

Matriz para una reactivación segura: una alternativa diferente para monitorear la evolución del país, en su lucha contra el COVID-19.

Justificación:

No hay que indicar cuál es el impacto, socio-económico o de salud de la pandemia generada por el SARS-CoV2, pero desde cualquier óptica es enorme y además incierto. En este contexto y en medio de la dura realidad, es necesario buscar metodologías y herramientas que apoyen a gobernantes y decisores sobre las difíciles escogencias entre medidas de contención, mitigación, confinamientos locales o estrictos y en donde poder adelantar pilotos de apertura. Advirtiéndose que el desarrollo del COVID-19, es de característica territorial, el comportamiento varía dinámicamente entre regiones y dinámico, siendo un fenómeno con impacto más fuerte en zonas urbanas y de mayor densidad. Así mismo los confinamientos generales no son sostenibles, ni resultan tan efectivos y la gradualidad de acciones es necesaria.

Con esta óptica y basado en la muy buena información que hay en fuentes públicas como la del INS y el Ministerio de Salud, e incorporando el uso de herramientas conceptuales y de ingeniería, como analítica, teoría de restricciones, física de planta, cadenas de Markov, análisis jerárquico, análisis multivariado y la Ley de Little e identificando que las unidades de cuidado intensivo (UCI), son el recurso crítico que gobierna la capacidad del sistema, Decisiones Logísticas (DL), desarrolló una metodología que permite analizar el avance del COVID-19 de una manera diferente, buscando aportar elementos analíticos que soporten las complejas decisiones que deben tomar los gobernantes.

Principios de análisis:

- **Principio de gestión:** basado en teoría de restricciones, uno de sus principios es identificar cual es el recurso crítico que restringe la capacidad del sistema. Si bien en el sistema de salud hay muchos recursos y cuellos de botella, como en **cualquier** sistema dinámico **el cuello de botella no desaparece, solo se trasladará**, no obstante, por ahora el recurso limitante se identifica son la Unidades de Cuidado Intensivo (UCI). Tan es así, que para decretar medidas de confinamiento y cuarentenas uno de los indicadores claves, es la ocupación de UCI.

- **Cadenas de Markov:** muchos de los modelos epidemiológicos, utilizan dentro de su modelaje, los diferentes estados de la enfermedad y el cambio entre ellos y las probabilidades asociadas. Si bien esto es requerido para estos modelos, para efectos de control de gestión del recurso crítico, se enfoca en los estados que afectan el recurso crítico, es decir en este caso las UCI.

- **Ley de Little:** este teorema rige para todos los sistemas de filas e indica que, en un sistema en estado estable, en promedio el número de entidades (L) – en este caso pacientes – es igual a la tasa de llegada promedio (λ) - nuevos pacientes – por el tiempo promedio que una entidad pasa en el sistema (W). Algebraicamente es $L = \lambda * W$. En este sistema y otros sistemas dinámicos y estocásticos se puede hacer el equivalente así:

- $\lambda = TH$ (tasa de salida) $\approx$ pacientes que salen del estado de enfermedad por periodo de tiempo, bien sea por que se recuperan o por que fallecen.
 - Se puede asumir que es equivalente a la tasa de entrada, porque se estima cuando el

sistema alcance el equilibrio.

- $L = \text{WIP} \approx$ en este caso corresponde al número de pacientes en UCI. El concepto se puede ampliar a casos activos y más adelante se presenta el ajuste.
- $W = \text{TC}$ (tiempo de ciclo) $\approx$ en términos generales es el tiempo que dura un paciente en salir del estado. En este caso se asocia al tiempo de estancia en UCI, que es el recurso crítico.

Así la ley se puede reinterpretar como: $\text{TH} = \text{WIP} / \text{TC}$

Tasa de entrada de nuevos pacientes = Pacientes en UCI / Tiempo de estancia en UCI.

- **Principio de control:** basado en la teoría de física de planta presentada por Hoop & Spearmanⁱ este sistema se podría asemejar al descrito por ellos como CONWIP “*CONstant Work In Process*”. Esto dado a que la capacidad del sistema está dada por el número de UCI y no se podrá exceder su ocupación, porque el sistema colapsa y representa muertes adicionales por falta de capacidad. Es decir, tenemos un sistema gobernado por el WIP que en este caso son los pacientes en UCI que es el recurso crítico. Dado que el tiempo de estancia en UCI responde a un proceso médico, que es indeterminado y el número de UCI es fijo en el horizonte de corto plazo, la única alternativa para evitar que el sistema colapse es que la tasa de entrada sea inferior a la capacidad del sistema.

Suponga un ejemplo ilustrativo donde: el tiempo de estancia en UCI es de 11 días; en la región hay disponibles 100 UCI; el porcentaje de pacientes contagiados por SARS-CoV2 que van a UCI es de 4%. En este caso la tasa de contagio de nuevos casos promedio por día, debe ser estrictamente menor a 227, para evitar que el sistema colapse. $\text{TH} = 100 / 0.04 * 11 = 227.27$

De manera similar los casos activos, se pueden estimar dada la capacidad de UCI y esta curva a diferencia de los diagnosticados se aplanan en el nivel donde los recuperados y fallecidos sean similares a la tasa de nuevos contagiados. Es decir, el nivel de aplanamiento, se logra con la difícil pero no imposible tarea de controlar que el **número de nuevos contagios**, esté acorde a la capacidad del sistema.

Métodos estadísticos y fuentes:

Fuentes de datos:

- Para este estudio, la principal fuente de información es la plataforma de datos abiertos del gobierno de Colombia que se puede acceder en el vínculo adjunto.ⁱⁱ De esta se toman datos desde el 6 de marzo de 2020 y se actualizan cada semana. Estos incluyen los casos diagnosticados positivos vía prueba PCR, con los campos que se precisan en el anexo 1. De esta misma fuente se obtiene el número de pruebas realizadas en el mismo periodo de tiempo.
- Una segunda fuente es el número de UCI que proviene del sistema SISPRO del Ministerio de Salud que se puede acceder en el vínculo abajo indicado ⁱⁱⁱ. Esta se toma desde 27 de julio y al igual que los casos se actualizan con un periodo semanal. De allí se extrae el número de UCI por departamento y el número de casos reportados.
- Población: se extrae de la fuente del DANE ^{iv}, de donde se extrae la población estimada para 2020 y en particular el porcentaje de adultos mayores de 60 años.
- Dado que en muchos municipios del país no hay disponibles UCI y en caso de requerirse se trasladan al hospital regional más cercano, se asume que la capacidad de UCI de la región es la determinada por el departamento.

Análisis y variables cuantificadas.

- 1- **Proporción capacidad de contagio:** basado en los principios ilustrados previamente, se incorpora un concepto central que es denominado “capacidad de contagio”, que indica cual es el estimado de personas que se podrían contagiar, de manera que no se supere la capacidad del sistema de salud. La capacidad de un municipio está definida en función a su población como proporción de la población total de su departamento y el número de UCI.
- 2- **Densidad poblacional:** se basa en el número de habitantes estimado y el área del municipio respectivo.
- 3- **Razón de transmisibilidad:** es la proporción de nuevos contagios de la semana i / entre nuevos contagios de la semana $i-1$.
- 4- **Porcentaje de positividad:** definido como el número de pacientes reportados positivos (independiente de su estado), entre el número total de pruebas realizadas.
- 5- **Porcentaje de rastreo:** definido como el número de pacientes identificados como importados o relacionados, sobre el total.
- 6- **Riesgo de rebrote γ :** es la razón de reproducción media de los últimos 7 días multiplicada por la incidencia acumulada de los últimos 14 días
- 7- **Número de casos activos x 1.000 Hab.:** para este análisis se define como: casos confirmados menos los recuperados, menos los fallecimientos, según la población de cada municipio. Este se toma con base en la fecha de diagnóstico.
- 8- **Número de casos activos estimados x 1.000 Hab.:** dado el retraso de información entre diagnóstico y publicación, se hace una estimación siguiendo la Ley de Little, asumiendo la ocupación promedio de UCI de la última semana que es información más reciente. El valor se asigna a cada municipio según proporción de los casos activos.
- 9- **Proporción de adultos mayores de 60 años:** teniendo en cuenta que la edad es uno de los factores de riesgo y la tasa de mortalidad es críticamente más alta a partir de esta edad como se puede inferir de los diferentes reportes globales^{vi}. Se determina la población de casos activos para mayores de esta edad y se estima la proporción comparándola con la estimada poblacional.
- 10- **Ocupación de UCI:** se toma directamente del valor reportado por el INS, identificando las tres categorías allí reportadas, COVID, Sospechosos y NO COVID.
- 11- **Carga semanal:** estimado neto de cuantos pacientes ingresan al sistema: (nuevos contagios menos recuperados menos Fallecidos) / 1.000 Hab. de la última semana.
- 12- **Porcentaje de severidad:** mide el % de personas en estado severo o fallecido sobre el total de diagnosticados.
- 13- **Mortalidad:** fallecimientos por cada 100.000 habitantes de cada población.
- 14- **Tasa de incidencia:** número de diagnosticados positivos por cada 1.000 habitantes de su población

Análisis jerárquico.

Para cada una de ellas se analizó el histograma de frecuencia entre julio 5 y agosto 2 de 2020 y se identifican valores mínimos, máximos y *outlier*. Para cada variable se define una escala de dos niveles según la significancia de cada variable, con el fin de hacer más crítico después de cierto nivel. Por ejemplo, con respecto a la ocupación de UCI se define un límite de 70% como primera cota con asignación de 100 puntos a este tope. De allí en adelante hasta 100% se asignan 100 puntos adicionales. Si por ejemplo las UCI del departamento están al 85% el

puntaje asignado sería 150.

Índice de contagio: Busca medir para cada municipio, que los nuevos contagios no superen la capacidad del sistema. Incorpora las variables que afectan el contagio y la transmisión en la última semana. Se construye con la combinación lineal de las variables 1 a 6 definidas previamente y en las que se asigna un peso específico según valor definido por el equipo y la relevancia del mismo con mayor peso en la variable proporción capacidad de contagio.

Índice de actividad: busca identificar como es el estado actual de cada municipio según pacientes diagnosticados. Integra las variables que indican el estado y afectación del sistema en la última semana. Se construye de la combinación lineal de las variables 8 a 12, en las que se asigna un peso específico según valor definido por el equipo y la relevancia del mismo con mayor peso en la variable proporción casos activos estimados.

A las variables indicadas en los índices se agrega, la mortalidad y tasa de incidencia, que todas son computadas para el cálculo de un índice denominado **índice general de afectación** y poder relacionarlo de manera más simple como complemento de la matriz.

Matriz para una reactivación segura.

Este concepto se desarrolla para poder visualizar el estado de cada municipio de cara a los índices definidos y así facilitar la visualización y dar soporte a las decisiones que deben tomar los gobernantes. Para cada municipio se calcula el valor de cada índice y se grafica en un cuadro que se divide en 9 regiones.

En el eje X se grafica el índice de contagio y en el eje Y el índice de actividad. La división de cada región está dada por un límite de 35 y 70 puntos. La primera cota se estima basada en el hecho que se considera que la capacidad general del sistema no se considera comprometida. El segundo donde si bien todavía presenta holgura su presenta congestión y mayor vulnerabilidad. Las acciones generales consideradas para cada región del cuadrante se definen así:

Índice de actividad.	Reforzar salud	Cierre local	Cuarentena en la zona definida.
	Mitigación + Salud	Mitigación	Cierre local
	Flexibilización mantener contención	Mitigación + pedagogía	Cerco estricto.

Ilustración 1: Matriz conceptual – regiones de acción.

Los colores indican alarmas respectivas de cada zona y acciones que se recomiendan de manera general. Por ejemplo, la región 1,2 que se denomina mitigación + pedagogía, esto a que, si bien no entran en zona de riesgo, es necesario reforzar acciones pedagogía para evitar nuevos brotes. En esa misma línea la región 1,3 entraría en alerta naranja ya que los contagios reportados fueron muy cercanos o superiores a la capacidad del sistema y deben hacer un cerco estricto, en las personas diagnosticadas para evitar que se pierda control de la situación.

La región 3,3 es la de mayor cuidado ya que allí tanto el número de enfermos como los nuevos casos son altos y tiene más riesgo de colapsar el sistema de salud. Claro hay que considerar otras variables, como el perfil demográfico de la población, el tamaño, la cercanía y movilidad con otros municipios y regiones cercanas, para establecer acciones específicas.

De otro lado el cuadrante 1,1 son aquellos municipios donde al contrario se pueden adelantar pilotos y actividades de reapertura y mayor movilidad de personas, debido a que la incidencia es baja y si bien pudo tener brotes, se han controlado. Por su puesto las medidas básicas de prevención se deben mantener. Pero el riesgo de colapso es bajo acorde a su estatus actual y la capacidad de su sistema.

Hallazgos y resultados.

Semanalmente se revisa y actualiza la información y se corren todos los cálculos y actualizan los diferentes índices. Se tienen resultados para todo el país, pero dado que este es un fenómeno territorial, se muestra aquí como ejemplo un análisis del departamento de Antioquia. Por ejemplo, en la gráfica 1 se observa el comportamiento de la semana del 13 al 19 de julio muestra que, si bien algunos de los más importantes municipios del Valle de Aburra, como Sabaneta, Medellín, Bello e Itagüí estaban en la región 3,3, donde se indican deben adelantarse cuarentenas, no obstante, varios municipios están en zonas de alerta amarilla y otros en la zona verde donde se podrían habilitar pilotos de apertura. Se menciona este resultado porque justo en esa semana, había diferencias entre los gobernantes de la región con respecto a las medidas a tomar y con la herramienta se puede visualizar que ambas posiciones podrían conciliarse.

Matriz para una reactivación segura - Antioquia

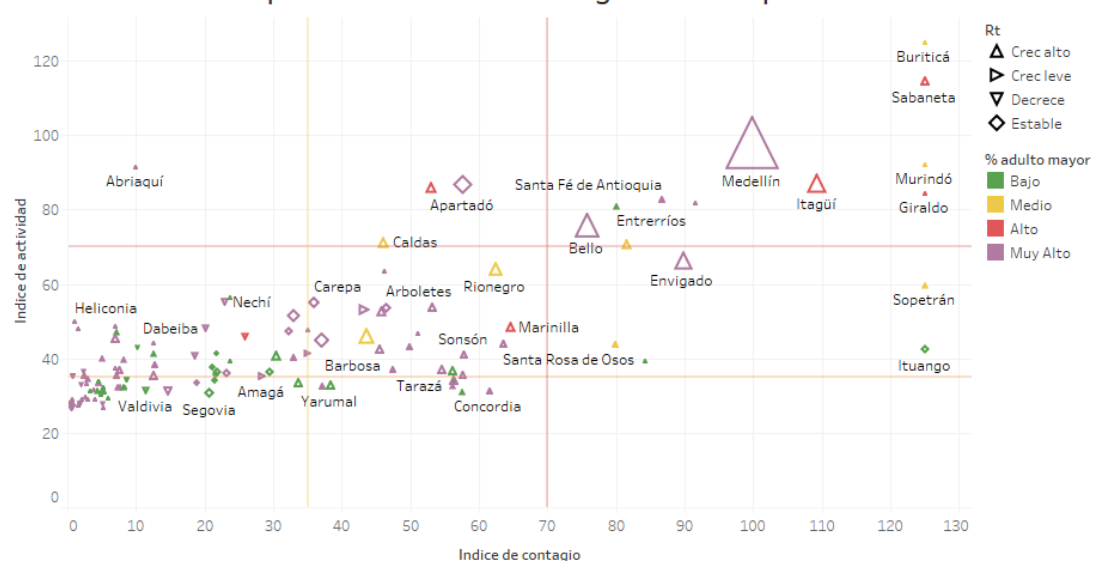


Ilustración 2- Matriz Antioquia 13-19 jun 2020

Otro resultado a revisar es el del departamento del Atlántico. Se observa, como en la semana del 6 al 12 de julio la mayoría de la población del departamento deberían estar en medidas de supresión al no poder identificar y localizar brotes, medidas que se tomaron y se ven reflejadas en el índice general de las siguientes semanas.

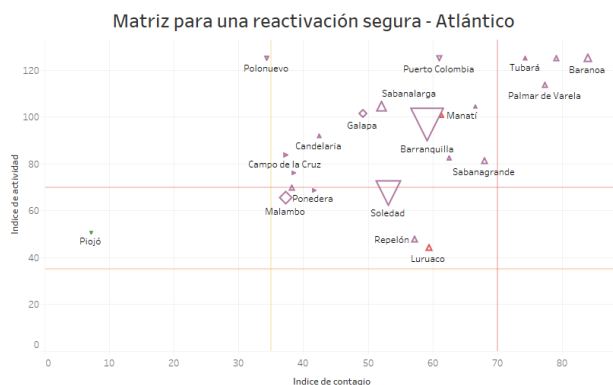


Ilustración 3: Matriz 10-16 de ago Atlántico

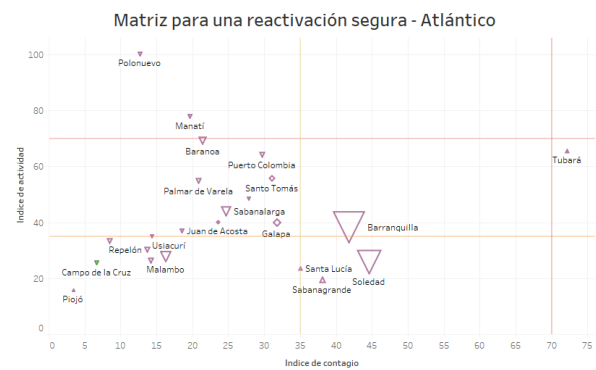


Ilustración 4: Matriz 13-19 jul Atlántico

Esto también se evidencia es la del Índice general de afectación, que se aprecia en la ilustración 5.

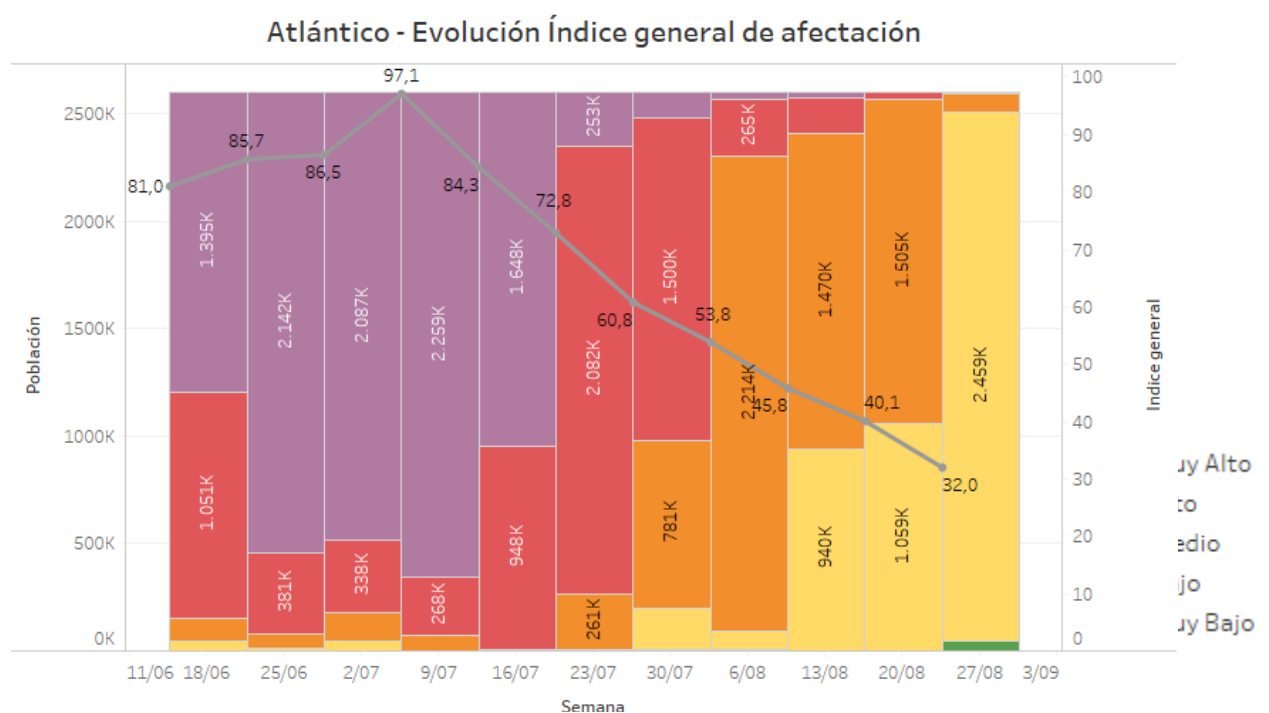


Ilustración 5: Evolución índice general de afectación - Atlántico

En este se observa que alcanzó un tope muy alto de 97.1 puntos pero que después fue decreciendo y las diferentes poblaciones de la región fueron cambiando su estatus. En particular después de ver que varias de las poblaciones del departamento, que representaban la mayoría de la población deberían estar con medidas de supresión (muy alto). Luego de este pico de contagio, la situación mejoró y el índice de afectación disminuye y desaparecen las zonas de cuarentena estricta.

En síntesis, con los conceptos desarrollados, la matriz presentada y el índice se brinda una herramienta que permite soportar la toma de decisiones, cuantificando las variables claves en salud y propagación de manera objetiva, facilitando la toma de decisiones que debe obedecer a condiciones locales de cada territorio, sobre todo después que la fase de contención no fue efectiva y ante condiciones como la alta transmisibilidad en este caso del SARS CoV2 y donde se identifica un recurso claro como cuello de botella en este caso las UCI.

Futuros desarrollos

- Territorios: en la actualidad las UCI están asignadas por departamento. Para algunas zonas las UCI cercanas son de un territorio que no pertenece a su departamento. Se pretende reasignar las zonas en territorios geográficos más cercanos.
- Movilidad: de cara a la apertura de actividades que implican mayor movilidad de las personas, esta se torna clave en particular en la propagación. En desarrollo está incorporar esta variable en el Índice de contagio.

ⁱ Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2001). Factory physics: Foundations of manufacturing management. Boston: Irwin/McGraw-Hill.

ⁱⁱ <https://www.ins.gov.co/Noticias/Paginas/Coronavirus.aspx>

ⁱⁱⁱ Ministerio de Salud de Colombia 2020

<https://minsalud.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/ee50239596654cf8930d105c970037b3>

^{iv} <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

^v Tomado de Generalitat de Catalunya - <https://dadescovid.cat/documentacio?lang=cas>

^{vi} <https://ourworldindata.org/mortality-risk-covid>