pico de la curva en Santa Cruz, esto permitirá reducir el tiempo en que Bolivia se encuentre en emergencia por la pandemia.

En la situación actual, debe recolectarse la mayor cantidad de datos posibles de los casos de contagio con COVID-19, no solamente datos generales de contagios y curados, sino los microdatos de todos los pacientes. Esto podrá ayudarnos a conocer mejor al comportamiento de la enfermedad en nuestro medio local. La cantidad de datos recolectados deben permitirnos más adelante encontrar patrones subyacentes que sean característicos de las distintas regiones de nuestro país, para lo cual pueden utilizarse herramientas de inteligencia artificial, por ejemplo.

Es importante hacer más pruebas de identificación de contagios, la incertidumbre en los datos o su modificación posterior puede hacer variar enormemente la predicción.