Los rumores y las epidemias

GGA, Prof. jubilado, UNAM.
UNAM, México

January 28, 2021

Abstract

Dedicado a Profesores a partir del nivel Secundaria. Se intenta describir la Teoría del Rumor. Se describe la parte más elemental de la Inmunidad de Rebaño con la matemática accesible también a partir un estudiante de nivel Secundaria.

1 Resumen de todo el articulito:

De la 1ra. parte del presente articulito de divulgación se pretende mostrar que hay una gran diferencia entre el caso de un rumor que teóricamente se disemina de una persona exclusivamente a otra única persona, pues en 30 días se enterarán 31entotal. Mientras que si rumor teóricamente se disemina de una persona exclusivamente a 2, entonces en 30 días el rumor abarcará a un poco más de la cuarta parte de los habitantes de nuestro planeta.

Esta misma regularidad se conserva para una *epidemia* como la de la enfermedad de la *Covid19*, donde un sólo infectado podrá contagiar a un sólo individuo para el parámetro fundamental $R_0 = 1$ ("Erre cero"), donde en 30 días habrá 31 infectados (con período de infección 1 día); mientras que para $R_0 = 2$ habrá un brote epidémico.

El problema que se plantéa consiste en que si se tiene una epidemia con un $R_0 = 2$ a qué porcentaje de la población se debe vacunar para el R_0 se reduzca a 1. Para lograrlo se deduce la relación básica: $\left(1 - \frac{1}{R_0}\right) = \frac{V}{N}$, donde V es el N^o de personas que hay que vacunar de la población de tamaño N, con un R_0 el "N^o reproductivo básico" (a cuántas personas sanas puede infectar un individuo infectado durante su período de infección).

Part I

Parte I: RUMORES.

2 Cómo los rumores entorpecen la labor de la matemática y la vacuna vs. la Covid19.

Las matemáticas más simples a partir de la secundaria pueden mostrar, burdamente hablando, cómo la vacunación casi generalizada puede interrumpir la propagación exponencial de enfermedades e incluso lograr la inmunidad de rebaño, interrumpiéndo epidemias; excepto por los rumores circulantes al respecto.

2.1 La Teoría de los Rumores.

"La cantidad de rumores inútiles que una persona puede soportar es inversamente proporcional a su inteligencia" -Arthur Schopenhauer-

Fig.1. El rumor: de lo más común en el diário acontecer en las sociedades occidentales.

El chisme caliente es la base de la teoría del rumor sistematizada y propuesta por *Allport* y *Postman* [1], dos investigadores que descubrieron, que la mayoría de las conversaciones del día a día están plagadas de rumores sobre, por ejemplo, las *vacunas* (supuestas verdades, no probadas, que circulan sin control o muy bien controladas)

En la definición de rumor entra cualquier afirmación o proposición que tenga un contenido específico no verificado. Esto quiere decir, que no hay evidencias que respalden su veracidad. Aun así, circulan de *boca en boca*, o en los *medios de comunicación tradicionales* y en *redes sociales*, de pantalla en pantalla.

La teoría del rumor dice que no toda información sin sustento se convierte en rumor como tal. Para que eso suceda, deben cumplirse algunas características. Solo algunos contenidos tienen ese potencial para propagarse y convertirse en "*verdad*" aunque no lo sean.

2.1.1 El rumor siempre aparece sobre algo relevante, su ambigüedad, funcionamiento y el destino de los rumores.

Tratando de esclarecer las motivaciones particulares de las personas que se dedican a difundir rumores contra vacunas (por ejemplo, "*son muy pocas vacunas y somos muchos mexicanos"*) y el plan de vacunación ("*al Presidente de la Republica y al encargado del plan de vacunación ya los vacunaron y ocultan la información*") la in- genuidad generalizada al caer víctima de sus propósitos participa en una elaborada cadena de descrédito o con intenciones políticas inconfesables.

Debemos tener en cuenta que gran parte de la información que intercambiamos cotidianamente con nuestros semejantes son chismes ociosos que no siempre son inocentes, como manera de llenar un diálogo que creemos necesario para comunicarnos con las personas. Quiere decir que existe interés en la gente tanto de *enterarse* de lo que acontece como de *contarlo* después, con aditamentos subjetivos extraídos de su propia imaginación.

Es difícil saber a ciencia cierta el propósito verdadero que cumple la difusión de un tipo de *rumor*, que pretende ser *secreto y novedoso* ("*los funcionarios trafican con la vacuna, ya fueron vacunados y a nosotros se nos oculta la información*"); pero lo que puede afirmarse es que *despierta el interés* de la mayoría y siembra la *duda* sin fundamento alguno.

La última *noticia amarillista* siempre lleva la ilusión de despejar la incertidumbre y el vano propósito de calmar la ansiedad que provoca el *miedo a lo desconocido.* (Todo tipo de autoridades de la CdMx negaron rotundamente que se haya comenzado a aplicar el "*código azul*" el gran rumor, el cual implica que a pacientes en estado muy grave de Covid19 ya no se les ofrece ningún tratamiento)

El *rumor* es concebible como un planteamiento social, principalmente en situaciones difíciles como en una pandemia con coronavirus nuevo, cuando la avidez noticiosa estimula la imaginación y puede llegar a afectar incluso la moral de la gente creando *alarmas innecesarias* ("*otra cosa sería que permitieran a los hospitales privados tener acceso a la vacuna*") o vagas esperanzas ("*si al menos permitieran que los médicos particulares tuvieran acceso a la vacuna*"). El *rumor* es una amenaza para la *paz social* y siembra *odio* y animadversión en la gente.

El rumor sigue el mismo curso de la *comunicación humana*, se distorsiona con las sucesivas interpretaciones subjetivas y los intereses de cada persona, para terminar incluso siendo algo totalmente diferente a la versión original. Las personas tienen la tendencia a modificar lo que oyen cuando de nuevo lo difunde, aunque tal información no resista el menor análisis crítico.

Los rumores que se esparcen con mayor rapidez son los que se transmiten por los *medios de comunicación masiva* (televisa y tvazteca), siempre que se vincule a personas con notoriedad en cualquier ámbito de la sociedad (un profesor contrapuesto al *Conacyt*, o el de un rector de una universidad de Miami criticando la política de salud pública del gobierno federal mexicano) y que pueda significar la posibilidad de un escándalo contra el gobieno federal.

Lo más *peculiar* de un *rumor* es la facilidad con que circula sin ninguna prueba que lo sustente. Aunque la fuente de un rumor sea fidedigna, al dispersarse a través de muchos individuos pierde su categoría de autenticidad para transformarse en algo ambiguo y diferente.

Para que un rumor se disemine como reguera de pólvora es necesario que cuente con *dos ingredientes básicos*: i)tiene que tratarse de algo que tenga *importancia* para la mayoría (por ejemplo las *vacunas*) y tiene que ser ambiguo (*"cuándo se vacunará a las personas con enfermedades crónicas"*), por la ausencia de detalles precisos o por los datos que a veces resultan incoherentes.

Un *rumor* puede partir de una *verdad minúscula*, que luego se modifica hasta hacerla irreconocible ('*el director de un hospital se vacuno junto con su familia*' pasó a ser '*todos los funcionarios trafican y usan las vacunas a su antojo*').

Los momentos más favorables para la circulación de rumores en una sociedad son los momentos críticos, principalmente en tiempos de elecciones (obsérvese la propaganda política ligada a Covid19 del *PriAnRd* ("*desavasto de insumos medicos*", "*falta de medicamentos*", "*plan inexistente de vacunación*" "*exceso de muertes y eso que nos ocultan las verdaderas cifras reales*")).

El *rumor* sólo avanza a través de personas con *mentalidades semejantes* ya que en un ambiente demasiado heterogéneo con pocos puntos en común e intereses muy diversos, tenderán a desaparecer.

El rumor cumple una función de descarga emocional en forma inmediata al proporcionar alivio mediante una salida falsa.

Resumiendo [1], la *cantidad de rumor* (R) circulante es *proporcional* ($\propto$) a la *importancia* (i) del mismo por la *ambiguedad* (a) que le caracteriza, en símbolos:

$$R \propto i \cdot a \tag{1}$$

más específicamente, la *intensidad de un rumor* R, sugún *Alport* y *Postman* [1] y [2], está dada por el *interés del contenido* i multiplicado por la *ausencia de información* a. En simbolos, lo mismo que la fórmula anterior, pero con constante de proporcionalidad igual a 1:

$$R = i \cdot a \tag{2}$$

La teoría del rumor señala que para que una información se convierta en rumor, debe tratar sobre algo que la gente considere importante (las vacunas). Y lo que es relevante o no, depende de los valores que estén presentes en una comunidad determinada (inducir y fortalecer la desconfianza en las autoridades federales).

En última instancia, la *teoría del rumor* habla acerca de informaciones que invitan a participar. La ambigüedad permite que prácticamente cualquier persona pueda construir su propia versión de los hechos. Eso es precisamente el rumor: una construcción imaginaria que adquiere visos de verdad, sin ningún sustento.

La teoría del rumor plantea también que los rumores se forman para explicar aquello que nos genera *intriga* o para ratificar prejuicios fundados en el miedo ("*ante la nueva cepa del coronavirus el gobierno no hace nada por impedir los vuelos de la Gran Bretaña*"). En el primer caso, se parte del hecho de que no hay suficiente información sobre un asunto determinado ("*no hay suficiente información sobre el plan de vacunación*"). O de que las fuentes de información que hay no son confiables ("*es López-Gatell el que informa, luego la información no es confiable*"). Se conocen algunos datos, pero se intuye que hay algo detrás de estos. Los rumores, entonces, cumplen con la función de llenar ese supuesto vacío de información.

Así mismo, los rumores, especialmente los que tienen un tinte calumnioso, contribuyen a sustentar *prejuicios*, principalmente de *odio*. Lo usual es que ese odio también sea una manera de disfrazar *temores* (aunque estemos en semáforo rojo mañana abriremosparcialmente nuestros restaurantes, porque ya no aguantamos más o abrimos o nos morimos). A falta de evidencias que permitan justificar el rechazo, se acude al rumor para que cumpla esas veces.

Los *rumores no son estáticos*. La información, generalmente falsa, que contienen, muta y se va modificando. Tiende a deformarse, siempre con el propósito de hacerlos más *creíbles* o *espectaculares*.

El rumor no necesariamente trata sobre personas conocidas o famosas, aunque también las puede incluir. Por ejemplo, a veces se vuelve relevante el caso de una compañera de trabajo que aparentemente está siendo maltratada por su pareja o de un compañero de trabajo al que alguien le vio con otro chico a altas horas de la madrugada. Y su caso puede volverse viral por un tercer *chico* con *prejuicios*, sin más prueba que sus *sospechas* infundadas y su argumento *prejuicioso*.

El *ser humano* tiene una especial debilidad por las *explicaciones fantásticas*. Sin darse cuenta de ello, se suele preferir las *situaciones espectaculares*, que encienden la *imaginación*, en lugar de las verdades racionales que ponen límite a las fantasías.

La *mayoría de los rumores* tienden a *desaparecer*, a medida que las conjeturas comienzan a volverse repetitivas o el asunto pierde importancia. Las fantasías asociadas a ese rumor se tornan rutinarias y la información pierde su carácter de extraordinaria. También mueren cuando aparecen las explicaciones contundentes y reales que acaban con la información falsa.

Sin embargo, no siempre ocurre esto. Hay rumores que se mantienen a lo largo del tiempo. Esto ocurre cuando la base de todo contiene información real que por alguna razón nunca llega a darse a conocer suficientemente. Es lo que ha ocurrido, por ejemplo, con la muerte de *Hitler* y las ambigüedades que hay a su alrededor. Estos rumores dan origen a teorías, e incluso a corrientes ideológicas. Así somos los seres humanos: curiosos, imaginativos y dados a creer de más.

2.1.2 Modelo lineal.

Aunque, más que por las fórmulas (1 y 2) los rumores se caracterizan por su *linealidad* o *no,* por sus *tasas de crecimiento* 1 o mayor que 1. Para fijar ideas, supóngase que escuchas un apetitoso rumor que te es imposible guardarte para ti mismo. Odias a los traficantes de rumores y por ello te comprometes a ti mismo a contárselo a 1 sola persona comprometiéndola a que actúe igual que él manteniedo la boca cerrada. A fin de cuentas no es demasiado pedir ¿de acuerdo?, después de todo, si la persona a la que se lo cuentas adopta tu misma actitud y solo se lo cuenta a otra persona, el sabrosísimo chisme no se extenderán demasiado. Si una nueva persona escucha el rumor cada día, después de *30* días se habrá extendido a solo 31, incluyéndote $\uparrow\nearrow_{\longrightarrow}$.

2.1.3 Modelo no lineal.

Entonces, ¿qué tan malo podría ser contárselo, no a una, sino a dos personas? después de todo, por ejemplo, las cadenas tradicionales de cartas de contenido religioso recuerdo señalaban "escribe 12 cartas idénticas a la presente y repartelas entre esa misma cantidad de personas de lo contrario toda la furia del Señor caerá sobre ti y toda tu familia". Así que sorprendentemente malo, no parecería resultar el solo contárselo a dos. Sin embargo si cada día, cada persona que escuchó el rumor ayer le dice a 2 personas nuevas, luego de *30* días el rumor habría llegado a más de una cuarta parte de la población mundial, que es aproximadamente de *8 mil* millones (llegaría a 2,147,483,647 personas, o con mayor exactitud a $2^{31}-1$)¿Cómo un cambio aparentemente tan '*pequeño*', decirle a 2 personas en lugar de a 1, hacer una tan gran diferencia? La respuesta está en la *no linealidad* del proceso, está en *las tasas de cambio* de crecimiento de dicha población.

2.1.4 Modelos lineales y exponenciales (tasas de cambio).

En el primer escenario, el rumor se transmite todos los días a la misma cantidad de personas que lo escucharon ayer. Esto será cierto hoy, mañana, y todos los días en lo sucesivo, que significa que la cantidad de personas *nuevas* que se enteran *del rumor cada día* es *constante*. En nuestro ejemplo, tal número es 1 persona (*fenómeno lineal, modelo lineal*).

En cambio, si el rumor se transmite todos los días *al doble* de personas que ayer, el número de nuevos comunicadores del rumor aumentará *exponencialmente*: $2\left(=2^1\right)$ *personas nuevas escuchan el rumor* el primer día, luego $4\left(=2^2\right)$ *personas nuevas* el segundo día, $8\left(=2^3\right)$ *personas nuevas* el tercer día y así sucesivamente. El día *30*, la escalofriante cantidad de 2^{31} *nuevas personas escucharán el rumor* (salvo detalles)

¿Por qué la enorme diferencia entre los escenarios con 1 o 2 *nuevas personas que se enterán el rumor*? Todo tiene que ver con *funciones lineales* versus *exponenciales (no lineales)*. Las funciones lineales se caracterizan por *tasas de cambio constante*, como una nueva persona que escucha el rumor por día. El *crecimiento lineal* es relativamente lento y constante, cada vez el *mismo aumento* constante. Mientras que las funciones *exponenciales (no lineales)*, se caracterizan por *tasas de cambio* que aumenta multiplicativamente: 2 nuevas personas escuchan el rumor, luego 4 nuevas personas, luego 8, después 16, y así sucesivamente. Aquí el factor multiplicativo es 2 respecto del valor del término anterior. A diferencia del crecimiento lineal (con tasa de crecimiento 1), en el *crecimiento exponencial se acelera*: la cantidad de aumento en sí continúa aumentando (con tasa de crecimiento 2).

Esa es la diferencia entre 31 personas que escuchan el rumor después de *30* días y más de 2 mil millones (aproximadamente) que lo escuchan. Y todo esto es consecuencia de si cada persona que escucha el rumor lo transmite a 1 persona o a 2

Fig.2. Gráficas del número de personas que conocen el rumor. Esta gráfica muestra la cantidad acumulativa de personas que conocen el rumor día a día, 1 cada día (31 en 30 días). La función lineal, en verde, aparece casi horizontal (de pendiente muy pequeña, pero montada en una recta), mientras que la función exponencial, en azul, se extiende verticalmente más allá de los 2 mil millones en 30 días.

Este modelo matemático elemental, pero no lineal captura la esencia de un tipo particular de reproducción que afecta mucho más que la *difusión simple de rumores* (*lineales*). Como todos los modelos elementales, ignora o simplifica muchos factores complicados, como la *probabilidad de transmisión del rumor* y el *tamaño de la población* en general, pero resulta ser un lugar muy adecuado para comenzar a explorar cómo se difunden las ideas, cómo crecen las poblaciones y, cómo resulta, que se propagan las enfermedades en particular las infecciosas (*Covid19*).

De lo último: Para empezar con el nuevo tema de la vacunación vs. la Covid19 liguémoslo un poco con el tema de los rumores: "Gobernadores de oposición piden al gobierno federal transparencia y reglas claras para acceso a la vacuna contra la *Covid19*", (esos gobernadores lo que quieren es éllos vacunar en sus estados) como quien dice día y hora para cada uno de los ciento y tanto millones de habitantes de México. Cosa imposible de lograr, pero el plan de vacunación del gobierno federal consistente en primero el personal médico para todo el país, luego los adultos mayores para edades consecutivas y todo el país. Ésos gobernadores exigen al gobierno federal agilizar la vacunación para los habitantes de sus estados,luego de que ellos mismos anunciaron que no pudieron comprar las vacunas. Los gobernadores exigen al presidente del país, informar las condiciones bajo las cuales las entidades que gobiernan accederán a la vacuna contra la *Covid19*, así como agilizar el proceso y no utilizarlo como estrategia política (cuando ese es su deseo).

En qué consiste el rumor de los gobernadores de oposición. En desacreditar al gobierno federal. En considerar que la ética y la ley exigen que nadie saque provecho de la cura de una enfermedad, pero son ellos mismos los que plantean la politización del plan de vacunación. Después que éllos mismos intentarón la politización del plan de vacunación comprando sus propias vacunas, lo cual les fue imposible concretar, y por ello ahora acusan al gobierno federal utilizarlo como estrategia política, dada la cercanía de las elecciones políticas (junio de 2021). Con esa actitud politizan el plan de vacunación pública. Y se sabe de experiencias múltiples que en México cuando se politiza en particular un proceso científico de vacunación el indudable perdedor puede llegar a ser el proceso científico. ¡Lastima!, pero así es la triste realidad.

Exigen se convoque al *Consejo de Salubridad General*, tienen la vana ilusión de poder llegar a ser mayoría para normar, coordinar y ejecutar las acciones pertinentes de la vacunación (ya se reunió el *Consejo* y *avaló* el plan del gobierno federal). Están acorralados y el rumor y las maniobras politiqueras es su único refugio. Por eso la senadora panista *@LillyTellez afirma* que los particulares deberían de vender las vacunas. Les es imposible entender por qué la ONU pactó que las naciones serían las primeras en tener acceso a las vacunas y a los medicamentos contra la pandémia, a través del programa Covac, pues la vida de millones, en particular en México, está por encima de la desmedida ambición de los pequeños grupos de especuladores y generadores de los rumores, apoyados por la coalisión opositora de los partidos políticos *Prianrd*.

Al escribir *Hipócrates,* hace 2,400 años, sobre la *ciencia médica*, logró identificar al "*conocimiento*" como perteneciente a aquellos que verdaderamente conocen, saben, y lo practican, mientras y la "*opinión*" aparece como el dominio propio de los ignorantes. Hoy en día, con tanto conocimiento científico nos atrevemos con estos articulitos de divulgación científica, sin resultados nuevos, pero compitiendo por la luz emanada del '*conocimiento*' científico, así sea parcial, separado de la avalancha de '*opiniones*' en medios y en línea, como chayotes de camposanto, muy espinosos que se multiplican como los hongos despues de la lluvia, es justo preguntarse por qué estos articulitos dedicados a iluminar aspectos de la acción científica, así estén en proceso permanente pretenden tener un foro para opiniones de los lectores!?!.

Las *mentiras* se esparcen más rápido que la *verdad*. Existe una preocupación mundial por las noticias falsas y la posibilidad de que puedan influir en el bienestar político, económico y social. Para comprender cómo se difunden las noticias falsas, *Vosoughi et al.* [3] utilizaron un conjunto de datos de cascadas de rumores en Twitter de 2006 a 2017. Aproximadamente 126.000 rumores fueron difundidos por 3 millones de personas. Las noticias falsas llegaron a más personas que los verdaderos; el 1% superior de las cascadas de noticias falsas se difundió entre 1000 y 100.000 personas, mientras que las verdaderas rara vez se difundió a más de 1000 personas.Las noticias *falsas* también se difundiéron más rápido que las *verdaderas*. El grado de novedad y las reacciones emocionales de los destinatarios pueden ser responsables de las diferencias observadas.

Part II

Parte II: La vacuna vs. la Covid19.

3 La seguridad en números y vacunas. Enfermedades infecciosas.

Algunos cuantos cálculos relativamente sencillos, junto con la vacunación contra la Covid19, que en México inició el *24* de diciembre del *2020, al ser importada de Bélgica, la vacuna de Pfiser,* la cual previene y puede ayudar, como se verá, en la propagación del coronavirus *SarsCoV2, que propicia* la enfermedad *Covid19.*

Diferentes enfermedades infecciosas se propagan a través de las poblaciones a diferentes tasas. El 'Número reproductivo básico' (R_0) de una enfermedad refleja a cuántas personas susceptibles se espera pueda infectar una sola persona infectada antes de ser vacunadas contra la *Covid19.*

3.1 Tasa lineal.

Si tienes una enfermedad con un $R_0 = 1$, entonces es probable que infectes solo a una nueva persona, quien a su vez podría infectar a una sola persona más, y así sucesivamente :

$$I_1 \to I_2 \to I_3 \to \cdots$$

Fig.3. Aquí se parte de un individuo infectado I_1 que infecta a un solo idividuo I_2 y este a su vez infecta a otro único individuo I_3 y así sucesivamente)

3.2 Tasa exponencial.

Si se tiene una enfermedad con un $R_0 = 2$, entonces es probable que infecte a 2 nuevas personas, y *cada uno de esos dos* continuará infectando a otros 2. Después de tres pasos, habrán sido infectadas *15* personas. Después de 30 pasos, ¡el número de infectados superaría a los los 2 mil millones!

$$r_1 \to \begin{cases} r_2 \\ r_3 \end{cases} \quad \begin{matrix} \nearrow \begin{cases} r_4 \\ r_5 \end{cases} \\ \searrow \begin{cases} r_6 \\ r_7 \end{cases} \end{matrix} \quad \begin{matrix} \nearrow \begin{cases} r_8 \\ r_9 \end{cases} \\ \longrightarrow \begin{cases} r_{10} \\ r_{11} \end{cases} \\ \to \begin{cases} r_{12} \\ r_{13} \end{cases} \\ \searrow \begin{cases} r_{14} \\ r_{15} \end{cases} \end{matrix}$$

Fig.4. Proceso de infección con R_0= 2, que para 3 pasos (3 períodos de infección), quedan infectadas 15 personas. Y para de 30 pasos, ¡el número de infectados superaría a los 2 mil millones de habitantes (un poco más de la cuarta parte de la población mundial actúal (estimada en 8 mil millones), como ya fue calculada en la parte I de rumores)!

3.3 Las matemáticas más simples asociadas a la inmunidad de rebaño.

¡Si señor, así como se oye!, les guste o no a las senadoras *Lilly* y *Bety-Xochitl*, son parte burdamente hablando de una *mamada*, perdón, perdón, peor aún de una *manada*, de un *rebaño*, de una *colectividad*, de una *comunidad*, de un *grupo* y con todos esos nombres se habla de la *inmunidad* de todos éllos como sinónimos.

Todo tipo de infección transmisible se propaga en una comunidad a una tasa que depende de un conjunto único de *factores médico-biológicos*, *ambientales y sociales*. Los epidemiólogos tratan de resumir el impacto de todos estos factores en un solo número, el parámetro "*número reproductivo básico*" R_0 ('erre cero') de la infección, introducido no por los principales interesados: *epidemiólogos*, *biólogos*, veterinaros o *médicos*, sino por la *matemática*. Este es el *número promedio de nuevas infecciones* que se espera produzca cada persona infectada, y se denota como ya se dijo por R_0. En el contexto de los ejemplos de los rumores descritos, los 'N^o reproductivos básicos fueron $R_0 = 1$ (c/d persona *difundió el rumor* exactamente a 1 sola persona) y $R_0 = 2$ (cada persona difundió el rumor con exactitud a otras *dos* personas); el "*período infeccioso*" fue de 1 día. He aquí las estimaciones de algunos 'N^o *reproductivos básicos'* de enfermedades bien conocidas, excepto evidentemente la *Covid19*:

Enfermedad:	Sarampión	Viruela	Paperas	Influenza (cepa pandémica 1918)		Covid19
R_0 :	$12-18$	$5-7$	$4-7$	$2-3$	Fuente:CDC y NIH	$2-5$

Tabla1.

Téngase en cuenta que los '*números reproductivos básicos*' R_0 para estos males son mayores que 1. Y esta es la caracteristica, que las hace tan temidas y peligrosas ($R_0\rangle 1$): dado que cada persona infectada, en promedio, infectará a más de 1 persona, la cantidad de personas infectadas con la enfermedad crecerá exponencialmente. Esto podría tener un impacto devastador en una población. Pero dado un '*número reproductivo básico*' que representa un crecimiento exponencial, ¿es posible hacerlo lineal? ¿Se podrá reducir el valor de R_0 (que de por si es estrictamente mayor que 1), por ejemplo para la *Covid19* al valor de ($R_0 =$) 1?

Aquí es donde aparece la importancia de la *vacunación*. Al vacunar a una persona se desarrolla la resistencia a la enfermedad: las tasas de éxito varían, pero para simplificar si se supusiéra que la vacuna proporciona *inmunidad permanente* al mal. La vacunación beneficia directamente al individuo vacunado, pero también en forma indirecta beneficia a la población en su conjunto. Si muchas personas en una comunidad se vacunan contra ese mal, la enfermedad no desaparece, pero no se propagará tan rápido.

En efecto, la vacunación generalizada puede ayudar a reducir el '*N^o reproductivo* básico' de la enfermedad. Y si se vacuna a suficientes individuos, el '*N^o reproductivo básico*' se puede reducir a 1, asegurando que la enfermedad solo se propague a una tasa lineal. Entonces, ¿a cuántas personas se debe vacunar para lograr que el '*N^o reproductivo* básico' de una enfermedad llegue a su valor 1?

Se puede pensar en lo que realmente nos dice el '*número reproductivo básico*' R_0. Para ello considérese en teoría la epidemia de una enfermedad con $R_0 = 2$. Esto significa que una persona infectada a su vez infectará, en promedio, a 2 personas nuevas. Este N^o único, $R_0 = 2$, nos brinda mucha información: la *facilidad* con la que se *transmite la enfermedad*, la *duración del período infeccioso* y la *cantidad promedio de personas con las que una persona infectada interactuará en un período de tiempo determinado.* Al descomprimir este número, se puede verificar con cierta fácilidad cómo la simple *vacunación* puede reducir el valor de R_0.

·Supóngase, en teoría, que una persona infectada con el coronavirus *SarsCov2* que propicia la enfermedad *Covid19*, tiene teóricamente el valor $R_0 = 2$ se reune con otras 10 personas mientras está infectada. Se puede representar esto en la forma de un *diagrama*, con la persona infectada en el centro y las flechas que conducen a cada una de las 10 personas con las que se encuentra (los sanos a contagiárse):

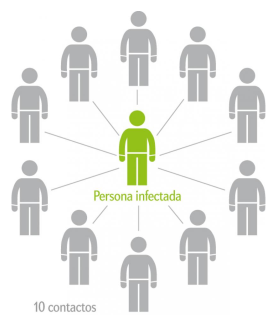


Fig.5. Diagrama de contactos de una persona infectada (al centro en verde). Tal persona interacciona con 10 individuos sanos (alrededor en gris) durante su período infeccioso. Cortesía de Lucy Reading-Ikkanda.

3.4 El poder de la vacunación. Seguridad en números.

Para fijar ideas. Considérese que el *enfermo inicial* durante su *período infeccioso* (digamos de 1 día) entra en contacto con, digamos, 10 personas, y cada par de no vacunados (4 pares) representa un 20% de probabilidades de contraer el patógeno:

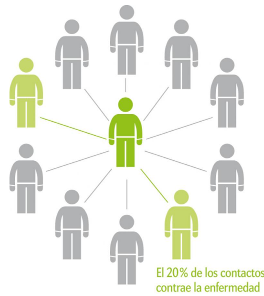


Fig.6. Los contagios esperados (2 en verde) en el caso de una enfermedad con un '*Nº reproductivo básico*' R_0= 2. Si se supone que cada persona infectada tiene una media de 10 contactos por período infeccioso, se puede estimar la probabilidad de cada par de indivíduos a ser contagiádos en un 20%. Cortesía Lucy Reading-Ikkanda.

Pero ahora supóngase que, de esas 10 personas, V están vacunadas. Cabe esperar que, por término medio, ya que $R_0 = 2$, que se contágien $\frac{2}{10}$ es decir el $\frac{20}{100}$, o sea el 20% de los $(10 - V)$ individuos no vacunados; es decir, $\frac{20}{100} \times (10 - V)$. Y para asegurar un crecimiento lineal y no exponencial, es necesario que tal *Nº promedio de esas nuevas infecciones* sea precisamente 1. Por ende, la solución de la ecuación

$$\frac{20}{100} \times (10 - V) = 1 \tag{3}$$

que al manipularla algebraicamente da como solución a $V = 5$ (es el '*Nº de personas a ser vacunadas*' que se necesitan si se obliga a tener un crecimiento lineal de la enfermedad. Véase la siguiente Fig.7)

Fig.7. En la práctica, la vacunación de los 5 calculados, elimina a éstos individuos inmunizados (en azul) del diagra- ma de contactos. Por ello, la probabilidad de contraer la enfermedad entre quienes no están vacunados (5, en gris) se mantiene constante (20%), por lo que ahora se contagiará solo a 1 persona (20% de 5 = 1) en lugar de 2. Cortesía de Lucy Reading-Ikkanda.

Las *enfermedades infecciosas* teóricamente *se propagan casi de la misma manera* que un *rumor*: alguien se contagia, por ejemplo de la infección por el virus *SarsCov2* y éste contagiado transmite la infección a otra(s) persona(s). Claro, existen también diferencias, por supuesto, pero los mismos modelos matemáticos elementales son "*útiles*" en ambas situaciones para describir inicialmente ambos fenómenos. En los ejemplos simples analizados que involucran *rumores*, se vió cómo una diferencia aparentemente 'pequeña' en la *tasa de transmisión del rumor* hizo una gran diferencia en la *cantidad* de *personas* que finalmente conociéron el *rumor*. Lo mismo ocurre con las epidemias de enfermedades infecciosas: la diferencia entre transmitir la infección a 1 persona y transmitirla a 2 puede ser la diferencia entre unos pocos casos aislados y toda una epidemia.

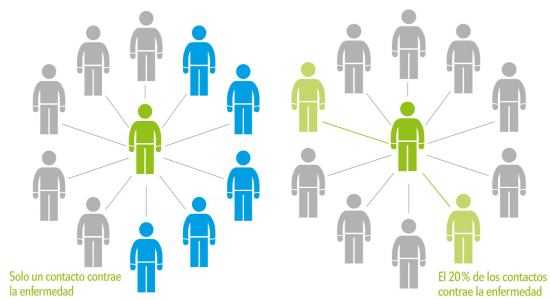


Fig.8. Diagrama de una persona infectada (en verde) rodeada de 10 personas no infectadas, pero $5(=V)$ ya están vacunadas y por ende sólo 5 (no vacunadas) pueden ser infectadas, como resultado sólo se infectará una sola persona. **Fig.8A**. En este otro diagrama son 2 (20%) las personas que pueden ser infectadas (ya que $R_0 = 2$). Cortesía de Lucy Reading-Ikkanda.

·En el 1er. diagrama, donde ya 5 fueron vacunados, de hecho, queda el infectado y los 5 no vacunados, pero ahora el infectado sólo puede infectar a 1 (20% de $5 = 1$)

·Ahora todos los contactos tienen la posibilidad de contraer la *Covid19*, pero el hecho de que $R_0 = 2$ significa que a partir de la persona enferma,en promedio 2 de estas 10 personas contraerán la enfermedad:

Fig.9. Diagrama que ilustra el 20% de los 5 pares de personas (10 personas) que se infectarán ($R_0 = 2$). Cortesía de Lucy Reading-Ikkanda.

En términos generales, se puede decir que cada par de personas tiene un 2/10, o $\frac{20}{100}$, o un 20%, de posibilidades de contraer la enfermedad, como la Fig.9 lo indica.

Pero ahora, supóngase que 2 de estas 10 personas han sido vacunadas contra la Covid19. Suponiendo, nuevamente por simplicidad, que la vacunación proporciona *inmunidad completa*, esto significa que la infección ya no se les puede transmitir. Sin embargo, cada una de las 8 personas restantes todavía tiene un 20% de posibilidad de infectarse. Esto significa que, en promedio, 20% de las 8 personas, es decir $\frac{20}{100} \times 8$ de las 10 personas, o sea $\boxed{1.6}$ personas, podrían ahora ser infectadas.

Entonces, si 2 de cada 10 personas se vacunan, entonces una persona infectada solo infectará, en promedio, a $\boxed{1.6}$ personas. La vacunación ha reducido en efecto el '*número reproductivo básico*' R_0 para esta enfermedad de $R_0 = 2$ pasó a $R_0 = 1.6$. Entonces, ¿cómo se reduciría el '*N*º *reproductivo básico*' R_0 hasta 1 para evitar un crecimiento exponencial y asegurar un crecimiento lineal?

Nuevamente, se supondrá que la persona infectada inicial entra en contacto con sus 10 amigos durante el *período infeccioso*, y que cada persona *no vacunada* tiene un 20% de posibilidades de infectarse. Si ahora, se supone que un número V de esas 10 personas serán vacunadas. Es de esperar que, en promedio, el 20% de los individuos *no vacunados* con $10V$, ó bien $\frac{20}{100} \times (10V) = 2V$, se infectarán. Para que el crecimiento sea lineal y no exponencial, se necesita que el '*número medio de nuevas infecciones'* sea 1. Por lo tanto, necesitamos resolver la ecuación: 20% de los no vacunados= 1, esto es $\frac{20}{100} \times (10 - V) = 1$. Con una pequeña manipulación algebraica se muestra que $V = 5$ satisface tal ecuación. Entonces, hay que ver qué sucede cuando 5 de las 10 personas en contacto con el infectado ya están vacunadas; en el diagrama aparecerán en azul:

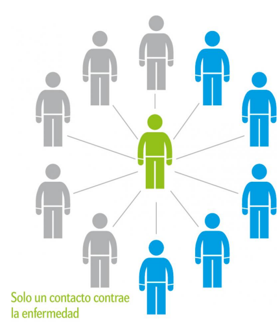


Fig.10. Diagrama, que muestra a 5 de las 10 personas vacunadas y por tanto de las 5 no vacunadas restantes se puede infectar sólo a 1. Cortesía de Lucy Reading-Ikkanda.

La vacunación esencialmente elimina a esos 5 individuos del diagrama (en azul), dado que a ésas personas la infección ya no se les puede transmitir; y por ello el resultado ilustrado en la Fig.10. Ahora, cada una de las 5 personas restantes todavía tiene un 20% de posibilidad de infectarse, por lo que, en promedio, (20% de 5 = 1) sólo una de éllas contraerá la enfermedad. Esto significa que de las 10 personas en contacto con el infectado original, solo 1 será infectada: por lo tanto, al vacunar a V (= 5) de cada 10 personas, hemos reducido efectivamente el R_0 de esta enfermedad de 2 a 1.

Fig.11. El diagrama gráfico que muestra el 20% de las 5 (no vacunadas en gris) = 1 persona infectada, que ilustra la reducción del R_0 de su valor original 2 a 1.

La vacunación esencialmente elimina a esos cinco individuos del diagrama, ya que a éllas la infección no se les puede transmitir. Ahora, cada una de las 5 personas restantes no vacunadas todavía tiene un 20% de posibilidades de infectarse, por lo que, en promedio, sólo una de éllas contraerá la enfermedad. Esto significa que de las 10 personas en contaco originalmente, solo una estará infectada: por lo tanto, al vacunar a V de cada 10 personas, hemos reducido efectivamente el R_0 de éste mal a1

3.5 Finalizando.

3.5.1 Una generalización.

Tratando de generalizar los casos particulares analizados arriba:

·Si ocurre una epidemia con "*Nº reproductivo básico*" R_0.

·Si *cada persona infectada contacta* a N personas nuevas.

·Si *cada infectado contacta* a N personas en su *período infeccioso.*

·Entonces R_0/N, es lo que se espera en promedio, séan *infectados.*

·Pero si V es el número de individuos vacunados entre los N en contacto.

·Entonces $\frac{R_0}{N(N-V)}$ representa el *número de nuevas infecciones.*

·Sería deseable, que el *número de nuevas infecciones* fuera igual a 1, y así asegurar un crecimiento lineal de la epidemia (control de la epidemia). Por ello se obligaría a que se cumpliera la ecuación:

$$\frac{R_0}{N(N-V)} = 1 \tag{4}$$

O más exactamente: $\frac{R_0}{N(N-V)} \leq 1$.Y esta ecuación tiene sentido resolverse respecto a $\frac{V}{N}$, ya que este cociente representa *el porcentaje total de personas a* *ser vacunadas V en la población N* [1], dado que V, de cada N personas, estarían vacunadas. Por ello, se llega a que:

$$\boxed{\frac{V}{N} = 1 - \frac{1}{R_0}} \tag{5}$$

Significa que si el porcentaje $\frac{V}{N}$ resulta ser: $1 - \frac{1}{R_0}$, entonces cada infectado a su vez infectará a 1 sólo individuo. Luego, $1 - \frac{1}{R_0}$ es el *porcentaje mágico* para que el *mal tenga un crecimiento lineal* (*no exponencial*).

·Si en una epidemia se vacuna a suficientes personas contra una enfermedad (como se espera con la *Covid19*), su R_0 (que ya no sería 2, que sirvió para ilustrar, sino algo entre 2.5 y 5) se podría reducir efectivamente a 1, solo hay que asegurarse que la enfermedad en efecto, se propague ya a una tasa lineal: *Pocos cálculos y sencillos*, junto con la *vacunación*, pueden ayudar a prevenir la difusión de enfermedades, en particular la de la *Covid19.* En efecto, en promedio $R_0 = 3.75$ y si se quiere que la enfermedad crezca linealmente, se deberá de cumplir: $\left(1 - \frac{1}{R_0}\right) = \frac{V}{N}$ o para el caso hay que vacunar al $\left(1 - \frac{1}{3.75}\right) = 0.733 = \frac{73.3}{100}$ ($= 73.3\%$) del total de la población de México, o sea a (73.3%) de (127 millones de habitantes) $\approx$ 93 millones de personas (más exactamente 93.091×10^6)

Véase el siguiente diagrama de los casos arriba desglosados:

[1] Por un lado, el suponer que *cada persona infectada contacta* a N personas nuevas en su *período infeccioso* (*lapso* en el que un infectado puede transmitir la infección), entonces se puede esperar, en promedio, que R_0/N de esas personas se *infectarán.* Pero si V es el número de individuos vacunados entre los N en contacto, entonces $\frac{R_0}{N(N-V)}$ representa el *número de nuevas infecciones.* Se desearía, que esta magnitud fuera **menor** o igual a 1, para que el número de nuevas infecciones se redujera al menos a un crecimiento lineal (control de la epidemia), por ello se plantéa la inecuación:

$$\frac{R_0}{N(N-V)} \leq 1$$

Y esta inecuación tiene sentido resolverse respecto a $\frac{V}{N}$, ya que este cociente representa *el porcentaje total de personas vacunadas en la población.* Por ello, al despejar $\frac{V}{N}$ se llega a la cota superior:

$$\boxed{\frac{V}{N} = 1 - \frac{1}{R_0}}$$

Esto significa que si el porcentaje de personas vacunadas V entre la población general N es $1 - 1/R_0$, entonces, en promedio, cada persona infectada solo infectará a 1 nueva persona, para eso se obligó a que se cumpliéra (4): $\frac{R_0}{N(N-V)} \leq 1$. Por lo tanto, $1 - 1/R_0$ es la cota superior, y vaya que si sí, es el *porcentaje mágico* que resulta en ser *un crecimiento lineal, pero ya no exponencial* (ya **no** no lineal) de la enfermedad. Nótese finalmente que seguirá habiendo *Covid19*, pero ojo señores del **Prianrd** con un crecimiento lineal controlado.

Por otro lado, en efecto, lo que arriba se afirma es que de $\frac{R_0}{N(N-V)} \leq 1 \Rightarrow R_0 \leq N(N-V)$ $\overset{\div N \neq 0}{\Rightarrow} \frac{R_0}{N} \leq \frac{N(N-V)}{N} \Rightarrow \frac{R_0}{(N)^2} \leq \left(1 - \frac{V}{N}\right) \Rightarrow \frac{V}{N} \leq 1 - \frac{R_0}{(N)^2} \Rightarrow \frac{V}{N} \leq 1 - \frac{1}{R_0}\left(\frac{R_0}{N}\right)^2 \Rightarrow$ $\frac{V}{N} \leq 1 - \frac{1}{R_0}\left(\frac{N(N-V)}{N}\right)^2 \Rightarrow \frac{V}{N} \leq 1 - \frac{1}{R_0}\left((N-V)\right)^2$, en particular la cota superior se expresa como: $\boxed{\frac{V}{N} = 1 - \frac{1}{R_0}}$ que es lo que se afirmaba.

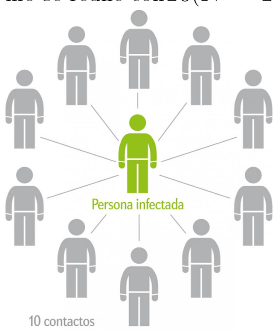
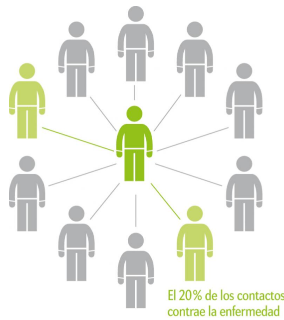
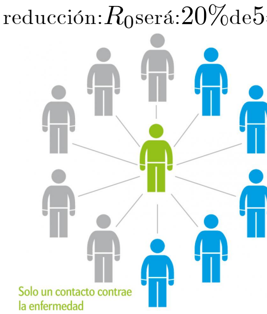
<table>
<tr>
<td>1.Covid19 con R_0= 2.Enfermo se reune con10($N = 10$):

</td>
<td>2.De 10 se infectan 2, luego c/d par tiene 20% de proba. de atrapar virus:

</td>
<td>3.Si 5 de los 10 amigos están vacunados($V = 5$), es poco probable que tales se infecten.Ls 5amigos no vacunados(azul) todavía tienen un 20% de prob de infectarse, luego hay una reducción:R_0será:20%de5=1

</td>
</tr>
</table>

Tabla5.

Ese simple cálculo da el % de la población que necesita ser vacunada para reducir R_0 a 1: $\boxed{1 - \frac{1}{R_0} = \frac{V}{N}}$; en el ejm. $R_0 = 2$: $1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2} = \frac{50}{100}$ (=50%=V)

Tabla6.

Para este caso concreto habría que vacunar al 50% de la población para convertir a R_0 de 2 a 1. Esto es, de un crecimiento de la epidemia exponencial a uno lineal.

3.5.2 Los ejercicios más simples:

1. Supóngase que se tiene una enfermedad con un R_0 de 4 y supóngase que, un individuo infectado se reune, en promedio, con 100 amigos sanos:

   A. ¿Cuál es la probabilidad de que **1** de esos amigos se infecte?

·*Llave para la respuesta*: Como $R_0 = 4$ es probable que **4** de cada 100 amigos se infecten: $4/100 = 4\%$; luego la probabilidad de que **1** de esos amigos se infecte será…

B. ¿Cuántos de los 100 amigos tendrían que ser vacunados para reducir la R_0 de la enfermedad de 4 a 1?

·*Llave para la respuesta*: Usar la ecuación, que calcula el número necesario a ser vacunado a través de R_0: $\boxed{\left(1 - \frac{1}{R_0}\right) = \frac{V}{N}}$. Al sustituír el valor conocido $R_0 = 4$, en la parte izquierda y en la parte derecha el valor de $N = 100$ ¿Cuántos de los amigos tendrían que ser vacunados (V) para reducir la R_0 a 1?.

2. Supóngase que está infectado con un virus de la gripe estacional con ($R_0 = 1.25$)

   ¿Cuántos de tus compañeros tendrían que vacunarse para reducir a 1 el R_0?

   ·Esta respuesta dependerá del número de estudiantes en tu salón de clase. Si se tiene digamos 25 compañeros de clase. ·La clave: De la fórmula de los que deben vacunarse a través de R_0: $\boxed{\left(1 - \frac{1}{R_0}\right) = \frac{V}{N}}$ (habría que sustituírle el valor de R_0 en la parte izquierda de la igualdad, obteniendo así un porcentaje, luego el mismo porcentaje debería obtenerse en la parte derecha). Tómese en cuenta que las enfermedades con menor '*número reproductivo básico*' del R_0 para esa enfermedad requieren que se vacune a menos personas para reducir su R_0 a 1.

3. También se hace referencia al porcentaje de vacunación necesaria en una población para alcanzar un R_0 de 1, como el "*umbral de inmunidad colectiva*" (*HIT* por sus siglas en inglés). ¿Cuál es el umbral (*HIT*) de las siguientes enfermedades: sarampión ($R_0 = 12$), Ébola ($R_0 = 2.5$), viruela ($R_0 = 5$,ya aniquilada)?

   ·Clave: 1ro., calcular el HIT para cada enfermedad via R_0: $\left(1 - \frac{1}{R_0}\right)$. Y 2do. usar la ecuación del umbral (HIT) a través de R_0: $\boxed{\left(1 - \frac{1}{R_0}\right) = HIT}$.

3.5.3 Discusión.

Esta fórmula: $\left(1 - \frac{1}{R_0}\right) = HIT$ brinda también el porcentaje de la población que necesita ser vacunada para reducir el parámetro R_0 a 1.

Lo que se ha estado afirmando, basados en la deducción hecha desde la teoría de los rumores, es que después de 30 rondas de infecciones, alguien infectado con una enfermedad de $R_0 = 2$ habrá infectado a más de 2 mil millones de personas, directa o indirectamente. Si bien esta cantidad es teóricamente exacta, es probable que esto en forma práctica no sea cierto.

¿Qué factores podrían prevenir esto?

Supóngase que se tiene una enfermedad con $R_0 = 2$ y un enfermo se encuentra con 10 amigos ($N = 10$): Si, de estos 10 sólo 5 amigos están vacunados ($V = 5$), entonces es muy poco probable que esos amigos se infecten. Los 5 amigos restantes no vacunados todavía cada uno de éllos tiene un 20% de probabilidad de poderse infectar, por lo cual se tiene efectivamente una reducción del R_0 a 1 (ya que el 20% de 5 (no vacunados) es igual a 1).

3.5.4 Notas para la discusión.

·Es probable que algunas personas infectadas se queden en casa, reduciendo su contacto con otras personas.

·A medida que la infección se propaga y más personas se enferman, quedan menos personas por infectar.

·Las relaciones sociales generalmente no son independientes. Supóngase que *Marco* infecta a *Lilly* y a *Betty-Xochitl* y se sabe que *ellas* ya comparten un conocido (evidentemente el tal Marco), lo que significa que probablemente comparten a otros amigos también. Pueden terminar infectando a las mismas personas, reduciendo la tasa general de la infección.

En este nivel de vacunación, es decir en, $1 - 1/R_0$ por ciento de la población total, un grupo logra *una especie de inmunidad colectiva* a una enfermedad: *no inmunidad de los individuos que se infectan, sino inmunidad de la enfermedad que se propaga* por la población a tasa exponencial. Esta propiedad se conoce como "*inmunidad colectiva*"[2]. El porcentaje de vacunación necesario en una población para lograr la inmunidad de grupo, colectiva, comunitaria, de rebaño o manada se denomina "*umbral de inmunidad de grupo*" (*HIT*). He aquí algunos ejemplos de *HIT* para diversas enfermedades:

Enfermedad	Sarampión	Viruela	Paperas	Pandemia gripe18	Covid19
R_0	12	5	4	2	$3.75\left(\frac{2.5+5}{2}\right)$
$1-\frac{1}{R_0}$	$1-\frac{1}{12}$	$1-\frac{1}{5}$	$1-\frac{1}{4}$	$1-\frac{1}{2}$	$1-\frac{1}{3.75}$
Vacunar al	91.7%	80%	75%	50%	$\boxed{73.3\%}$

Tabla7.

[2]Inmunidad colectiva, comunitaria, de grupo, completa, de rebaño o de manada.

¿Qué es la "inmunidad colectiva" y cómo afectaría una estrategia de inmunidad colectiva al número de muertes por Covid19?

La inmunidad colectiva significa que un porcentaje suficientemente alto de una población ha tenido la enfermedad o ha sido vacunada contra ella o ambas, por lo que la posibilidad de que se propague es muy baja. Aquellos que promueven permitir que las poblaciones alcancen el punto de inmunidad colectiva como estrategia para manejar Covid19 afirman que los legisladores deben levantar las restricciones y permitir que la enfermedad se propague a través de la población hasta que se alcance la inmunidad colectiva y, mientras tanto, proteger a los más vulnerables (esta posibilidad ningún país la ha seguido)

Esta estrategia en realidad conduciría a muchas más muertes en comparación con la implementación de medidas como el uso de tapabocas y mandatos de distanciamiento social y lavado frecuente de manos, mientras se espera las *vacunas seguras y efectivas* que puedan aplicarse con una distribución amplia.

Claramente, la vacunación contra una enfermedad proporciona un beneficio potencial no solo para el individuo vacunado, sino también para la comunidad. Cuando se alcanza el '*umbral de inmunidad colectiva*', la tasa de propagación de la enfermedad, si ya existe vacuna, a través de una población se mantiene lo suficientemente baja para evitar una posible catástrofe (como la que estubo ocurriendo con la *Covid19* al menos desde marzo hasta diciembre del 2020, porque al no existir vacuna alguna). La vacunación generalizada convierte un diagrama como el de la izquierda, con muchos caminos potenciales para que la enfermedad se propague a través de una población, en algo más parecido al de la derecha, donde menos caminos dan como resultado un crecimiento más lento y menores posibilidades de la epidémia en curso.

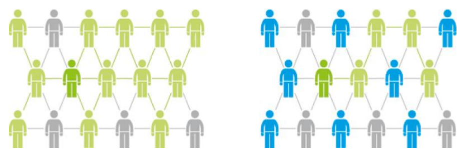


Fig.12. Ilustración gráfica que compara un grupo sin ningún vacunado (a la izquierda) versus un grupo con varios vacunados (a la derecha).La vacunación generalizada transforma un diagrama con numerosas vías de propagación (izq.) en uno que reduce drásticamente el número de rutas infecciosas (der.). Ello deriva en una propagación más lenta de la enfermedad y disminuye el riesgo de aumento de la velocidad del brote epidémico. Cortesía de Lucy Reading-Ikkanda.

Una característica importante de la inmunidad colectiva es que beneficia incluso a los individuos no vacunados de una población. Dado que es menos probable que la enfermedad se propague ampliamente, todos corren un riesgo menor, incluidos aquellos que no están vacunados. Esto es especialmente importante para las personas para las que la vacunación a veces puede ser una mala recomendación médica, como los bebés, los ancianos y los enfermos con alergias de tipo grave. Y aunque hemos asumido aquí que las vacunas son 100 por ciento efectivas, los beneficios de la inmunidad colectiva se pueden lograr incluso cuando no lo son: incluso con una efectividad menor al 100 por ciento, la vacunación generalizada aún reduce el número promedio de nuevas infecciones por persona infectada , lo que reduce el 'número reproductivo básico' de la enfermedad.

Hemos visto la gran diferencia entre el crecimiento lineal y exponencial. Cuando se trata de transmisión de enfermedades, literalmente puede ser una cuestión de vida o muerte. Las matemáticas subyacentes a las vacunas y la inmunidad colectiva son importantes, así que dígaselo a un amigo, a un familiar. Mejor aún, comuníqueselo no a una, sino a dos personas.

3.6 La matemática se complica para la inmunidad colectiva (tema del siguiete articulito).

En el próximo articulito se intentará analizar de qué manera se complica la determinación optima de la inmunidad de rebaño.

4 REFERENCIAS:

References

[1] *Allport GW*; **Attitudes** in *C. Murchison* (ed.) *Handbook of social psichology,* Wordcester Mass. Clark University Press. 1935.

[2] *Gordon W. Allport y Leo Postman*; **Psicology of rumor**; *B0007 Henry Holt and Company; 1st edición 1 Enero 1947, 247 páginas.*

·*Gordon W. Allport y Leo Postman*; **Psicología del rumor**; Editorial Psique, Buenos Aires, 1973.

[3] *Soroush Vosoughi, Deb Roy, Sinan Aral*; **The spread of true and false news online;** *Science, 09 de marzo de 2018: Vol. 359, Núm. 6380, págs. 1146-1151. DOI: 10.1126 / science.aap9559.*

[4] Estimación de R_0 para *Covid19* en europa occidental por parte del Imperial Collage: *https://www.imperial.ac.uk/mrc-global-infectious-disease-analysis/covid-19/ report-13-europe-npi-impact/*

[5] *Kevin Hartnett*; **The Tricky Math of Herd Immunity for COVID-19**; *Quanta Magazine, Quantized Academy, Abstractions Blog, June 30, 2020.*

5

.1 I.