

El presente documento tiene la autoría de Luis Carlos Silva Aycaguer, investigador titular de la *Escuela Nacional de Salud Pública de Cuba*. Aunque está en fase de construcción aún y aunque será objeto de un artículo científico formal, puede ser difundido entre colegas para su valoración y estudio, pero se ruega no hacerlo en redes sociales o sitios de público acceso. Cualquier opinión o sugerencia o crítica puede hacerse llegar al autor en la dirección electrónica [lcsilvaa@yahoo.com](mailto:lcsilvaa@yahoo.com)  
La Habana, 16 de noviembre de 2020.

## Propuesta de indicadores para valorar el comportamiento de la epidemia en cualquier día epidémico y los niveles de alarma que correspondan.

### VERSIÓN (16 de noviembre de 2020)

#### RESUMEN

Se fundamenta la necesidad de contar con instrumentos metodológicos que permitan valorar y enjuiciar (la valoración es una *cuantificación* mientras que el juicio es una *calificación*) el grado de alarma que cabe tener en cualquier día especificado desde la irrupción de la epidemia de COVID19. Se trata de aquilatar tanto la situación prevaleciente como la tendencia en el comportamiento de esta emergencia sanitaria.

En este marco se subraya e ilustra la conveniencia de que tales recursos se apoyen en un marco de referencia bien definido que permita elaborar los juicios mencionados y, a partir de ellos, facilitar la toma de decisiones para enfrentar la epidemia.

Se fundamenta que la mera descripción de los acontecimientos a través de indicadores clásicos no siempre permite el establecimiento de dichos juicios, pues para ello es menester incorporar referencias dinámicas como parte del instrumento valorativo a construir. Se realiza una valoración crítica de los efectos negativos que supone el empleo de recursos valorativos que apelan a referencias estáticas y determinadas de manera especulativa. Se fundamenta que, por el contrario, es crucial que tales referencias contemplen formalmente la evolución que haya experimentado el proceso epidémico hasta el momento elegido para realizar la evaluación. Por otra parte, se subraya la conveniencia de que el indicador que se construya tenga cotas interpretables; esto es: que sus valores no puedan exceder ciertos umbrales (inferior y superior) y que esos umbrales sean susceptibles de interpretación inequívoca.

El usuario ha de establecer un indicador para hacer el análisis (número de casos activos diarios, número de casos nuevos confirmados diarios, fallecidos diarios, etc). El trabajo propone un indicador al que denominamos "Índice de Alarma Epidemiológica" (IAE), susceptible de ser calculado para cualquier día epidémico que se elija, en particular para el propio día que se esté aplicando. El IAE es un número que necesariamente se mueve entre 0% y 100%. Alcanza la cota inferior (0%) en el hipotético caso de que, durante los 14 días previos al momento que se analiza, el indicador seleccionado para el análisis sea sostenidamente nulo (14 días sin caso activo alguno) y alcanza el máximo valor (100%) si el indicador para cada uno de esos 14 días fue igual al máximo registrado hasta entonces. Además de ese volumen acopiado, el cómputo del IAE incorpora un componente que mide la tendencia que exhibe el comportamiento del indicador a lo largo de los 14 días previos al del examen. A los efectos de explicarlo e ilustrarlo se ha tomado el número de casos activos como indicador a considerar.

Finalmente, se sugiere asociar los valores del IAE a juicios mediante una escala ordinal que se fundamenta en el trabajo; dicha asociación se establece mediante una regla que arroja los siguientes 5 juicios cualitativos para calificar la situación prevaleciente el día elegido para su análisis: SIN ALARMA – ALARMA REDUCIDA- ALARMA SIGNIFICATIVA – ALARMA AUMENTADA - ALARMA APREMIANTE.

La fundamentación matemática del índice tiene cierta complejidad (incorpora el cómputo de áreas bajo una curva y análisis de regresión); y también la tiene su cómputo. Por esa razón, el documento donde se desarrolla todo lo mencionado se acompaña de un programa informático creado ad hoc, que permite un cálculo inmediato del índice con solo teclear el día epidémico para el cual se quiere hacer la valoración, el día de referencia inicial y el indicador a emplear para el análisis.

## 1. La medición de la dinámica de una epidemia

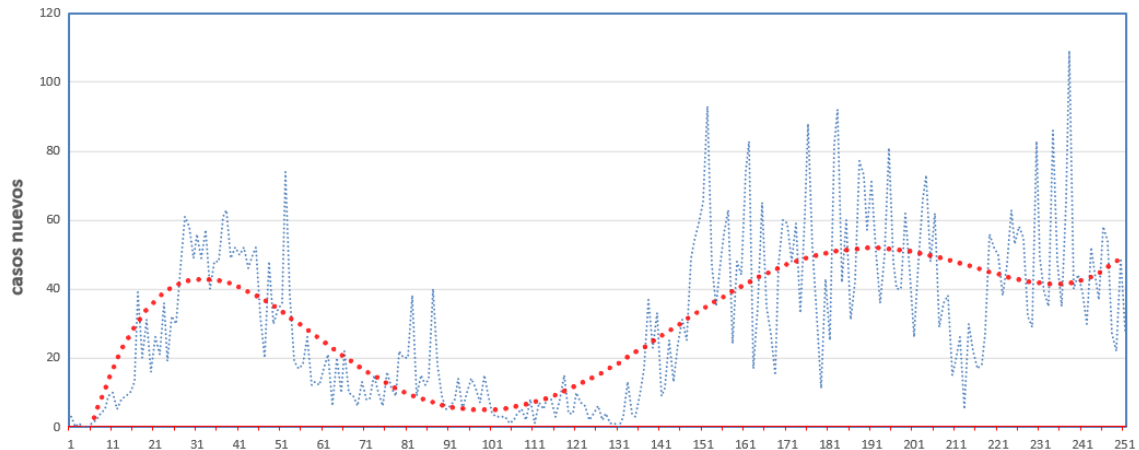
Diversos recursos se emplean para aquilatar la situación prevaleciente en ocasión de una epidemia. Entre los recursos convencionales que se usan con ese fin están la tasa de incidencia acumulada de casos confirmados, las tasas de mortalidad y letalidad, tasa de pruebas realizadas por 100 mil habitantes, índice de reproducción, etc. Un indicador relevante que procede considerar en cada momento dado es el número prevaleciente de casos activos (sujetos que, habiendo sido confirmados con la dolencia, aún no se han recuperado ni fallecido; es decir, aquellos que permanecen infectados en dicho momento). Tales procedimientos no permiten valorar por sí mismos la dinámica de la epidemia. Sin embargo, con ellos se pueden generar series temporales que contribuyen a valorar la evolución que se va produciendo, como se ilustra en la siguiente sección.

## 2. La situación actual de Cuba frente a la epidemia de COVID 19

En el momento de la redacción de este documento, Cuba está en el día 251º tras la irrupción de la epidemia, ocurrida el 11 de marzo de 2020.

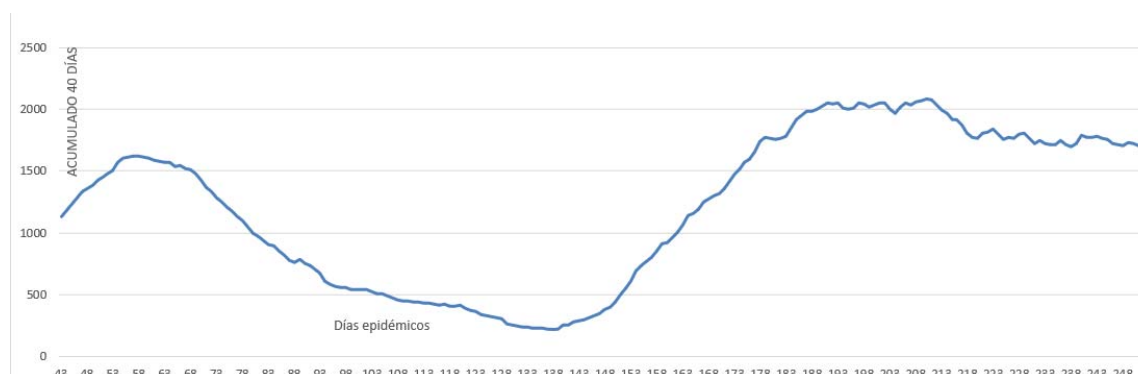
La forma en que se han manifestado estas cifras (así como el ajuste polinomial que modela ese comportamiento) queda reflejado en el **Gráfico N°1**.

**Gráfico N°1: Casos diarios incidentes desde el comienzo de la epidemia de COVID 19 en Cuba hasta los 251 días subsiguientes.**



Con la información mencionada se pueden construir series temporales que permiten apreciar algunas aristas de la dinámica epidémica. El **Gráfico N°2** ilustra posibilidades de este tipo.

**Gráfico N°2: Acumulado de casos nuevos durante los últimos 40 días para cada día desde que la epidemia superó los 40 días de existencia en Cuba (datos calculados desde el día 41 hasta el 251)**



Como se puede apreciar, si la epidemia se mirase en su dinámica desde esta perspectiva, estaríamos en un momento relativamente complejo.

### 3. Los esfuerzos para monitorizar la evolución de la epidemia de COVID 19 en Cuba

#### 3.1 Índice de positividad

Ocasionalmente se emplean umbrales absolutos para monitorizar el curso de la epidemia. Uno de ellos, promovido por la OMS (Véanse “Criterios de salud pública para ajustar las medidas de salud pública y sociales en el contexto de la COVID-19”<sup>1</sup>), es el empleo de la llamada “tasa de positividad” en un lapso determinado por dos momentos  $t_1$ ,  $t_2$  definida como:

$$TP(t_1; t_2) = \frac{N^{\circ} \text{ de positivos en el lapso } (t_1; t_2)}{N^{\circ} \text{ de PCR realizados en el lapso } (t_1; t_2)} 100\%$$

Empleando los datos de Cuba que se recogen en el archivo la hoja **DATOS** del archivo **ÍNDICE DE ALARMA EPIDEMIOLÓGICA.xlsx** que acompaña a este informe, puede calcularse el valor diario de  $P(t_i - 15; t_i)$  para  $i: 15, 16, \dots, 195$ . Los valores pueden apreciarse en el **Gráfico N°3**.

<sup>1</sup> Anexo del documento *Consideraciones relativas a los ajustes de las medidas de salud pública y sociales en el contexto de la COVID-19* 12 de mayo de 2020  
[https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332169/WHO-2019-nCoV-Adjusting\\_PH\\_measures-Criteria-2020.1-spa.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332169/WHO-2019-nCoV-Adjusting_PH_measures-Criteria-2020.1-spa.pdf)

**Gráfico N°3: Tasa de positividad diaria para cada uno de los días epidémicos transcurridos desde la irrupción de la epidemia de COVID 19 en Cuba.**



Como puede comprobarse en el documento que acabamos de citar, la OMS ha sugerido que el manejo de las pruebas es adecuado cuando  $TP(t_1; t_2)$  es inferior a 5% para lapsos de 15 días ( $t_2 - t_1 = 15$ ) y se ha interpretado que en tal caso puede decirse que “la epidemia está bajo control”. También se suele emplear la tasa diaria (caso en que  $t_2 - t_1 = 1$ ) que también se observa en relación con 5%. Según este criterio, Cuba exhibe resultados sumamente positivos, ya que -salvo en los días iniciales de la epidemia- la tasa se ubicó claramente por debajo del mencionado umbral para instalarse finalmente alrededor del 1% desde mediados de mayo.

Este indicador, sin dejar de ser útil y tener valor orientativo, resulta ocasionalmente conflictivo por varias razones:

- a) Si se realizan pocas pruebas PCR en determinado lapso, especialmente si la prevalencia de infectados es baja, es verosímil que aparezcan muy pocos casos, de modo que el indicador será muy bajo, no tanto porque la gestión sea buena sino porque es insuficiente.
- b) El indicador depende vitalmente de la forma en que se hayan llevado adelante las pruebas que nutren el denominador y de los protocolos que se hayan seguido para la aplicación de las pruebas diagnósticas. Por ejemplo, depende de si se hacen muchas pruebas en barrios residenciales, donde la tasa de positividad puede ser muy baja o si, por el contrario, se opera intensamente en barrios donde las personas viven hacinadas.
- c) La variabilidad de la  $TP$  entre los países es notable, sin que se observe una correlación clara con los respectivos indicadores de incidencia o de mortalidad, como se refleja en la **Tabla N°1**, para algunos países seleccionados.

**Tabla N°1. Tasa de positividad para los primeros 245 días de la epidemia, tasa de mortalidad por millón y tasa de incidencia acumulada por millón para países seleccionados**

	Tasa de positividad (%)	Fallecimientos por millón	Tasa de incidencia acumulada por millón
Dinamarca	0,7	111,7	4.418,70
Cuba	0,9	10,4	472,3
Uruguay	0,9	13,5	566,25
Canadá	2,2	245,2	3.986,40
Rusia	2,5	137,4	7.784,70
Bélgica	3,6	860,2	9.567,40
Túnez	4,0	16,2	1.217,70
USA	6,4	615,6	21.248,90
España	7,3	668	15.324,20
Paraguay	13,3	106,7	5.219,20
Chile	14,5	655,3	23.742,60
Argentina	39,6	336,5	15.294,00

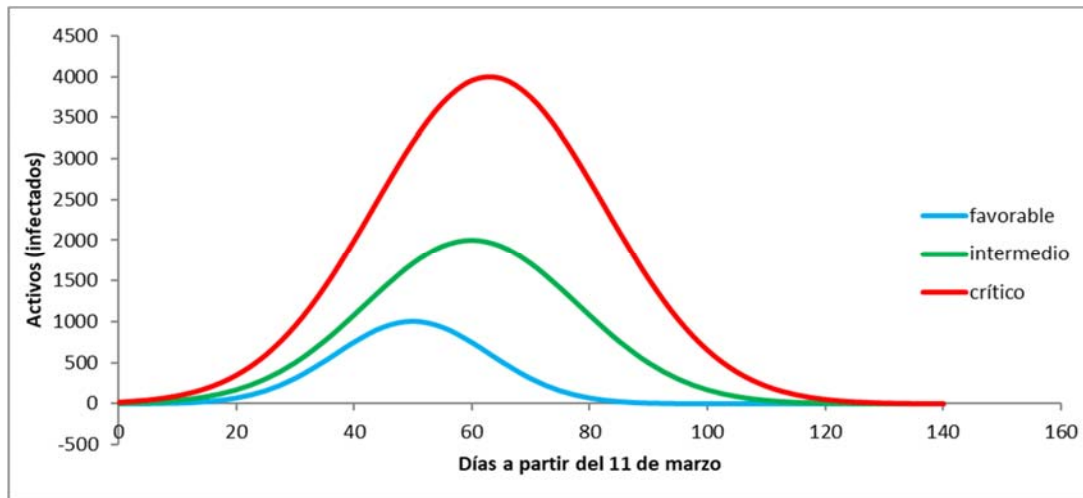
Fuente: datos tomados de <https://www.indexmundi.com/g/r.aspx?v=29&l=es>

Nótese que países con una tasa de positividad muy favorable (Cuba y Dinamarca, por ejemplo) tienen tasas de incidencia y mortalidad muy diferentes (10 veces mayor para Dinamarca). Chile con una tasa de positividad tres veces mayor que lo “recomendado”, exhibe tasas de morbilidad y mortalidad 5 veces mayor que Paraguay, aunque la tasa de positividad de ambos es similar. Otras comparaciones posibles ponen de manifiesto que el umbral fijado por OMS es considerablemente cuestionable como medida de eficacia en la gestión de la pandemia. Este es un problema que aqueja por lo general al establecimiento de umbrales o referencias fijas a los efectos que nos ocupa.

### 3.2 Construcción de escenarios

Un enfoque que se ha aplicado en Cuba ha sido el de crear “escenarios” a los que se asignan adjetivos que estarían calificando la situación; concretamente la situación asociada a estos escenarios ha recibido los siguientes adjetivos posibles: “favorable”, “media” o “crítica”. Para ello se construyeron curvas correspondientes a cada una de esas situaciones, como se muestra en el **Gráfico N°4**.

**Gráfico N°4: “Escenarios” creados para monitorizar el comportamiento de la epidemia de COVID 19 en Cuba.**



Estas curvas fueron intensamente difundidas desde el mes de abril en medios televisivos y espacios virtuales durante un lapso prolongado del proceso epidémico y se emplearon como sistemas de referencia una vez que se colocaban los puntos que reflejaban la evolución diaria de los casos activos.

Diversas críticas emergieron en relación con estas curvas, tales como que era inapropiado que unas estuvieran “empotradas” en las otras, sin intersección y, sobre todo, que todas ellas anunciaban que la epidemia estaba llamada a extinguirse en el peor de los casos hacia el día 140 de la epidemia (antes de que concluyera el mes de julio). Adicionalmente, se señalaba que la medida en que las curvas se expandían hacia arriba (es decir, la elección de los parámetros de los modelos que producían tal comportamiento) no estaba fundamentada, o se ignoraban los fundamentos.

El resultado, tras aplicar el procedimiento descrito, en una etapa precoz, tenía el aspecto que se muestra debajo, lo cual dio lugar a valoraciones por parte de nuestras autoridades, como el texto del Canciller y el gráfico incluido ponen de manifiesto en el mensaje que figura debajo:



**Bruno Rodríguez P** @BrunoRguezP · 1h

#Cuba se ubica en un escenario favorable en la curva evolutiva de la #COVID19.

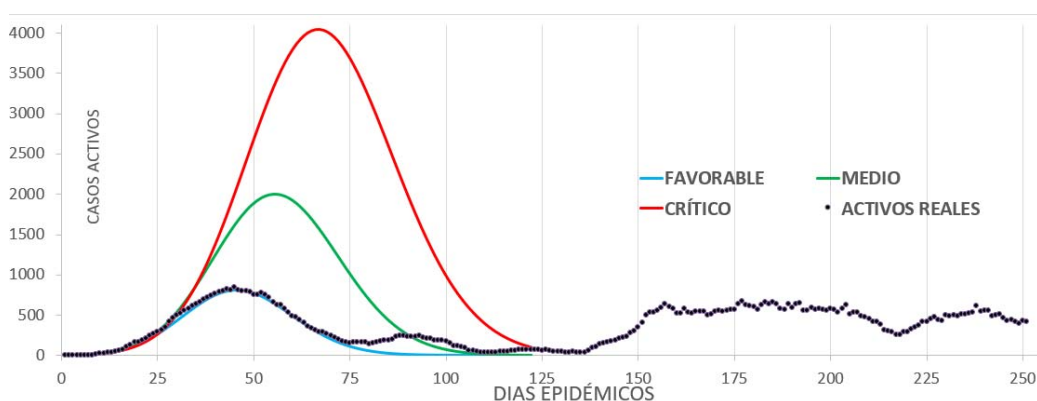
Son noticias alentadoras, pero nuestro deber ahora es evitar la confianza y redoblar esfuerzos.

Mantengamos el aislamiento físico, las medidas higiénico-sanitarias y la responsabilidad ciudadana.



Sin embargo, como se aprecia en el **Gráfico No. 5**, al colocar en ese contexto los puntos que reflejan los casos activos detectados, se aprecia que, con el paso del tiempo, dichos puntos “escapaban” del escenario “favorable” (hacia el día 75 de la epidemia) y se ubicaban sucesivamente muy por encima del “medio” (alrededor del día 90), e incluso del llamado “crítico” (desde el día 120). El comportamiento de dichos puntos a partir de este último día y en los 130 días posteriores, permite apreciar que la discordancia con estos tranquilizadores vaticinios ha sido muy acusada.

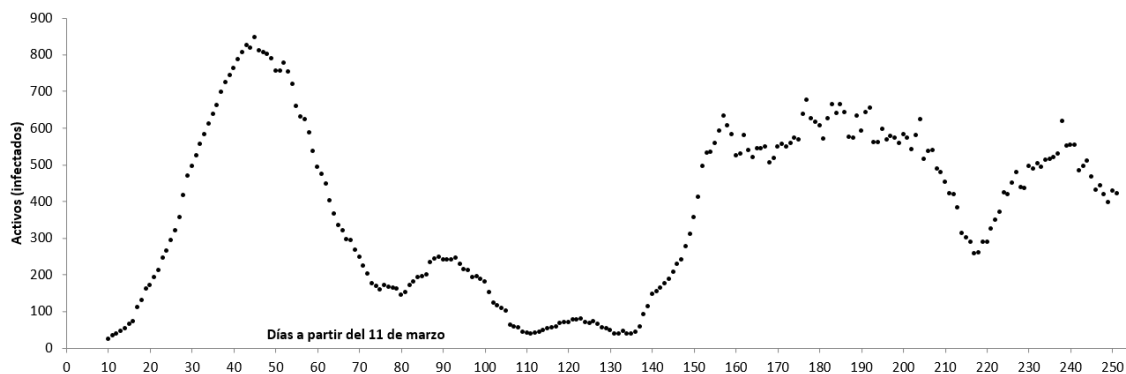
**Gráfico N°5. Ubicación de los casos activos diarios en el contexto de los tres escenarios elaborados para monitorizar la dinámica de la epidemia**





Un examen más detenido de los datos, representados en el **Gráfico N°6**, permite apreciar que el comportamiento de los casos activos parece ubicado actualmente en una meseta, de altura casi tan grande como la que se alcanzó en el pico de la epidemia (el 24 de abril, el día epidémico 45º, con 847 casos activos) y que se ha prolongado por espacio de unas 10 semanas con un declive más reciente, probablemente debido -entre otras razones- a las medidas restrictivas implementadas desde el inicio de dicha meseta:

**Gráfico N°6. Evolución de los casos activos diarios desde el comienzo de la epidemia hasta el día 251º de su desarrollo**



Las reflexiones precedentes ponen de manifiesto la inconveniencia de operar sin marcos de referencia adecuados para valorar la evolución del proceso epidémico. Ello sugiere el provecho asociado a un sistema evaluativo que permita, para cualquier día de la epidemia (desde su fase inicial hasta la actual), aquilatar cuál es la situación que en dicho momento prevalecía o prevalece. Se trata de construir un indicador y de programar el modo de computarlo que consienta un análisis dinámico y con un marco referencial adecuado, que a su vez desemboque en una valoración cuantitativa de la magnitud del problema que confrontamos y de la tendencia que este exhibe.

#### **4. Premisas fundamentales para la construcción del indicador**

La idea central comienza por reconocer que lo que ocurre en un día dado (sin desdeñar los altibajos que pueda presentar el número de casos activos en determinados días aleatorios) debe ser valorado en su contexto temporal.

Por una parte, esto quiere decir que un número alto de tal cifra en determinado día no debería causar especial alarma si en los días previos las cifras fueron mucho menores. Esto reposa en la idea de que siempre se pueden producir fluctuaciones, ya sean estas “naturales”, determinadas por circunstancias operativas coyunturales, por la gestión inestable relacionada con el trabajo de los laboratorios o, incluso, por elementos meramente aleatorios.

Solo contemplando el contexto temporal en que se produce el análisis se podrán identificar patrones y tendencias. A la vez, quiere decir que un juicio contextual de la situación prevaleciente

(no solo de la tendencia) exige considerar lo ocurrido a lo largo de cierto número (llamémosle  $\Delta$ ) de días previos. Obviamente, un punto inicial es determinar qué se habrá de entender por “días previos”.

Atendiendo a una práctica más o menos universal en el caso de la COVID para este tipo de análisis, se sugiere tomar  $\Delta = 14$  días para marcar un contexto ni muy lejano ni muy cercano al día epidémico en el que habrá de centrarse el análisis. Ese número, además, es el que se ha señalado como el período de incubación en el caso del virus SARS-COV 2 (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32150748/>). Sin embargo, a los efectos del procedimiento que se expone a continuación, puede fijarse otro valor para  $\Delta$  y adaptar el procedimiento a dicha cifra, sin que este, como tal, pierda validez.

Supongamos entonces que  $\Delta = 14$ . Imaginemos que queremos analizar la situación prevaleciente determinado día epidémico, al que denominaremos en lo sucesivo  $D_{14}$  (es decir, si se quiere hacer ese análisis para el día 183 de la epidemia, entonces  $D_{14} = 183$ , de modo que  $D_{13} = 182$ ,  $D_{12} = 181$  y así hasta  $D_1 = 170$ ). Llamemos  $A_1, \dots, A_{14}$  a los casos activos que se registraron respectivamente en los 14 días epidémicos considerados. Esto significa, por ejemplo, que si el día  $D_4 = 173$  se registraron 558 casos activos, entonces  $A_4 = 558$ .

A modo de ejemplo, ubiquémonos en la situación concreta de Cuba en los días arriba señalados. Los datos correspondientes, pueden verse consultando la hoja **DATOS** del archivo **ÍNDICE DE ALARMA EPIDEMIOLÓGICA.xlsx** ya mencionado y que, entre otros datos, los casos activos de los primeros 207 días. Para el ejemplo que nos ocupa, tales fueron los se registran en la **Tabla N°2**:

**Tabla N°2. Número de casos activos para el día epidémico 183 y los 13 días precedentes**

$i$	$D_i$	$A_i$
1	170	550
2	171	556
3	172	550
4	173	558
5	174	573
6	175	568
7	176	638
8	177	677
9	178	626
10	179	616
11	180	606
12	181	571
13	182	626
14	183	664

Recordemos que se quiere construir un indicador que cuantifique (y permita *enjuiciar*) el comportamiento que exhibía la epidemia el día  $D_{14}$ . Le llamaremos “Índice de Alarma Epidémica” (*IAE*) y denotaremos como  $IAE(D_{14})$  al valor de dicho índice para el día  $D_{14}$ .

Antes de continuar ha de repararse en un principio metodológico esencial: como ocurre con cualquier *juicio* que se quiera establecer (trátase de un asunto económico, salubrista, e incluso estético o moral) es siempre preciso contar con un marco de referencia que cada analista ha de establecer con acuerdo a un posicionamiento teórico previo. Para que se entienda mejor lo que quiere decirse con ello, consideremos algunos ejemplos (los dos primeros se basan en datos tomados de <https://www.indexmundi.com/g/r.aspx?v=29&l=es>):

- a) En el marco salubrista, para considerar que la tasa de mortalidad infantil de Cuba (4,4 por cada 1000 nacidos vivos) es “magnífica”, “favorable”, “estimulantemente baja” (o cualquier juicio condensado en calificaciones de esa naturaleza) es menester colocar dicha tasa en un marco de referencia. Tales calificativos son apropiados cuando observamos que las tasas en diversos países de América (el marco de referencia elegido) son mucho mayores (34,2 en Bolivia, 23,3 en Guatemala o 16,9 en Brasil).
- b) En el marco demográfico, si podemos calificar de “angustiosa”, “reducida” o “muy pequeña” la esperanza de vida al nacer (EVN) en los países de África (entre 53 y 65 años), es porque hay naciones abismalmente alejadas de las cifras típicas de este continente, como ocurre con los países europeos (con EVN en un entorno de 82 años). En cambio, una cifra podría considerarse “estimulante” o “positiva” si, aun siendo baja en su contexto, es favorable respecto de las cifras de ese propio país en épocas anteriores.
- c) Podemos enjuiciar como “oprobiosa” la actuación que ejerce la policía contra ciudadanos negros en USA siempre que antes nos hayamos posicionado ideológicamente (marco teórico) en la tesitura de que todos los seres humanos son iguales y deben gozar de iguales derechos; pero aquel adjetivo no lo admitiría un supremacista blanco cuya concepción sea la opuesta.

En el caso que nos ocupa, una valoración de la epidemia en determinado momento exigiría, como se ha dicho, colocar los datos en un marco de referencia. Debido a que se quiere valorar la dinámica de la situación antes que la realidad estática en determinado momento, el marco elegido es el propio comportamiento de la epidemia en los días anteriores a aquel que se esté considerando. Pero lo ideal sería que los “días anteriores” no sean solo los  $\Delta$  días previos (marco de referencia inmediatamente anterior cuando  $\Delta = 14$ ) que ya mencionamos, sino también todos los días transcurridos desde la irrupción de la epidemia (marco de referencia histórico).

Se trata entonces de construir un indicador que contemple ambos marcos referenciales. Pero, a la vez, tal y como ocurre con otros esfuerzos de esta naturaleza (por ejemplo, los indicadores creados por el Fondo de Población de NNUU para computar el Índice de Desarrollo Humano e instrumentos metodológicos conexos<sup>2</sup>, lo ideal es que, además, un indicador de este tipo tenga tanto una cota inferior como una cota superior y que ambas cotas serán epidemiológicamente interpretables. Más

---

<sup>2</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%8Dndice\\_de\\_desarrollo\\_humano](https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%8Dndice_de_desarrollo_humano)

concretamente, cabe aspirar a que la menor se alcance en el mejor escenario previsto por el marco de referencia, y la mayor cuando se produzca el peor escenario que dicho marco establece.

## 5. Construcción del Índice de Alarma Epidemiológica

El primer paso, que parece enteramente razonable, es “normalizar” los valores de los  $A_i$ , y tomar como referencia natural para ello el máximo que haya alcanzado el conjunto de los números de activos registrados desde el comienzo de la epidemia hasta el día en que la situación se esté analizando. Es decir, definir  $P_i = A_i/M_i$ , donde  $M_i$  es el máximo valor de los  $A_j$  para  $j: 1, \dots, i$ .

Por ejemplo, en el caso real de Cuba, el día 174, pongamos por caso, se contabilizaban  $A_{174} = 573$  enfermos activos. El  $P_i$  correspondiente, sería el resultado de dividir este número entre 847, ya que ese es el mayor registro de casos activos en todos los 174 días transcurridos hasta entonces desde el comienzo de la epidemia, el cual se produjo el día epidémico 45. Esta división arroja el valor 0,677. Esto quiere decir que ese día se produjo un registro que ascendió a aproximadamente al 68% del mayor valor producido hasta entonces.

Si vamos al ejemplo de los 14 días transcurridos entre el día 170 y el 183, tendríamos que hasta ese día 183, los valores de  $P_i$  son los que figuran en la **Tabla N°2**

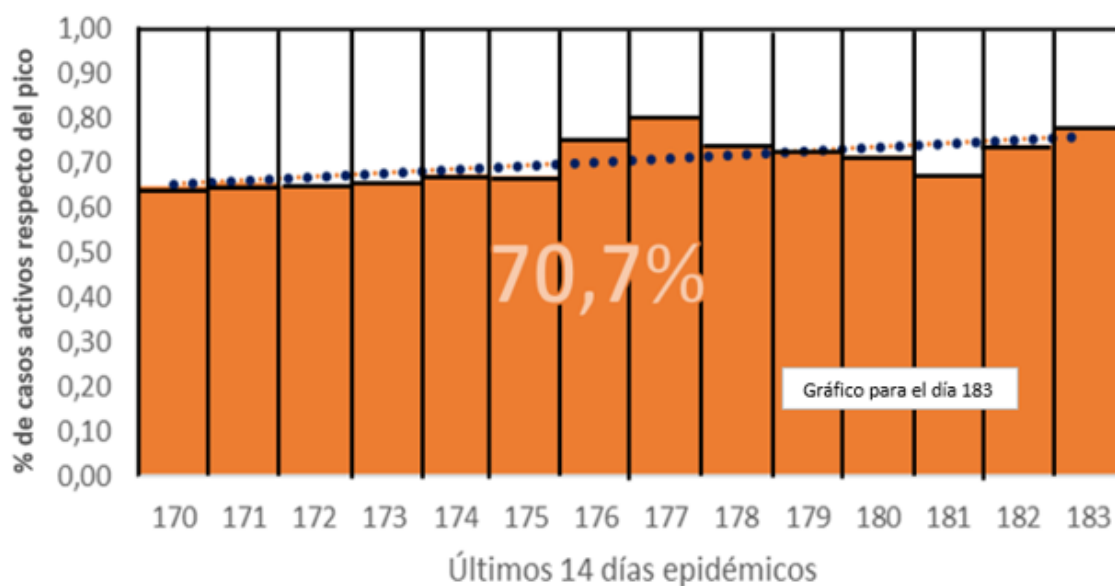
**Tabla N°2. Número de casos activos y de la fracción que representan estos casos respecto del máximo de casos activos en el pasado para el día epidémico 183 y los 13 días precedentes**

$i$	$D_i$	$A_i$	$P_i$
1	170	550	0,649
2	171	556	0,656
3	172	550	0,649
4	173	558	0,659
5	174	573	0,677
6	175	568	0,671
7	176	638	0,753
8	177	677	0,799
9	178	626	0,739
10	179	616	0,727
11	180	606	0,715
12	181	571	0,674
13	182	626	0,739
14	183	664	0,784

Ahora, si formamos un rectángulo de altura 1 y base igual a 14 unidades, podemos ubicar en su interior las 14 barras rectangulares de base igual a 1 y cuyas alturas son los  $P_i$ . Puede entonces calcularse el área cubierta por esas barras. Una vez que se fije el número  $D_{14}$  (en nuestro ejemplo  $D_{14} = 183$ , se tendrá el área arriba mencionada. Llamémosle  $Area(183)$ . Obviamente, se tiene que  $Area(183)$  es igual a la suma de los 14 valores  $P_i$ . En nuestro caso, dicho número resulta ser  $Area(183) = 9,89$ . Finalmente, puede calcularse qué porcentaje representa  $Area(183)$  respecto del área del rectángulo completo. Esta última es igual a 14. De modo que, si llamamos  $FCA(183) = \frac{Area(183)}{14}$ , a la fracción de casos acopiados correspondiente a ese par de semanas, su valor ascendería a  $\left(\frac{9,89}{14}\right) * 100 = 70,7\%$ . Nótese que el valor de  $FCA(x)$  estará necesariamente entre 0% y 100% para cualquier día  $x$  mayor o igual que 14 que se seleccione. El valor 0 correspondería al caso en que no hubiera caso activo alguno a lo largo de los 14 días y 100 si todos esos días la cifra fuera igual al máximo de casos alcanzado hasta cada uno de esos días.

La figura que se muestra en el **Gráfico N°7** expresa visualmente lo que se ha dicho verbalmente.

**Gráfico N°7. Monto de casos acopiados en los 14 días transcurridos hasta el día 183**



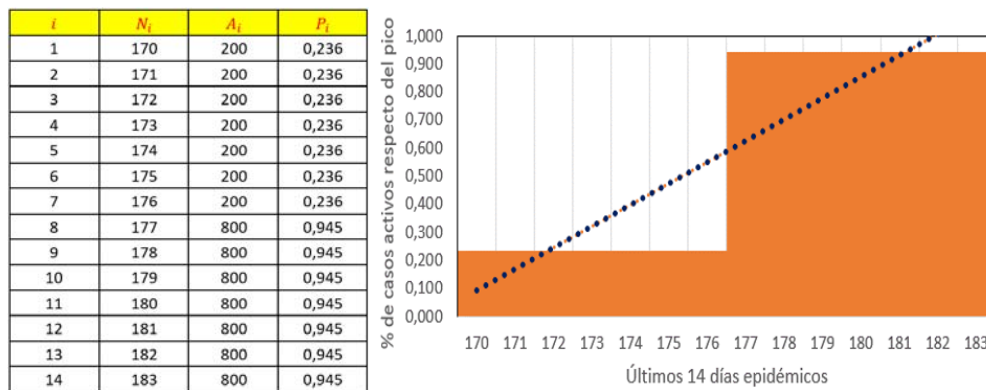
Antes de continuar, obsérvese lo que ocurre si el máximo se produce en uno de los 14 días localmente involucrados en el indicador. Imaginemos que el día 179 de la epidemia se hubieran registrado 903 casos, un número mayor que el 847 prevaleciente como pico hasta entonces. En tal caso, la tabla básica para el cálculo pasaría de ser la que está a la izquierda a la que está a la derecha debajo.

$i$	$D_i$	$A_i$	$P_i$	$i$	$D_i$	$A_i$	$P_i$
1	170	550	0,649	1	170	550	0,649
2	171	556	0,656	2	171	556	0,656
3	172	550	0,649	3	172	550	0,649
4	173	558	0,659	4	173	558	0,659
5	174	573	0,677	5	174	573	0,677
6	175	568	0,671	6	175	568	0,671
7	176	638	0,753	7	176	638	0,753
8	177	677	0,799	8	177	677	0,799
9	178	626	0,739	9	178	626	0,739
10	179	616	0,727	10	179	903	1,000
11	180	606	0,715	11	180	606	0,671
12	181	571	0,674	12	181	571	0,632
13	182	626	0,739	13	182	626	0,693
14	183	664	0,784	14	183	664	0,735

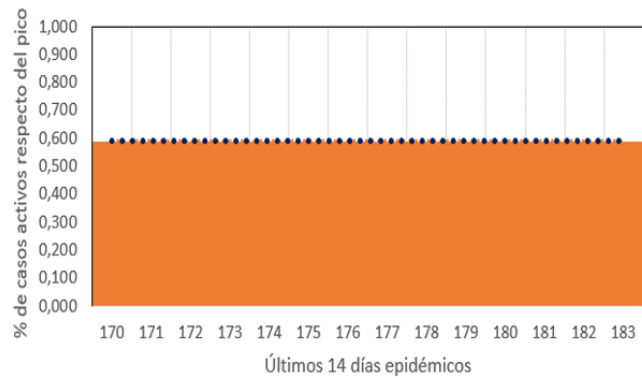
Es decir, los valores de  $P_i$  hasta el día 178 no cambian; pero del día 179 al 183 se modifican, ya que ahora se calculan respecto del “nuevo pico”, establecido el día 179, contemplando así la nueva contextualidad global sin dejar de tener en cuenta el marco reducido a los 14 días directamente involucrados.

En este punto, cabe llamar la atención que el valor de  $FCA(x)$  puede ser el mismo para configuraciones distintas, pero con diferencias en la tendencia de los datos. Por ejemplo, las siguientes tres configuraciones producen igual área bajo la curva ( $FCA(183) = 59\%$ ), como puede verse en el **Gráfico N°8**.

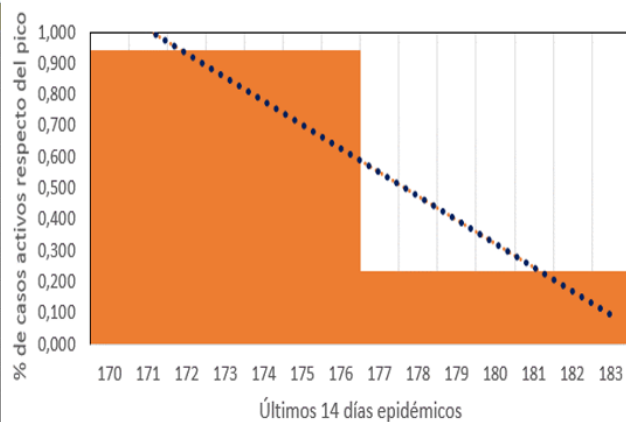
**Gráfico N°8. Ilustración de 3 situaciones en que el área bajo la curva es la misma, pero la tendencia cambia radicalmente de un caso a otro**



$t$	$N_t$	$A_t$	$P_t$
1	170	500	0,590
2	171	500	0,590
3	172	500	0,590
4	173	500	0,590
5	174	500	0,590
6	175	500	0,590
7	176	500	0,590
8	177	500	0,590
9	178	500	0,590
10	179	500	0,590
11	180	500	0,590
12	181	500	0,590
13	182	500	0,590
14	183	500	0,590



$t$	$N_t$	$A_t$	$P_t$
1	170	800	0,945
2	171	800	0,945
3	172	800	0,945
4	173	800	0,945
5	174	800	0,945
6	175	800	0,945
7	176	800	0,945
8	177	200	0,236
9	178	200	0,236
10	179	200	0,236
11	180	200	0,236
12	181	200	0,236
13	182	200	0,236
14	183	200	0,236



Aunque el valor de  $FCA(183)$  es el mismo en los tres casos, se aprecia un patrón local muy diferente. En el primer caso se observa que la tendencia en los  $A_t$  es a crecer con el paso de los días; en el tercero, ocurre exactamente lo contrario (la situación va mejorando) y en el segundo caso se observa una meseta (estabilidad total a lo largo de los 14 días).

Las configuraciones que producen un mismo valor del  $FCA(x)$  son sumamente numerosas y, aunque la esencia de lo que capta dicho indicador en el contexto global de la epidemia no se pierde por ello, vale la pena involucrar un indicador complementario: la tendencia que se observa en el contexto local de los 14 días.

La pendiente de la recta ajustada a los puntos  $(D_t, A_t)$  ofrece una medida adecuada. Como se observa en todos los gráficos expuestos, se ha incluido la recta de regresión lineal asociada a esa nube de 14 puntos; la pendiente de esa recta, que denotaremos por  $b(x)$ , expresa claramente la tendencia que se está produciendo en los días precedentes al que se analiza. Por ejemplo, las pendientes en los últimos tres escenarios ascienden respectivamente a 0,0763; 0,0000; -0,0763. Obviamente, cuanto menor sea, más indicativa será de que la situación tiene una tendencia favorable.

Sin embargo, cabe preguntarse: ¿tendrá este indicador complementario una cota inferior y una cota superior, como ocurre con el  $FCA(x)$ ? Afortunadamente, la respuesta es positiva. Puede demostrarse que en el entorno en que estamos (las abscisas son 14 números enteros sucesivos y las ordenadas son números que están entre 0 y 1), entonces necesariamente se cumple que  $-21/195 \leq b(x) \leq 21/195$  (NOTA: aproximando a 4 decimales; se tiene que  $\frac{21}{195} = 0,1077$ ). La cota superior se alcanza si  $P_i = 0$  para los primeros 7 pares y  $P_i = 1$  para los 7 últimos; la inferior, cuando ocurre lo contrario. El enunciado formal y la demostración de esta propiedad se han incluido en el **ANEXO** del presente texto.

Puesto que se cuenta con esas cotas, también se puede llevar la tendencia al recorrido (0%, 100%) mediante el recurso obvio de dividir la pendiente  $b(x)$  por la cota mencionada:  $T(x) = (195 * b(x)/21)*100$ .

En síntesis, la pareja  $FCA(x)$  y  $T(x)$ , cuantifican la magnitud de la alarma que cabe tener y de la tendencia que exhibe la alarma en cuestión. Sin embargo, es propicio construir un índice único basado en estos dos. Este sería el **Índice de Alarma Epidémica**.

Se propone definirlo como una media ponderada de los dos indicadores

$$IAE^*(x) = (0,75)FCA(x) + (0,25)T(x)$$

Tal y como ocurría con el valor de  $FCA(x)$ , el  $IAE^*(x)$  estará acotado inferior y superiormente; se moverá necesariamente entre 0% y 75%:  $IAE^*(x)$  sería igual a 0 si no hubiera caso activo alguno a lo largo de los 14 días, e igual a 75% si para cada uno de esos días la cifra de casos activos fuera igual al máximo de tales casos (alcanzados hasta cada uno de esos días).

En nuestro ejemplo, se tiene que el área normalizada es  $FCA(183) = 70,7\%$  mientras que pendiente normalizada  $T(183) = 7,7\%$ . La media ponderada de estos dos números, que es el valor de  $IAE^*(183) = 61,2\%$ .

Los coeficientes de ponderación, evidentemente, se eligen de manera subjetiva. Sin embargo, no se han seleccionado caprichosamente: se concede un peso muy considerable al componente  $FCA(x)$ . Si la pendiente fuera nula, el  $IAE(x)$  será igual al 75% del  $FCA(x)$ , pero el grado de alarma decrecerá cuanto mayor sea el valor modular de una pendiente negativa y crecerá en la medida que dicho valor modular aumente en caso de ser positiva.

En cualquiera caso, dichos coeficientes pueden establecerse a través de alguna técnica de captación del consenso (grupo nominal, por ejemplo). Lo mismo ocurre con la decisión de fijar en 14 el número de días elegidos para la construcción del indicador y también con los umbrales que se sugieren a continuación.

Finalmente, también el  $IAE^*(x)$  puede “normalizarse”, dividiéndolo por el máximo valor posible; esto significa definirlo del modo siguiente:  $IAE(x) = \frac{IAE^*(x)}{0,75}$ , de modo que se tendrá  $0\% \leq IAE(x) \leq 100\%$ , lo cual facilita su interpretación aunque no cambia nada esencial. Los niveles de



alarma para un día dado ( $x$ ) podrían bautizarse de acuerdo a la magnitud de  $IAE(x)$ . Una regla orientativa pudiera ser la siguiente:

- $IAE(x) < 20\%$  .... Situación no alarmante
- $20\% \leq IAE(x) < 40\%$  .... Situación de alarma reducida
- $40\% \leq IAE(x) < 60\%$  .... Situación de alarma significativa
- $60\% \leq IAE(x) < 80\%$  .... Situación de alarma aumentada
- $IAE(x) \geq 80\%$  .... Situación de alarma apremiante

## 6. Algunas consideraciones complementarias

- a) Todo el texto precedente alude a “casos activos”; pero igualmente puede aplicarse si se ha elegido otro indicador diario, tal como número de defunciones o número de sujetos confirmados cada día. Análogamente, puede emplearse usando el número acumulado de sujetos con determinada condición acumulados a lo largo de un lapso dado (incidencia en ese lapso), previo al día en que se realiza el análisis. Podría ceñirse el análisis, por ejemplo, a sujetos mayores de 65 años.
- b) El índice se ha ilustrado con datos reales de Cuba; pero puede aplicarse en cualquier espacio geográfico que se elija (siempre que se provean los datos correspondientes); puede ser una provincia, un país cualquiera, una ciudad, una región, etc.

## 7. Día inicial de referencia

En todo el desarrollo precedente (y también en los ejemplos) se ha partido de que la referencia contextual temporalmente más próxima se extiende a los 14 días previos, en tanto que la referencia temporal histórica, que también se ha involucrado en el IAE, abarca a toda la epidemia, desde el primer día epidémico hasta el día que se quiera analizar.

Sin embargo, la legitimidad de hacerlo puede ser cuestionable por al menos dos razones.

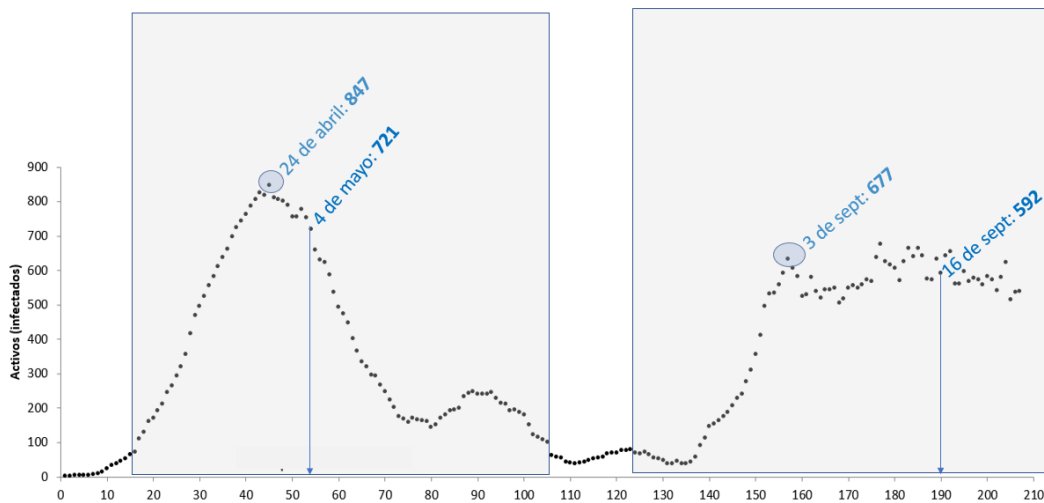
Por una parte, el máximo valor que toma el indicador puede haberse producido en un momento remoto, cuando se seguían estrategias de enfrentamiento que luego cambiaron, y por ende inapropiado como elemento de referencia para valorar la dinámica hasta la situación “actual”.

Por otra parte, cuando los protocolos empleados en una etapa inicial han variado y ya no son los que se vienen aplicando en una etapa más reciente, resulta razonable constreñirse al período posterior a tales variaciones. Por ejemplo, los criterios diagnósticos pueden haber cambiado con el tiempo, y en tal caso sería más razonable operar solo con el período a partir del cual han venido rigiendo. Esto puede ocurrir análogamente con los fallecidos, en caso de que los protocolos de tratamiento o de notificación, o ambos, se hayan modificado de una manera significativa. En tales casos, lo más sensato es operar solo con los datos correspondientes a fechas posteriores a aquella en que se hayan producido dichos cambios.

Concretamente, al fijar cierto día de referencia, pongamos por caso, el día 150 de la epidemia, el análisis se realizará solo con los datos correspondientes a los días del 150 en adelante, como si este hubiera sido el primer día epidémico.

El **Gráfico N°9**. permite apreciar mejor lo que se quiere expresar.

**Gráfico N°9. Ilustración acerca de cómo el peso relativo de los números de casos activos debe ser remitido a un contexto temporal diferente en dependencia del momento analizado**



En el **Gráfico N°9** se ha colocado el número de casos activos correspondiente al 4 de mayo (721) cuyo peso relativo se calcularía respecto del pico hasta ese día desde el comienzo de la epidemia (que se produjo el 24 de abril, cuando se registraron 847 casos activos). Por otra parte, el 16 de septiembre, día 190 de la epidemia, se produjeron 592 casos (el 70% de 847); sin embargo, si suponemos que un poco antes del día 125 se produjo un nuevo brote (o un cambio en las definiciones diagnósticas o un cambio en las políticas preventivas), el peso de ese 592 debería computarse respecto del pico que se produjo luego del día 125 (pico que ocurrió el 3 de septiembre, fecha en que se tenían 677 casos activos), lo cual arroja un porcentaje mucho mayor (592 es el 87% de 677). Esta sería ahora la altura del rectángulo asociado al día 190. En esta situación, el día inicial de referencia no debería ser el primer día de la epidemia sino un día próximo al 125.

El valor de  $IAE(190)$  es más alto en este último caso que en el primero (lo cual es lógico, pues en el nuevo contexto la cifra es más inquietante que cuando se la compara con un número procedente de un momento muy anterior, cuando se conocía menos sobre el comportamiento del virus y los métodos de enfrentamiento y prevención eran menos efectivos).

Concretamente, en este ejemplo puede calcularse, que  $IAE(190) = 72,5\%$  si el día de referencia fuese el 45, y que  $IAE(190) = 90,8\%$  si se toma como referencia el día 125.

Respecto de toda la epidemia estaríamos en una situación de “Alarma significativa”, pero atendidos al contexto menos alejado, determinado por el día de referencia 125, la situación sería de “Alarma apremiante”.

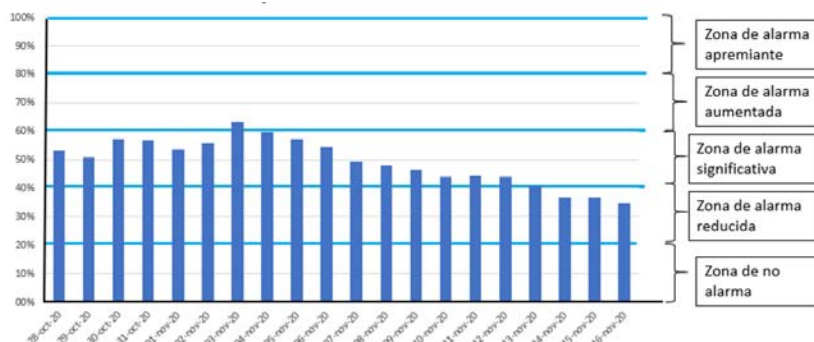
#### 8. Aplicación retrospectiva del índice durante 20 días

Tomando como día de referencia el 135 (superado “el pico” inicial) se calculó el índice para 20 días a partir del 28 de octubre y hasta el 16 de noviembre usando como indicador para el análisis los “casos confirmados”, se obtuvieron los datos que figuran en la **Tabla N°3** y el **Gráfico N°10**:

**Tabla N°3.** Valores del *IAE* para casos nuevos durante 20 días, operando con el día 135<sup>o</sup>

Indicador elegido		Confirmados	Valoración de la alarma
día	fecha	IAE	
232	28-oct-20	53,2%	Significativa
233	29-oct-20	50,8%	Significativa
234	30-oct-20	57,3%	Significativa
235	31-oct-20	56,7%	Significativa
236	01-nov-20	53,5%	Significativa
237	02-nov-20	55,8%	Significativa
238	03-nov-20	63,2%	Aumentada
239	04-nov-20	59,7%	Significativa
240	05-nov-20	57,2%	Significativa
241	06-nov-20	54,2%	Significativa
242	07-nov-20	49,4%	Significativa
243	08-nov-20	47,9%	Significativa
244	09-nov-20	46,6%	Significativa
245	10-nov-20	43,9%	Significativa
246	11-nov-20	44,3%	Significativa
247	12-nov-20	43,8%	Significativa
248	13-nov-20	40,8%	Significativa
249	14-nov-20	36,8%	Reducida
250	15-nov-20	36,8%	Reducida
251	16-nov-20	34,5%	Reducida

**Gráfico N°10.** Evolución del *IAE* para casos nuevos durante los 20 días previos al 16 de noviembre de 2020 operando con el día 135º de referencia



Como se aprecia, el *IAE* ha declinado apreciablemente durante una buena parte del período considerado, pero con una “recuperación” notable de la alarma en el tramo final. A partir del 4 de noviembre se ingresó en una zona de alarma significativa en lugar de la alarma apremiante del día anterior, y desde ese día la situación ha mejorado sostenidamente, hasta alcanzar niveles de alarma reducida.

## 9. Programa en Excel

Se ha confeccionado un programa informático de empleo sumamente sencillo por parte de cualquier usuario. Las indicaciones básicas para su empleo son las siguientes:

El programa calcula el Índice de Alarma Epidemiológica (*IAE*) prevaleciente en cualquier día epidémico que se elija (mayor que 14). El *IAE* es un número que se ubica entre 0% y 100%.

Sólo se podrán modificar los 3 datos de entrada:

- ✓ el día inicial de referencia
- ✓ el día epidémico elegido para el análisis, que debe superar al menos en 14 unidades al día inicial de referencia
- ✓ el código correspondiente al indicador que se quiera analizar

Al fijar un día de referencia DR mayor que 1, el programa trabajara solo con la parte de los datos correspondientes a las filas de DR en adelante. Nótese que estos 4 indicadores son los elegidos como default, pero el usuario puede cambiarlos haciendo los ajustes correspondientes en la hoja DATOS.

En la hoja DATOS, deben aparecer los DÍAS, y a continuación los 4 indicadores elegidos para el análisis (en nuestro ejemplo: **casos activos** (1), **casos confirmados** (2), **fallecidos** (3) o y **tasa de incidencia de casos en los últimos 14 días por millón de habitantes** (4)) en las columnas de la A a la E respectivamente. En la columna F se colocará la fecha

correspondiente a cada día epidémico. En la columna F se deben poner la fecha correspondiente a cada día.

Para entender mejor el programa, adviértase que, al fijar un día de referencia DR, el programa trabajará solo con la parte de los datos correspondientes a las filas de DR en adelante; es decir, haría lo mismo si elimináramos las primeras DR-1 filas de la hoja DATOS y pusiéramos DR=1.

Una vez introducido el día epidémico, así como el día inicial de referencia (luego de teclearlos, han de confirmarse con  $\checkmark$ ), aparecerá la fecha correspondiente a ese día y automáticamente el valor de IAE, así como el juicio que merezca la situación en ese momento, ajustado a la siguiente regla:

**$IAE < 20\%$                     .... Situación no alarmante**  
 **$21\% \leq IAE < 40\%$     .... Situación de alarma reducida**  
 **$41\% \leq IAE < 60\%$     .... Situación de alarma significativa**  
 **$61\% \leq IAE < 80\%$     .... Situación de alarma aumentada**  
 **$IAE \geq 80\%$                 .... Situación de alarma apremiante**

El programa tiene una última hoja o pestaña titulada *IAE EN LOS ÚLTIMOS 20 DÍAS* que permite calcular el valor de *IAE* para el día de análisis que se fije y también para los 19 días previos. De no existir, habría que ir haciendo el cálculo día por día en caso de que se quiera observar una evolución como la que se ha reproducido en la **Tabla N°3**. La información de entrada es la misma que se señaló previamente. Se usa el mismo día de análisis en los 20 casos. **Es importante reparar en que, para usar esta pestaña, los macros deben estar habilitados.**

## ANEXO

**TEOREMA:** Sea  $y = a + bx$  la ecuación de regresión lineal entre las variables  $x$  e  $y$ . Para  $n$  ( $n \neq 1$ ) pares ordenados  $(x_i, y_i)$  se sabe que:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

Si los  $x_i$  son números enteros sucesivos y se cumple que  $0 \leq y_i \leq 1$ , entonces se tendrá que  $-\Omega \leq b \leq \Omega$  donde  $\Omega = \frac{3n}{2(n^2-1)}$  si  $n$  es par y  $\Omega = \frac{3}{2n}$  si  $n$  es impar.

### Demostración

Llamemos  $N$  al numerador de  $b$ ,  $D$  al denominador y  $k$  a la parte entera de  $\frac{n}{2}$ . Una vez fijado  $x_1$ , queda establecido el resto de los  $x_i$  ya que  $x_i = x_{i-1} + 1$  para  $i = 2, \dots, n$ . El valor de  $b$  es el mismo cualquiera sea  $x_1$ , debido a que diferentes valores de  $x_1$  producirían diferentes rectas, pero todas paralelas entre sí. De modo que si establecemos que  $x_1 = -k$ , ya queda determinado el valor de  $D$ , que no depende de los  $y_i$ .

Demostraremos que ese máximo se alcanza cuando se cumple la siguiente condición:

$$y_i = 0 \text{ para } i: 1, \dots, k \text{ y } y_i = 1 \text{ para } i: k+1, \dots, n$$

Llamemos  $V_M$  al vector  $(0, 0, \dots, 0, 1, 1 \dots 1)$  donde el primer 1 se ubica en el lugar  $k+1$ . En tal caso  $\sum_{i=1}^n y_i = k^*$ , donde  $k^*$  es  $k$  o  $k+1$ , dependiendo de que  $n$  sea par o impar respectivamente; de modo que si llamamos  $S_x = \sum_{i=1}^n x_i$ , tendremos  $N = n \sum_{i=1}^n x_i y_i - S_x k^*$ . Puesto que  $S_x k^*$  no depende de los  $y_i$ , solo resta probar que  $\sum_{i=1}^n x_i y_i$  como función de los  $y_i$  alcanza el máximo cuando se evalúa en  $V_M$ .

Repárese en que  $\sum_{i=1}^n x_i y_i = S_1 + S_2$  donde  $S_1 = \sum_{i=1}^k x_i y_i$  y  $S_2 = \sum_{i=k+1}^n x_i y_i$ . Como todos los  $x_i$  que figuran en  $S_1$  son negativos, si alguno de

los respectivos  $y_i$  fuera superior a 0,  $S_1$  disminuiría respecto del caso en que dichos  $y_i$  son nulos. Análogamente, puesto que ninguno de los  $x_i$  que figuran en  $S_2$  son negativos, si alguno de los  $y_i$  presentes en  $S_2$  fuera menor que 1, dicho segundo sumando nunca podría incrementarse, con lo cual queda demostrado que  $V_M$  maximiza a  $\sum_{i=1}^n x_i y_i$ , y por tanto también a  $D$  y a  $b$ .

Ahora podemos calcular el valor de  $\Omega$ . Tras unas pocas maniobras algebraicas se arriba a que  $D = \frac{n^2(n^2-1)}{12}$  cualquiera sea la paridad de  $n$ . El numerador  $N$ , en cambio, depende de que  $n$  sea par o impar; es fácil corroborar que, en el primer caso, se tiene  $N = \frac{n^3}{8}$ , mientras que si  $n$  es impar, entonces  $N = \frac{n(n^2-1)}{8}$ .

Haciendo las divisiones  $\frac{N}{D}$  respectivas, tendríamos finalmente que  $\Omega = \frac{3n}{2(n^2-1)}$  cuando  $n$  es par y  $\Omega = \frac{3}{2n}$  si  $n$  es impar.

Por último, siguiendo el mismo proceso se demuestra que el mínimo de  $b$  sería igual a  $-\Omega$  si suplimos los ceros por unos y viceversa en el vector  $V_M$ .

+++++

Nota: resulta interesante que el vector que maximiza a  $b$  como función de los  $y_i$  es único si  $n$  es par y coincide con  $V_M$ . Sin embargo, cuando  $n$  es impar, el máximo se alcanza para cualquier vector de la forma  $(0, 0, \dots, 0, y_{k+1}, 1, 1 \dots 1)$  cualquiera sea el valor de  $y_{k+1}$ . Obviamente,  $V_M$  es uno de ellos.