

Nota Técnica

Implementación del *Trazador Digital de Contactos del Perú*

Actualizado a Junio 29, 2020

BORRADOR - NO CIRCULAR



Fuente: <https://www.gob.pe/>

Contenido


1. Introducción	2
2. Diseño y descripción del TDC	3
3. Implementación en el aplicativo Perú En Tus Manos	5
4. Algoritmos de detección de riesgo	6
5. Adopción de la herramienta, eficiencia y equidad	9
6. Integración a la respuesta sanitaria	11
7. Integración a otras políticas públicas	15
8. Riesgos y límites de la herramienta de política pública	15
9. Equipos de Trabajo, Contribuciones, Créditos	16
10. Referencias	17
11. ANEXOS	17
11.1. Sistemas de trazado digital de contacto revisados	17

1. Introducción

La epidemia de COVID-19 ha causado un daño de proporciones históricas en el mundo. En el Perú, en particular, la tasa de crecimiento de casos confirmados ha sido una de las más altas a nivel global. El alto nivel de infecciosidad del virus implica un reto a los métodos tradicionales de control de epidemias: el método estándar de rastreo de contactos es intensivo en recursos humanos, escasos durante la pandemia, y la capacidad del Estado para encontrar a los infectados y tratarlos no se puede escalar al ritmo que avanza la epidemia. La utilización de herramientas tecnológicas que contribuyan a reducir la velocidad de reproducción del virus es esencial. En este documento se describe el diseño y la implementación del sistema de trazado de contacto digital (TCD) en el Perú.

El trazado de contactos digital es un sistema que usa sensores de GPS y/o Bluetooth en dispositivos móviles, para detectar encuentros que supongan riesgo de infección entre ciudadanos, de manera automática y masiva. En el Perú, el sistema actualmente recolecta datos a través del aplicativo Perú en Tus Manos usando GPS (y, próximamente, mediante el sensor de Bluetooth.) Los usuarios son informados y dan su consentimiento a que el aplicativo use dichos sensores. Cada vez que se obtiene un lote nuevo de ciudadanos infectados, los algoritmos del sistema “recorren” hacia atrás en el tiempo las posiciones de cada uno de los nuevos infectados (que utilizan el aplicativo) y detectan encuentros potencialmente riesgosos con usuarios no infectados. Así, dichos algoritmos estiman la probabilidad de haber contraído el COVID-19 para cada uno de los usuarios del aplicativo móvil basándose en la cercanía y duración de sus encuentros con personas infectadas. La estimación se hace mediante un modelo probabilístico de cercanía de usuarios infectados y no infectados, basado en los registros de posición GPS y de cercanía Bluetooth colectados por el aplicativo.

Con un grado de adopción suficiente, el TCD *potencia* y *complementa* la estrategia sanitaria de identificación temprana de infectados y el rastreo de contactos tradicional. Además, el sistema permite un monitoreo cercano de la epidemia, brindando información oportuna sobre zonas, días y horas con alto riesgo por alta movilidad, aglomeraciones, y contactos con infectados.



Esta herramienta puede complementar de manera valiosa las políticas de reanudación de actividad social y económica, permitiendo una reacción rápida y focalizada ante brotes.

El aplicativo que colecta los datos y los algoritmos son un esfuerzo colaborativo entre el gobierno, un grupo de académicos y científicos y varias empresas privadas.

2. Diseño y descripción del TDC

El desarrollo del sistema trazado de contactos digital puede ser técnicamente complejo, pero intuitivamente, su funcionamiento es simple. Lo ilustramos en la Figura 1. En este ejemplo, tenemos a dos personas que no se conocen entre ellas: una mujer sana (Amarillo) y un hombre infectado (Rojo) que aún no sabe que es portador del virus, pues aun no ha desarrollado síntomas ni ha sido testeado. Ambas personas son usuarias del sistema (mediante el aplicativo). Rojo (infectado de COVID-19) se encuentra con la Amarillo en algún lugar público, digamos en la cola del banco o el mercado. El app registra este encuentro utilizando las tecnologías GPS y Bluetooth (duración del encuentro y cercanía física). Después de varios días, Rojo desarrolla los síntomas característicos de la enfermedad y acude al sistema de salud, donde se hace la prueba y es diagnosticado positivo. Esta información es consumida por el sistema, el mismo que revisa las posiciones de Rojo y evalúa todos sus encuentros en el período que se sospecha que era contagioso, incluyendo el que tuvo con Amarillo en la cola del banco. Si dicho encuentro sucede con suficiente cercanía y tiempo prolongado, o repetidas veces el sistema actualiza la probabilidad de infección de Amarillo. Si dicha probabilidad es suficientemente alta, el sistema le envía una alerta, informando que ha tenido un contacto que la pone en riesgo de contagio, y proporcionando recomendaciones de posibles acciones, por ejemplo, realizar el triaje, auto-aislarse o acudir a que se le haga una prueba (ver Figura 3 para un modelo de Alerta).



Figura 1: El Trazado de Contactos Digital

El núcleo del sistema lo constituyen los algoritmos que estiman la probabilidad de haber contraído el virus, los mismos que han sido desarrollados por investigadores de diversas universidades de Perú y el extranjero. Los algoritmos utilizan parámetros epidemiológicos conocidos para el COVID-19. El resultado final de estos cálculos es una probabilidad estimada diariamente, para cada usuario.

El TCD hace posible una protección mutua cooperativa entre todos los peruanos. En nuestro ejemplo, imaginemos que Amarillo se contagió del virus y es una portadora asintomática. Una vez que Amarillo ha sido alertada y es detectada como positiva, se la aísla y así se detiene el árbol de contagios que de otra forma ella produciría. En suma, el Rojo, al utilizar el app, protege a las personas que Amarillo hubiera contagiado inadvertidamente en ausencia de esta herramienta. Al contar con información y guía, Amarillo, a su vez, toma acciones inmediatas para protegerse a sí misma, a su familia, y a otros peruanos.

Esta herramienta de protección colectiva es de particular importancia en la epidemia actual, donde se ha estimado que hasta un 79% de los contagios provienen de pacientes asintomáticos (Li, et. al., 2020), quienes en ausencia de un trazador de contactos digital (o

manual), no hubieran sido identificados o hubiesen sido identificados sólo cuando desarrollaran los síntomas (varios días después). Es importante resaltar que esta herramienta no es un reemplazo, sino más bien un complemento del trazado de contactos manual. En el Perú, dada las capacidades del sistema de salud en infraestructura y recursos humanos, no estamos preparados para desplegar una estrategia masiva de rastreo de contactos manual a la escala requerida. Como referencia, la ciudad de Wuhan con un número de habitantes similar al de Lima (~11 millones) tenía 9 mil rastreadores de contactos. En este contexto, el uso de la tecnología para complementar esta estrategia puede ser importante.

3. Implementación en el aplicativo

La aplicación móvil Perú en tus Manos posee la funcionalidad de trazado de contactos digital haciendo uso del GPS del dispositivo móvil y próximamente también el Bluetooth.

En cuanto a la funcionalidad por medio de GPS, siempre y cuando el usuario lo permita, ésta trabaja automáticamente por background, y envía los datos de la latitud, longitud, altitud, la precisión del GPS del dispositivo, y los tres ejes del acelerómetro. En el caso de Android, se envía la información en base unas reglas de cantidad de metros recorridos y tiempo transcurrido. Mientras que en el caso de iOS se envía la información en base unas reglas de cantidad de metros recorridos.

En el caso de la funcionalidad por medio de Bluetooth, se trabaja automáticamente en el background siempre y cuando el usuario lo permita, y en ese caso el dispositivo transmite IDs encriptados a los teléfonos que están cerca y guarda los IDs de los teléfonos a su alrededor cada 5 minutos. El historial de contactos con otros dispositivos se guardan de manera local por un lapso de 2 semanas y solo se envía al servidor centralizado si el usuario ha sido detectado como positivo.

Además, si una persona da como positivo en el test de COVID-19, el aplicativo avisa a las otras personas para quienes la probabilidad de contagio estimada es lo suficientemente alta. Ellas recibirán un mensaje en su teléfono indicando que están en riesgo de haber sido contagiados.

Vale decir que la información de la persona que dio positivo se mantiene en todo momento se forma anónima.

4. Algoritmos de detección de riesgo

El algoritmo de cálculo de probabilidad de contagio asume las siguientes premisas. Primero, se asume que la vía de contagio principal es por medio de micro-gotas (5-10 micras), tal como lo detalla la Organización Mundial de la Salud (OMS). Se reconocen además otras potenciales vías de transmisión como aerosoles (gotas <5 micras) [Bourouiba, 2020] o fomites en superficies [Ong et al., 2020]. Actualmente el algoritmo considera la primera vía de contagio y las otras dos serán implementadas en futuras iteraciones.

Para calcular la probabilidad de contagio se utilizó la evidencia documentada en Lu et al. (2020), cuya investigación muestra que 3 de 4 personas localizadas a 1.5m del caso índice por un periodo de 53 minutos resultaron infectadas. Con algunos supuestos, Panizo et al (2020) reportan que esta evidencia se traduce en una probabilidad de 12 % por un encuentro de cinco minutos dentro del radio de 1.5 metros.

En una iteración siguiente del modelo se va a incorporar que el riesgo de contagio aun es positivo a distancias más grandes. El estudio de Lu et al (2020) halla una infección de 2 de 7 personas cuando estas están localizadas a 3.5m del caso índice por un periodo de 73 minutos. De igual manera, el modelo en una iteración futura incorporará de forma diferenciada la información de cada tipo de prueba diagnóstica en base a la información reportada por Wolfel et al. [Wolfel et al., 2020] en base a los siguientes hallazgos, también consistentes con lo reportado de forma local en Vidal-Anzardo et al., (2020):

- La prueba serológica es positiva (en promedio) a partir del día 8 desde el inicio de síntomas.
- La prueba molecular, se vuelve negativa - o bajo el umbral de detección - (en promedio) después del día 12 desde el inicio de síntomas.

Para asegurar la robustez y confiabilidad del sistema, se decidió implementar varios modelos algorítmicos con sus respectivas implementaciones.

Algoritmo 1

El modelo del algoritmo de cálculo de probabilidades de infección de esta implementación está detallado en Panizo et al (2020). Este algoritmo busca encuentros nuevos entre infectados y no infectados cuando uno de los siguientes dos eventos sucede: (1) llega un nuevo lote de infectados, (2) llega un nuevo lote de información de rastros de GPS o de proximidad de Bluetooth. Se espera que estos lotes lleguen diariamente.

El algoritmo funciona de la siguiente manera. En primer lugar, se construye o depura el conjunto I de infectados al tiempo de referencia T (usualmente el tiempo presente) en base a la información actualizada que se tiene sobre los pacientes con IDs anónimos y que se recibe de fuentes autorizadas.

Luego, se identifican los días en que cada uno de estos pacientes es clasificado como transmisor y a los usuarios no infectados que tuvieron cercanía con ellos en esos días, tanto por registros GPS (y pronto por registros Bluetooth). Esta identificación se puede hacer juntando las posiciones de las personas en ventanas temporales de cinco minutos o asumiendo una imprecisión espacio-temporal siguiendo principios de movimiento Browniano. El rango de distancia de potencial riesgo se toma en base a cuadrados de 60 mts de lado con centro en el usuario infectado –ello en consideración de lo que se conoce sobre la imprecisión del GPS. Para cada usuario no infectado j en posible contacto con un infectado, se calcula la probabilidad de contagio basada en la distancia medida al no infectado y la repetición de tales encuentros. Si estas mismas dos personas han estado en interacción según los registros de cercanía de Bluetooth en ese mismo momento, se compara el anterior cálculo con la probabilidad preestablecida δ (duración) y se compone la probabilidad de ambos sensores considerando la correlación positiva entre ambas mediciones (sujeto a una estimación posterior de la dependencia mutua).

Para el cálculo de la probabilidad de contagio basada en cada encuentro entre el no infectado i y el infectado j , se implementa entonces la siguiente metodología: Asumimos que hay probabilidad de contagio solamente dentro de 1.5 metros de distancia, y que, condicional a ese encuentro cercano, dicha probabilidad está dada por $\gamma=0.12$. Adicionalmente, tomamos en cuenta que las mediciones de GPS son imprecisas con una distribución de la posición verdadera condicional a la medida dada por $f(x,y)$. De esta manera, la probabilidad de contagio tiene la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}\Delta p_i &= \gamma \times P[|(X_j, Y_j) - (X_i, Y_i)| \leq 1,5] \\ &= \gamma \times E[P(|(X_j, Y_j) - (X_i, Y_i)| \leq 1,5 | X_i, Y_i)] \\ &= \gamma \times \iint \left[\iint_{\{(r,s):|(r,s)-(t,u)| \leq 1,5\}} f(r, s | \hat{x}_j, \hat{y}_j) dr ds \right] f(t, u | \hat{x}_i, \hat{y}_i) dt du\end{aligned}$$

Esta probabilidad no se puede calcular de forma analítica, pero se puede computar por simulación de Monte Carlo y almacenar los diferentes posibles valores para cada posición relativa dentro del rango considerado (separaciones horizontales y verticales de hasta 30 metros) con una resolución de 0,1 metros. Dicha tabla se llama únicamente para las interacciones infectado-sano con cercanía longitud y latitud de 30 metros. Este procedimiento disminuye la demanda computacional en cada iteración del algoritmo.

Para la actualización de la probabilidad de contagio hasta el momento de la interacción considerada en el cálculo anterior, o la asignada según un registro de cercanía de Bluetooth, se asume que dos interacciones distintas con personas infectadas (diferentes o la misma en diferentes momentos) son independientes, y por tanto la actualización se puede expresar con una regla de agregación de probabilidades binomial. Supongamos que p_i denota la probabilidad de que la persona i haya sido contagiada hasta el tiempo t , y supongamos que luego de esto hay un evento relevante (e.g., un encuentro con otro infectado j en el tiempo t') con una probabilidad Δp_i de contagio (i.e. recibir la dosis de contagio). Entonces la probabilidad

actualizada de que la persona i haya sido contagiada viene dada por la expresión $p_i' = p_i + \Delta p_i (1-p_i)$.

Este algoritmo tiene dos implementaciones, una con las ventanas temporales de cinco minutos y otra con el modelo de movimiento Browniano. Una versión reciente del código puede encontrarse aquí: <https://github.com/COVID-19-Peru/peru-contact-tracer-algorithm> y aquí: <https://github.com/COVID-19-Peru/peru-contact-tracer-algorithm-brownian>

Algoritmo 2

Este algoritmo de trazado de contactos digital diseñado e implementado en la Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC) está detallado en el informe técnico (Bellido, et al) y tiene la finalidad de calcular la probabilidad de contagio de los usuarios del aplicativo “Perú en tus Manos”. El cálculo de esta probabilidad está basado en el tiempo y la distancia de encuentros con otros usuarios con resultado positivo para Covid-19 y consta de lo siguientes pasos:

1. Limpieza y depuración de los datos

Los datos recogidos por la aplicación así como también la base de datos de usuarios infectados son limpiados y depurados de manera automática y escalable con el objetivo de eliminar datos duplicados, corregir el formato de fecha y detectar inconsistencias.

2. Preprocesamiento de la información

Una vez que los datos se encuentran depurados estos se encuentran listos para ser usados y el siguiente paso de este algoritmo consiste pre-procesar la información remitida por el usuario a través de la aplicación. Este pre-procesamiento consiste en encontrar aquellos *eventos* o *encuentros* entre usuarios de la aplicación dentro de un radio crítico. Como se muestra en la siguiente figura, estos eventos pueden ser en base a la geolocalización (Evento GPS) o una colisión Bluetooth (Evento Bluetooth). En ambos tipos de eventos, los usuarios i, j se encuentran dentro de un radio crítico en un mismo instante de tiempo T .

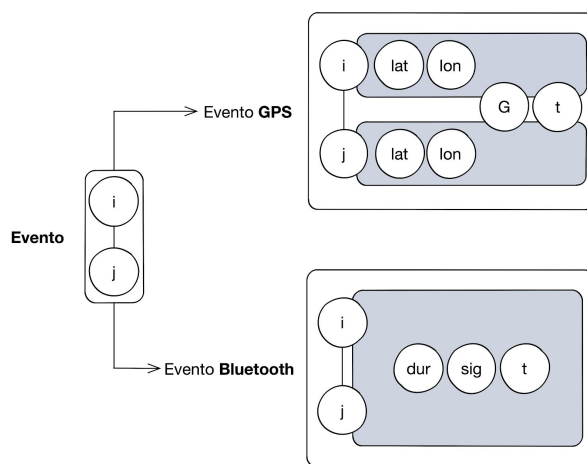


Figura 1. Algoritmo 2 - Eventos GPS y Bluetooth

Evento GPS : Estos eventos son obtenidos a partir de la geolocalización del usuario. Los usuarios reportan su posición (latitud y longitud) cada instante de tiempo t . Un evento GPS es originado cada vez que dos usuarios (i, j) se encuentran a una distancia menor a un radio crítico en un mismo instante de tiempo. La precisión y la incertidumbre juegan un papel crítico en el cálculo de la distancia, para esto se utilizó el modelo de precisión e incertidumbre elaborado por UTEC (Renom et al).

Evento Bluetooth : Este tipo de evento es obtenido a partir de las colisiones o intercambio de tokens bluetooth cuando dos usuarios están lo suficientemente cerca. A diferencia de los eventos GPS, los de Bluetooth no usan las coordenadas de ubicación y solo toman en cuenta la intensidad de la señal y la duración de esta. Para calcular con mayor precisión la distancia en base a la intensidad de la señal se hace uso de un modelo de calibración elaborado por UTEC en convenio con INICTEL-UNI.

3. Cálculo de la Probabilidad de Contagio

A partir del conjunto total de encuentros es importante identificar los encuentros donde una de sus partes i o j es identificado como COVID-positivo. Este tipo de *encuentro peligroso* es el más

riesgoso y merece de un mayor seguimiento. La probabilidad de un encuentro peligroso se determina en términos de distancia (d) entre los usuarios i y j .

$$P(d) = \begin{cases} 1 & \text{si } d \leq 1,5 \\ 1 + \frac{1-0}{1,5-15}(x - 1,5) & \text{si } 1,5 < d \leq 15 \\ 0 & \text{si } 15 < d \end{cases}$$

La probabilidad que una persona esté contagiada depende de los eventos peligrosos que ha tenido hasta el momento. Supongamos que la persona ha tenido m contactos peligrosos la probabilidad que esté contagiado será el valor de C en la siguiente fórmula.

$$C = 1 - \prod_{k=1}^m (1 - \gamma P(d_k))$$

Por ejemplo, en el siguiente gráfico se muestra como la probabilidad de contagio del usuario va en aumento en el tiempo en relación a los encuentros peligrosos de los que forma parte. En el gráfico de la izquierda se muestra los contactos peligrosos, la intensidad del color muestra la probabilidad acumulada. En el gráfico de la derecha muestra como la probabilidad aumenta de acuerdo a la distancia.

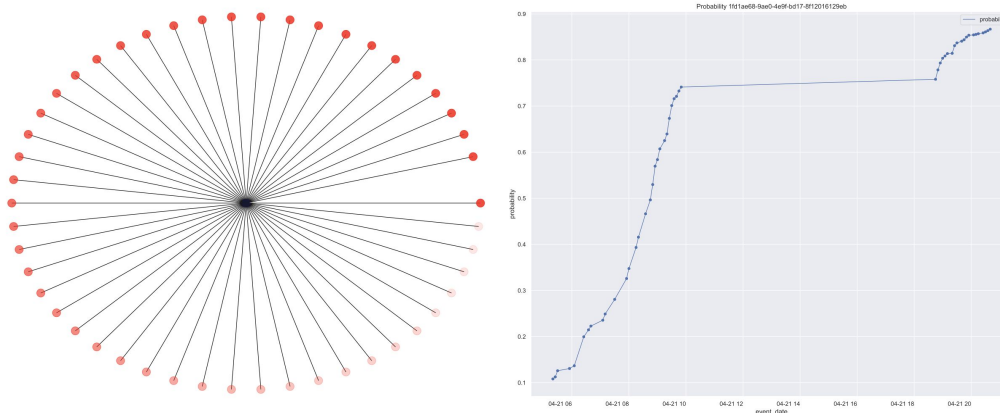


Figura 2. Algoritmo 2 - Incremento de la probabilidad de contagio.

4. Alertas

Basado en la probabilidad de contagio este algoritmo termina su ejecución emitiendo un ranking de los usuarios anonimizados con mayor probabilidad de contagio. En las siguientes etapas la información estos usuarios son contactados por la entidad correspondiente.

5. Adopción de la herramienta, eficiencia y equidad

Si bien esta herramienta puede comenzar a identificar encuentros de riesgo de contagio aun con un porcentaje bajo de usuarios, su potencial de identificar infectados crece exponencialmente con el número de usuarios activos –lo cual involucra no sólo descargar la aplicación, sino aceptar el uso activo del Bluetooth y GPS, especialmente durante movimientos fuera de casa.

En la Figura 2, ilustramos el registro de encuentros de riesgo a partir del número de usuarios activos (del mismo aplicativo, en sus primeros días de operación). El número de pings de GPS en un momento en el tiempo es recogido por la línea verde. Esta masa de usuarios activos generan el número de encuentros (ciudadano-ciudadano) dado por la línea azul y el número de encuentros de riesgo (ciudadanos sanos – infectados) dado por la línea roja.

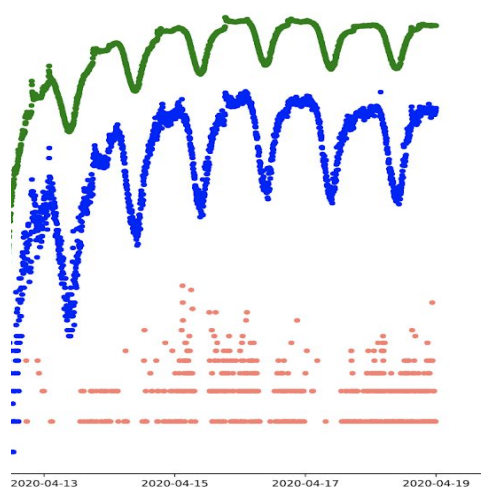


Figura 2: Encuentros de riesgo a partir de usuarios activos

En este sentido, estudios recientes de modelación sugieren que para que la herramienta sea efectiva es necesario que entre 30% y 60% de la población de una ciudad la adopte. Faggian et al. 2020, muestra específicamente, que un 60% de adopción es necesario para lograr aplanar la curva solo con el uso de la herramienta. Sin embargo, niveles de adopción cercanos al 40% ya contribuyen a reducir significativamente el crecimiento de la misma.

Dado este reto en la adopción, no solo es importante que el software se implemente de manera técnica (reducción de uso de batería, entre otros) sino también que el gobierno promueva su adopción de manera masiva, comunicando con *transparencia* y *claridad* el uso de los datos, y salvaguardando la seguridad y la privacidad de los datos. La utilización del aplicativo, sin embargo, debe siempre ser *voluntaria* y depender de la cooperación de la ciudadanía.

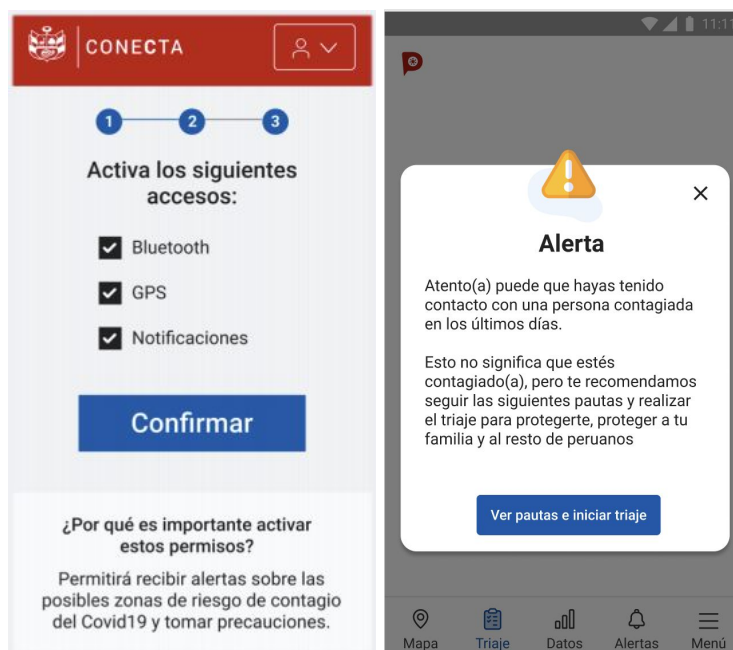


Figura 3: Activación de GPS y Bluetooth, y Sistema de Alertas.

Notas: El ciudadano debe activar los permisos de GPS, Bluetooth y Notificaciones para obtener los beneficios de las Alertas (pudiendo también desactivarlos en cualquier momento). El equipo de desarrollo del aplicativo está conformado por Tekton Labs, Kambista, Sapia, Mr. Burns, Media Labs y el Grupo Alicorp.

La penetración de smartphones en el país y la inequidad existente en el acceso a tecnología móvil entre los ciudadanos son, asimismo, factores importantes en la adopción de la tecnología. En términos de penetración, se estima que por lo menos seis de cada diez peruanos tiene acceso a teléfonos inteligentes. En términos de hogares, este ratio sube a más de 7 de cada 10 (hogares). Es importante también mencionar que este ratio es de 8 de cada 10 hogares en zonas urbanas, donde la incidencia de la enfermedad es mayor y en Lima metropolitana llega a ser de 9 de cada 10.

De cualquier forma, el acceso a la tecnología genera una inequidad pero debe también tomarse en cuenta que los ciudadanos que no accedan directamente al sistema sí se benefician de la identificación más temprana de infectados, al contribuir a bajar la incidencia del virus en la población (e.g., cada ciudadano que utiliza el aplicativo está reduciendo el riesgo de contagio de todo el resto, incluidos los que no lo usan). En segundo lugar, el uso del TDC libera recursos de los trazadores de contacto manual, quienes se pueden enfocar en áreas donde hay menor adopción de la tecnología y mayor prevalencia. No resulta costoso tampoco, en comparación a los beneficios, entregar smartphones a ciertos segmentos de alta vulnerabilidad, como lo demuestran experiencias en otros países.

6. Integración a la respuesta sanitaria

El TCD provee información acerca de los contactos de riesgo de contagio entre usuarios del aplicativo. Esta información es confiable y se da en tiempo real, generando beneficios directos para los ciudadanos, quienes pueden utilizarla para modificar su comportamiento, evitando posibles futuros contagios a sus familiares y otros miembros de la sociedad. Más importante aún, el trazado de contactos digital es fundamentalmente un herramienta de política pública que permite la detección temprana de posibles infectados, a quienes se debe tratar dentro de una estrategia integral del sector salud para el control de la pandemia. En esta sección delineamos los principales elementos que permitirán la maximización de los beneficios del trazador digital de contactos a través de su integración a una estrategia sanitaria integral.

El trazado digital de contactos es un complemento clave del trazado de contactos tradicional (manual). Como se mencionó en las secciones anteriores, el trazado de contactos manual es una actividad intensiva en tiempo y recursos humanos. Dada la velocidad de expansión del virus y los límites en el número de personas con las que se puede contar para el control de la pandemia, el trazador digital de contactos es una de las principales fuentes de información que permitirán maximizar la eficiencia y eficacia de los equipos de trazado de contactos y de respuesta rápida.

Para poder entender la utilidad de la información generada por el TCD, primero describimos de manera más precisa la información que se produce y cuál es su flujo. El principal resultado del TCD es el cálculo de probabilidades de contagio a nivel individual, diariamente (cada vez que se recibe un nuevo lote de infectados). Cada día, se calcula estas probabilidades, y se establece el punto de corte para el envío de alertas. El punto de corte se da basado en (i) la capacidad de respuesta del sistema sanitario y de los equipos de seguimiento, y (ii) las características de los encuentros que determinan la probabilidad de contagio del usuario marginal. Se excluyen de estas listas a las personas que ya hayan recibido una alerta durante los últimos 14 días.


La lista (anonimizada) de los usuarios a ser alertados se envía al INS y la secretaría de gobierno digital para proceder a nominar la información y hacer el envío de las alertas. La información nominada incluye datos del nombre del usuario, su número de teléfono móvil, DNI y dirección (correspondiente a la del DNI). De manera importante, las tablas que se generan incluyen una serie de estadísticos descriptivos que pueden ser usados por el tomador de decisiones para priorizar el tratamiento de algunos casos. En reuniones sostenidas con especialistas del centro de epidemiología del Perú, se ha determinado que estos estadísticos sean los siguiente: (i) número de contactos total, con infectado o no infectados, lo que permite determinar la cantidad de potenciales contagios que este usuario puede generar, (ii) número de contagiados con los que se ha tenido contacto, nos da una idea de si el potencial contagio ha sido dentro o fuera del hogar, (iii) distancia de los contactos registrados (percentil 5, 25, y 50), lo que permite determinar el riesgo de los mismos, (iv) probable ubicación del hogar basado en el lugar más frecuente donde se realizan registros de GPS, lo cual permite generar mapas de calor de las probables ubicaciones de usuarios con alto riesgo de estar contagiados.

La tabla con la información descrita se envía a las autoridades de salud para que ellas tomen las acciones correspondientes. La primera utilidad de esta información es que complementa aquella proveniente de los equipos de trazado de contactos manual para hacer los seguimientos correspondientes. Cabe indicar que en la actualidad, el sistema de trazado de contactos manual no está implementado de manera orgánica en el sistema de salud más allá del trazado de contactos intra-hogar, lo que presenta una oportunidad para que la organización del nuevo sistema de trazado de contactos incorpore orgánicamente el TCD.

El siguiente paso en el trazado de contactos es contactar directamente con las personas incluidas en las listas. Esto se hace usualmente a través de llamadas telefónicas. En estas llamadas se le comunica a la persona el motivo de la llamada, y se le explica que ha estado en contacto con una o más personas infectadas, lo que la pone en riesgo de estar contagiada. En seguida, se procede a realizar un tamizaje de síntomas y descripción de situaciones de riesgo siguiendo la alerta epidemiológica vigente. A partir de los resultados de este tamizaje, se procede a determinar un curso de acción, el cual dependerá de la capacidad del sistema de salud. De ser posible, se aplicará una prueba de descarte a todos los individuos alertados. En caso no haya suficiente capacidad para ello, se priorizará a aquellos pacientes que muestren síntomas consistentes con COVID-19. A aquellos que no se les pueda aplicar una prueba, se les dará recomendaciones específicas para el autoaislamiento, de tal manera que puedan cuidarse a sí mismos, y tomen medidas para no poner en riesgo a los miembros de su familia y al resto de peruanos. Es importante notar que el personal que se requiere para hacer la intervención telefónica no tiene que ser personal altamente calificado, se puede utilizar, por ejemplo, estudiantes de carreras sanitarias.

En la primera fase de implementación del envío de alertas a personas que se detectó como riesgosas, se utilizó un equipo de profesionales sanitarios voluntarios de la Unidad de Telesalud de la Universidad Mayor de San Marcos para que hagan llamadas de seguimiento. Estas llamadas trataron de acercarse lo más posible a aquellas de los trazadores de contactos. Durante estas llamadas de seguimiento se detectó que 43% de los pacientes contactados constituían casos “sospechosos”, es decir, personas expuestas a un riesgo de contagio y que tienen al menos un síntoma consistente con COVID-19. Esta evidencia muestra que claramente la herramienta está siendo bastante eficiente en su capacidad de detección de pacientes riesgosos.

La información confiable y de rápida disponibilidad es extremadamente valiosa en una situación como la actual. La detección rápida de pacientes es una de las claves para frenar el avance de la epidemia, esto es especialmente relevante en el caso del COVID-19, dado que la evidencia actual muestra que una gran parte de los contagios se originan en pacientes pre- o



asintomáticos, quienes son extremadamente difíciles de detectar en la ausencia de un sistema de trazado de contactos confiable.

En segundo lugar, con un sistema de trazado de contactos digital centralizado nos da información que no solo se utiliza para la detección temprana de casos de riesgo a nivel individual, sino que también informa un abanico de políticas públicas de control y contención del virus.

- A. Focalización de los barridos de testeo en zonas de riesgo. La información acerca de la ubicación de los contagiados actualmente está siendo utilizada para organizar campañas de barrido en la aplicación de tests. Sin embargo, una carencia de esta información es que es estática. Los datos proporcionados por el trazador de contactos (i) dan información más precisa de las ubicaciones donde podemos encontrar a las personas con riesgo de estar contagiados, (ii) nos informan acerca de los lugares más frecuentados por personas que han sido diagnosticadas con COVID-19, y más aún, (iii) nos dicen en dónde están teniendo una mayor cantidad de contacto a corta distancia con otras personas. Esto puede aumentar la eficacia de la focalización geográfica de estas intervenciones. Actualmente, esta información ya está siendo compartida con el CDC.
- B. Los mapas de calor de donde ocurren los contactos de riesgo informan la respuesta de distintos sectores para tomar medidas preventivas. Por ejemplo, los mapas mostrados en la siguiente figura muestran puntos donde han ocurrido encuentros entre personas que luego han sido detectadas como positivas a COVID-19 y otros usuarios de PETM. Claramente, se observa una aglomeración de contactos en estaciones del metropolitano, mercados y líneas de metro. Si bien ya se han tomado acciones específicas para limitar los riesgos de contagio en estos lugares, un análisis más detallado de los datos nos puede dar información acerca de otro tipo de lugares públicos que puedan representar riesgos para los ciudadanos y por tanto, tomar medidas de prevención adecuadas a tiempo.

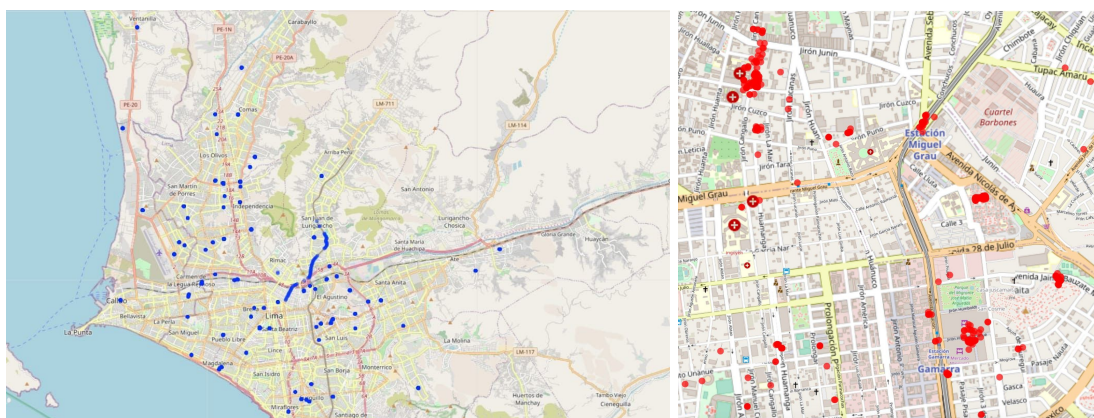


Figura 4: Mapas de Encuentros de Riesgo

- C. Estos mismos mapas de calor pueden ser utilizados para predecir el progreso geográfico de la epidemia, y así distribuir de manera más eficiente los recursos del sector salud. El hecho que los contactos de riesgo se aglomeren en ciertos lugares son potentes predictores de las zonas donde luego se concentrarán los contagiados. Son precisamente estas áreas las que necesitarán mayor equipamiento médico (oxígeno, camas de UCI, medicinas, etc.), y en su ausencia, equipos de transporte de pacientes (e.g. ambulancias).

7. Integración a otras políticas públicas

Además de complementar la respuesta sanitaria a la epidemia, la información generada por el TCD puede contribuir a la respuesta en distintas áreas:

- A. Planeamiento de la post-cuarentena. La información confiable acerca del avance (y retrocesos) de la epidemia a través del territorio puede informar políticas de cuarentenas selectivas, ya sea en espacios específicos o en ciertas franjas horarias, limitando el riesgo de exposición de la población. Esta información, junto a otras bases de datos (e.j. Cálculos del R_0 para espacios geográficos desagregados), puede servir

para minimizar la duración (y por lo tanto el costo) de estas cuarentenas específicas en el futuro.

- B. Reapertura de la economía. Un hecho estilizado en los países que han salido de la cuarentena es que una parte no trivial de los brotes han ocurrido en centros de trabajo. La implicancia de estos brotes, si no son detectados a tiempo, es que toda la fuerza de trabajo del establecimiento donde ocurre el brote tiene que ser aislada, y en consecuencia, la empresa pierde a un turno de trabajo entero por dos semanas. El trazador de contactos utilizado en los centros de trabajo puede ayudar a minimizar estas pérdidas para las empresas, pues nos da información de exactamente qué trabajadores estuvieron en contacto con el caso índice y deben ser aislados.

8. Riesgos y límites de la herramienta de política pública

Como hemos indicado en la secciones anteriores, el trazado de contactos digital es una herramienta que puede complementar y potenciar el trazado de contactos manual tradicional, con la posibilidad de generar una gran ganancia de eficiencia en la respuesta sanitaria a la crisis. Sin embargo, existen varios riesgos y límites de la herramienta:


- A. Integración con la política sanitaria. El trazado de contactos digital sigue siendo una de las partes de la estrategia de política pública. Si la respuesta de los diferentes agentes del sector salud no se integra y ensambla a la información precisa y en tiempo real que genera la herramienta, el impacto que ésta genere será bajo en relación a su potencial. La Sección 6 provee los detalles de lo que implica una integración funcional con la política sanitaria.
- B. Adopción. Ya hemos comentado también el rol central que juega la tasa de adopción del aplicativo en el impacto de la misma. Para maximizar adopción, sin embargo, se requiere de un compromiso de todos los ciudadanos. No se busca minimizar el costo que implica tener siempre activo el aplicativo, sino de resaltar que los beneficios son mayores a los costos. Cada persona que utilizar la herramienta disminuye la

probabilidad de contagio para todo el resto de la comunidad, en especial su familia y entorno cercano, incluyendo a las personas que no tienen acceso a la tecnología. Aquí, sin embargo, el gobierno debe tener un compromiso claro con las prioridades y objetivos del aplicativo.

- C. Privacidad y seguridad de los datos. La privacidad y seguridad de los datos individuales es fundamental para que los ciudadanos tengan la confianza suficiente para aceptar utilizar el aplicativo y compartir su información.
- D. Uso voluntario. Se debe enfatizar siempre que la utilización del aplicativo es *voluntaria* y que el Estado garantiza la máxima seguridad y privacidad a los datos personales brindados por los usuarios, y el estricto cumplimiento de las leyes relevantes.
- E. No usar los datos para fines punitivos. Se debe asegurar de manera enfática que ninguno de los datos recogidos podrán ser usados con *fines punitivos* (e.g. que no sean compartidos con las fuerzas armadas o policía), y que toda la información será destruida una vez pasado el periodo de emergencia sanitaria.
- F. Reacciones individuales. Finalmente, existen algunos riesgos asociados a las reacciones de las personas al sistema que deben estudiarse de manera científica en el contexto peruano. En particular, cuál es el impacto en el ciudadano de recibir una alerta de contacto de riesgo, especialmente si el sistema de salud no puede darle una respuesta adecuada inmediatamente. Para ello, se realiza un estudio en profundidad con las primeras personas que han recibido alertas de riesgo. Se evalúa su experiencia con los servicios de salud, sus percepciones de riesgo, así como el cambio en su conducta, especialmente en términos de medidas de protección. Se debe adaptar el sistema a los hallazgos de dichas investigaciones.

9. Plan de Evaluación

Como en cualquier política pública nueva, la evaluación tiene que ser un componente del diseño de la intervención. Esto permitirá no solo generar aprendizajes de corto plazo que permitan mejorar la herramienta y la maquinaria detrás de ella, sino también generar evidencia nueva que proporcionará lecciones para la comunidad internacional.



1. Evaluación y mejoras de los algoritmos. Utilizando los datos generados por el aplicativo, y comparando a aquellas personas que fueron alertadas con las que luego se encontró que eran positivas nos permitirá calibrar mejor los algoritmos, dando resultados que nos permitirán definir de una manera más científica los puntos de corte para definir el envío de alertas, y analizar la sensibilidad de los algoritmos a distintos supuestos utilizados.
2. Evaluación de impacto de la política. Los trazadores de contacto digitales son una herramienta nueva en manos de los hacedores de política. Si bien se tiene muy buenas razones para pensar que puede ser muy efectiva para combatir epidemias, aún no se cuenta con evidencia robusta acerca de sus impactos. El plan de evaluación contempla la estimación causal de los impactos del TCD sobre: (i) actitudes individuales y bienestar psicológico, (ii) percepciones de riesgo, (iii) preferencias por privacidad de la información, (iii) adopción de medidas de seguridad para evitar contagios, (iv) movilidad, (v) contactos de riesgo para otras personas, y (vi) tasa de prevalencia de la enfermedad.

Para llevar a cabo esta evaluación y la estimación del efecto causal de recibir una alerta de contacto de riesgo haremos uso del hecho de que contamos con una variable continua que mide el riesgo de estar infectado, y una regla de decisión arbitraria que determina el punto de corte para el envío de las alertas. El medio es ideal para la aplicación de una metodología de regresión discontinua, en la que comparamos variables descritas arriba entre personas que recibieron una alerta por tener una probabilidad de riesgo de contagio ligeramente por encima del punto de corte, con los resultados para aquellos para quienes la probabilidad de riesgo está ligeramente por debajo. Alrededor del punto de corte, estos individuos son comparables en cuanto a sus características observables y no observables, y sólo difieren en el hecho que los que están por encima del punto de corte recibieron una alerta, permitiendo la identificación de los efectos causales.

La información necesaria para la evaluación se recogerá a través de encuestas telefónicas llevadas a cabo a los individuos alrededor de los puntos de corte a lo largo de varios envíos de alertas hasta tener una muestra lo suficientemente grande. Esta

información será complementada con aquella obtenida del aplicativo, en el cual mediremos movilidad, número de contactos, entre otras variables espaciales. Si la adopción del aplicativo es lo suficientemente alta, también podremos explotar variación exógena espacial (dada por e.j. La presencia de torres de transmisión de señal celular) para estimar los efectos del TCD sobre la incidencia del virus por áreas geográficas.

10. Equipos de Trabajo, Contribuciones, Créditos

Hugo Alatrística (Universidad del Pacífico, Perú)

Claudia Antonini (UTECH, Perú)

John Kevin Barrera (Universidad del Pacífico, Perú)

Jesús Bellido (UTECH, Perú)

Gabriel Carrasco (Universidad Peruana Cayetano Heredia, Universidad de California San Diego)

Fabien Cornillier (UTECH, Perú)

Lucía Del Carpio (INSEAD, Francia),

Jorge Gonzalez (UTECH, Perú)

Nicolás Hochschild (UTECH, Perú)

Gianmarco León-Ciliotta (Universidad Pompeu Fabra, Barcelona GSE & IPEG, España),

Cristian López del Álamo (Universidad De La Salle, Perú)

Kristian López Vargas (Universidad de California Santa Cruz, EEUU),

Miguel Núñez del Prado (Universidad del Pacífico, Perú)

Sergio Pancorbo (PCM, Perú)

Gonzalo Panizo (IMCA - Universidad Nacional de Ingeniería, Perú)

José Miguel Renom (UTECH, Perú)

Yamilet Serrano (UTECH, Perú)

10. Referencias

Li, Ruiyun, Sen Pei, Bin Chen, Yimeng Song, Tao Zhang, Wan Yang, Jeffrey Shaman. "Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV2)," Science (Marzo 2020).

Ferretti, Luca, Chris Wymant, Michelle Kendall, Lele Zhao, Anel Nurtay, Lucie Abeler-Dörner, Michael Parker, David Bonsall, Christophe Fraser. "Quantifying SARS-CoV-2 transmission suggests epidemic control with digital contact tracing," Science (Marzo 2020).

Marco Faggian, Michele Urbani, Luca Zanotto. "Proximity: a recipe to break the outbreak." Documento de Trabajo, Universidad de Cornell (abril 2020)

Bonsall, David, MichaelParker, ChristopheFraser. "Sustainable containment of COVID-19 using smartphones in China: Scientific and ethical underpinnings for implementation of similar approaches in other settings" <https://int.nyt.com/data/documenthelper/6825-coronavirus-app-proposal-UK/76650ed3f249bf888f1e/optimized/full.pdf>, acceso: 11 de Abril de 2020.

Taylor, Linnet. "The ethics of big data as a public good: which public? Whose good?." Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 374.2083 (2016): 20160126.

11. ANEXOS

11.1. Sistemas de trazado digital de contacto revisados

- Covid Watch / EEUU
 - App: COVID-Watch

-
- Paradigma:
 - Website: <https://www.covid-watch.org>
 - Code: <https://github.com/covid19risk>
 - COVID SafeParht / PrivateKit
 - App: CoVID SafePaths (PrivateKit)
 - Paradigma:
 - Website: <https://covidsafepaths.org/>
 - Code: <https://github.com/Path-Check/covid-safe-paths>
 - Singapore -
 - App: TraceTogether
 - Paradigma: Bluetooth
 - Website: <https://bluetrace.io/>
 - Código Code/OpenTrace: <https://github.com/opentrace-community>
 - CoEpi / TCN
 - Website <https://www.coepi.org/faq/>
 - Code: <https://github.com/TCNCoalition/TCN>
 - Europa:
 - App: varios (falta entender)
 - Paradigma: bluetooth
 - Website: <https://www.pepp-pt.org/content>
 - Code: <https://github.com/pepp-pt/pepp-pt-documentation>
 - Bulgaria
 - App: VirusSafe
 - Website: <https://virusafe.info/>
 - Code: <https://github.com/scalefocus?q=virusafe>
 - Cyprus
 - Web: <https://covid-19.rise.org.cy/en/>
 - Paradigma: basado en SafePaths
- 