

COVID-19

Respuestas desde la ingeniería
y la inteligencia artificial

Christian Salamea Palacios

COVID-19

Respuestas desde la ingeniería
y la inteligencia artificial



**ABYA
YALA | UPS**

2022

COVID-19

Respuestas desde la ingeniería y la inteligencia artificial

© *Christian Salamea Palacios*

Ira edición: © Universidad Politécnica Salesiana
Av. Turuhuayco 3-69 y Calle Vieja
Cuenca-Ecuador
Casilla: 2074
P.B.X. (+593 7) 2050000
Fax: (+593 7) 4 088958
e-mail: rpublicas@ups.edu.ec
www.ups.edu.ec

CARRERA DE INGENIERIA ELECTRONICA

Diagramación: Editorial Universitaria Abya-Yala
Quito-Ecuador

ISBN impreso: 978-9978-10-694-5

ISBN digital: 978-9978-10-695-2

Impresión: Editorial Universitaria Abya-Yala
Quito-Ecuador

Tiraje: 300 ejemplares

Impreso en Quito-Ecuador, julio de 2022

Publicación arbitrada de la Universidad Politécnica Salesiana

El contenido de este libro es de exclusiva responsabilidad de los autores.



Índice

Presentación	7
Introducción	11
Contexto histórico	15
El origen de la propagación de un virus	15
La declaratoria de pandemia	19
La llegada de la pandemia al Ecuador	19
El proceso de vacunación contra la COVID-19 en Ecuador.....	22
Los números de la pandemia en el Ecuador	25
Las acciones del estado en el manejo de la información.....	25
La evolución de la pandemia a nivel nacional	27
Evolución de la pandemia por regiones	31
Evolución de la pandemia a nivel provincial	33
Análisis de caso.....	36
Qué es y cómo actúa el virus SARS-Cov2	41
Estructura y funcionamiento	41
El virus en el aire o en superficies.....	44
Acción del sistema inmune ante la presencia del virus	45
En búsqueda de la cura	49
Al inicio todo era una opción.....	49
<i>El dióxido de cloro</i>	51
<i>La ivermectina</i>	54
<i>La hidrocicloroquina</i>	57
La llegada de las vacunas.....	59
<i>La vacuna basada en el ARNm (Pfizer-BioNTech, Moderna)</i>	60
<i>La vacuna de Oxford (AstraZeneca)</i>	65
<i>La vacuna Sinovac</i>	69

El diagnóstico de la enfermedad	73
Métodos de diagnóstico	73
Un enfoque de ingeniería para el diagnóstico de la enfermedad..	75
El uso de la tos como herramienta para la detección	77
La propuesta de detección de una tos COVID-19.....	81
La formalización del proceso como un proyecto de investigación.....	83
<i>Planteamiento de la propuesta</i>	83
<i>La obtención de financiamiento</i>	86
<i>Los productos de investigación generados.....</i>	87
 El reconocimiento automático del habla (RAH) y los sistemas automáticos.....	 91
Conceptos fundamentales del RAH.....	91
La caracterización de la señal audible de tos como una tos COVID	95
<i>Sistema general.....</i>	95
<i>La base de datos nacional.....</i>	98
<i>La base de datos de Cambridge.....</i>	101
 Propuesta de caracterización de la tos como una tos COVID.....	 105
La etapa Front-End	107
<i>Aumento artificial de datos.....</i>	108
<i>Separación de señales audibles y silencios.....</i>	110
<i>En relación con las redes neuronales convolucionales (CNNs)....</i>	113
<i>En relación con los árboles de búsqueda y el “Random Forest”</i>	116
<i>En relación con los modelos ocultos de Markov.....</i>	120
<i>Resultados obtenidos en la fase Front-End</i>	122
La etapa Back-End	122
<i>En relación con el modelo de la red neuronal convolucional nativa.....</i>	123
<i>En relación con el modelo YamNet</i>	124
<i>En relación con el modelo VGGish.....</i>	126
El sistema final.....	128
 Epílogo.....	 131
 Referencias bibliográficas	 133
 Sobre el autor.....	 151

Presentación

El 15 de marzo de 2020 el virus SARS-Cov-2 que produce la enfermedad de la COVID-19 tenía ya características de transmisión comunitaria en el Ecuador y al igual que en otras partes del mundo y siguiendo el recurso del aislamiento utilizado en anteriores pandemias, desde el departamento de comunicación de la Universidad Politécnica Salesiana, se nos comunicó que debíamos volver a nuestras casas, aislarnos y organizar nuestras clases para que se lleven a cabo de forma virtual usando Moodle o Zoom. Así, las clases se convirtieron, de un momento a otro, en virtuales y debíamos “adaptar” nuestros hogares para que funcionen como aulas. Un gran cambio en nuestras vidas aparecía por delante. El confinamiento duró varios meses y durante ese tiempo, el Gobierno Nacional decretó el estado de excepción en el país, definiendo días y horarios específicos para salir de casa y para la movilización vehicular. En general, los desplazamientos se realizaban solo por cuestiones de abastecimiento y trámites esenciales o de emergencia, todo lo demás debía ser recibido, producido y trabajado en casa. Pasó a ser muy común que estemos pendientes de cada noticia del COE Nacional sobre la expansión del virus y las graves consecuencias que traía. Así mismo, pasamos a estar muy pendientes de las noticias, las estadísticas y todo lo que sucedía alrededor del mundo. En ese contexto empezó a aparecer la idea de, ¿cómo podemos aportar en la emergencia? Los militares aportaban, las personas que trabajaban en la recolección de desechos aportaban, las personas que trabajaban en las cadenas de distribución también aportaban, todos desde su ámbito. Pero ¿desde la ingeniería que se podía hacer? Algunas iniciativas se conocieron sobre la construcción de respiradores artificiales y otras con la construcción de cabinas de desinfección, tanto de coches como de personas, lo cual, dentro del contexto que se vivía era gratificante ver como las propuestas para solucionar los problemas no venían solo

del primer mundo, sino que aparecían en nuestro propio entorno. Una de las principales estrategias utilizadas para controlar el virus era la detección de casos y los correspondientes cercos epidemiológicos, para lo cual era fundamental contar con una prueba de diagnóstico de los posibles contagiados. Las pruebas más eficaces eran y son las RT-PCR, las cuales llegaron a tener un costo de 120 USD (mínimo) y servían principalmente para certificar si se estaba contagiado o no. Dichas pruebas empezaron a constituirse incluso en un requisito para poder laborar, y aunque a día de hoy, su costo ha disminuido, siguen siendo utilizadas como medio de diagnóstico. Esto junto con el hecho de que no se sabía a ciencia cierta en qué momento se pasa de un estado positivo a uno negativo, llevaba a que los ciudadanos tuvieran, en muchos casos, que gastar una buena suma de dinero solo para saber si ya no tenían el virus. En ese punto, me empecé a preguntar, ¿será que existe algún patrón característico de la COVID-19 que pudiera ser detectado telemáticamente y que evite a las personas salir de casa y dejarse una gran cantidad de dinero para el diagnóstico de la enfermedad? Por mi orientación de estudios, me enfoqué en los patrones acústicos que podrían estar relacionados con la enfermedad y luego de revisar los síntomas característicos de la COVID-19, apareció la tos como candidata para ser reconocida. ¿Se podría detectar la COVID-19 por medio de la tos? En ese momento, me puse a buscar si existían líneas de trabajo similares, encontrando una en el MIT y otra en Cambridge, además de otras iniciativas de grupos de investigación particulares alrededor del mundo. Inspirado en esos trabajos, junto con mi equipo de trabajo del Grupo de Investigación en Interacción, Robótica y Automática de la Universidad Politécnica Salesiana, empezamos a idear las formas en que podríamos asumir dicho reto y posteriormente nos pudimos vincular con los equipos de investigación de la Escuela Politécnica Nacional y la Pontificia Católica Universidad del Ecuador para desarrollar un sistema de caracterización de una tos COVID. Para conseguir los objetivos propuestos, fue necesario inicialmente, estudiar todos los ámbitos relacionados con la pandemia, incluso aquellos que iban más allá de la ingeniería, por ejemplo, la evolución del número de contagios en Ecuador, la constitución misma del virus, los métodos

de diagnóstico existentes, etc. Todo este estudio se realizó antes de proponer un método para tratar de detectar características propias de una tos COVID-19. Ese aprendizaje está contenido en esta obra, donde se recoge toda la información que obtenía de los diarios, el internet y la bibliografía científica en relación con la pandemia, todo, con el fin de utilizarla como base en la solución que íbamos a proponer. Ya en la aplicación de la ingeniería, vimos que la metodología más conveniente para realizar una valoración de contagio de COVID-19 por medio de la tos era el de la ciencia de datos, el reconocimiento de patrones y el aprendizaje automático. En esa línea, trabajamos desde varios enfoques, tanto para el tratamiento del audio en general, como para la posterior valoración de los ficheros de tos, definiéndolos, ya sea como una tos COVID o como una tos no-COVID. Los resultados obtenidos han sido muy interesantes, nos han mostrado claramente que la Ingeniería y dentro de ella, el reconocimiento de patrones por medio de sistemas automáticos constituye una herramienta poderosa para el tratamiento de señales de alta complejidad y también nos ha mostrado los limitantes de esta tecnología cuando no se cuenta con una ingente cantidad de datos.

Queda por ver que nos depara la COVID-19 en el futuro, en un entorno donde la protección se asegura mediante dosis de vacunas de refuerzo permanentes y donde parece ser que nos acercamos más a una endemia que a la desaparición misma del virus. Lo que vaya a suceder, espero que nos encuentre mejor preparados para afrontarla y combatirla.

Introducción

“COVID-19: Respuestas desde la ingeniería y la inteligencia artificial” se define a sí misma como una obra de difusión científica, donde se tratan temas complejos relacionados con la pandemia mediante un idioma natural y cercano que posibilita a la ciudadanía en general, comprender conceptos relacionados con el virus que provoca la enfermedad de la COVID-19, el funcionamiento de las vacunas, y las tecnologías basadas en Inteligencia Artificial utilizadas para analizar señales audibles de tos. El tema central de la obra lo constituye la COVID-19, particularmente para el caso de estudio de lo acontecido en Ecuador, siempre desde un enfoque ingenieril, tratando de entender el comportamiento de los fenómenos relacionados que han ido sucediéndose a lo largo del tiempo. La obra se divide en tres secciones bien marcadas en la lectura, marcadas por el tipo de información disponible y por la aplicación de soluciones ingenieriles a la problemática de reconocimiento de características acústicas propias del virus en una señal audible de tos.

La primera sección del libro se puede definir como un proceso de recopilación y análisis de información obtenida a través de los diferentes medios de comunicación periodística privados y estatales, escrito a modo de narrativa. Se expone información relacionada con el origen del virus, su propagación y la declaratoria de pandemia por parte de la OMS, también se relata, la llegada del virus al Ecuador y varios eventos relevantes relacionados como el proceso de vacunación masiva en el país. Posteriormente, se realiza un análisis estadístico de la evolución de la pandemia a diferentes niveles, local, regional y nacional, describiendo los diferentes escenarios que fueron sucediéndose a lo largo del tiempo, para finalmente realizar un análisis de caso de impacto de la pandemia en dos localidades del país, determinando

las razones por las cuales la pandemia pudo afectar a unas regiones más que a otras. Toda esta información ha sido recogida casi en su totalidad a partir de información publicada en diarios de prestigio nacional e internacional, como El País y El Mundo de España, la BBC de Londres, el New York Times de Estados Unidos, El Universo y El Comercio de Ecuador y en la información ofrecida por el Gobierno Nacional a través de la Secretaría de Riesgos y posteriormente a través del Ministerio de Salud Pública, con los reportes diarios de contagios puestos a disposición de la ciudadanía. También se han utilizado fuentes de información como las páginas web de la OMS, el Ministerio de Salud Pública del Ecuador y del Gobierno Nacional.

La segunda sección del libro está orientada a una descripción de las características propias del virus, su forma, la manera que actúa sobre el cuerpo y la forma como actúa el sistema inmune para hacerle frente. Para esto se realizó una búsqueda basada también en información de investigación periodística pero ya se pudo incluir información encontrada en publicaciones científicas relacionadas. A diferencia de la primera sección, en esta se van a poder encontrar algunas referencias científicas para lo expuesto, además de la información periodística de base. Lo que si es cierto es que se ha buscado que el lenguaje utilizado permita llevar una lectura de fácil comprensión. Posteriormente, en esta misma sección se habla sobre los métodos poco ortodoxos y hasta polémicos que se utilizaron para tratar la enfermedad, previo a la aparición de las vacunas. Para ello se buscó información científica que sustente los criterios expuestos, sin embargo, no resultó una tarea sencilla, comprobando la insuficiente evidencia científica que existe al respecto. Finalmente, en esta sección se hace un análisis y una descripción de la forma de actuar de las vacunas en nuestro cuerpo, debido a la gran cantidad de fabricantes de vacunas en el mundo, se analizaron las tres que más se han venido utilizando en nuestro país, según el plan de vacunación vigente.

Por último, en la tercera sección del libro se presenta un análisis técnico relacionado con la caracterización de una señal de tos COVID-19

en base de la información recogida telemáticamente de señales audibles de tos. Para abordar esta temática, en primer lugar, se describen los antecedentes que motivaron este estudio, así como las estrategias de financiamiento para ejecutarlo. Posteriormente, se habla de las técnicas relacionadas como el procesamiento de habla, el aprendizaje automático y el reconocimiento de patrones y finalmente, se describen las técnicas de aprendizaje automático utilizadas para conseguir la caracterización. La información técnica derivada de la aplicación de las metodologías y técnicas para caracterizar la tos COVID, se encuentra contenida en las “Memorias del Proyecto de Investigación: Caracterización de la tos COVID-19 en pacientes con diagnóstico positivo”, documento al que se puede acceder, por el momento, libremente, siempre y cuando, se tenga un fin de investigación científica. Deberá solicitarse a csalamea@ups.edu.ec para proceder a su envío, previo llenado de un formulario de confidencialidad de la información.

Así, en general, en la obra quedan plasmadas las experiencias vividas en lo que lleva de transcurrida la pandemia, siempre a la expectativa de si acaso estamos a la puerta de un desenlace, o si acaso, estamos a la espera de la aparición de nuevas variantes del virus o pérdida de inmunidad generalizada que podría complicar nuevamente la situación.

En cualquier caso, estamos seguros de que el camino andado nos ha dejado experiencia suficiente para asumir nuevos retos y proponer alternativas de solución. En este sentido quiero agradecer al equipo de investigación con quienes llevamos a cabo el estudio de caracterización de una tos COVID-19 en pacientes con diagnóstico positivo, estudio que ha servido para sustentar varias de las propuestas descritas en los capítulos finales de esta obra. El agradecimiento va con mención especial para los doctores Tarquino Sánchez, Javier Guaña, el magíster Xavier Calderón y los Ingenieros David Naranjo, Fernando Chica, Jessica Reina, David Romero, Santiago Luna y Paulo Castañeda. Sin ellos, no habría sido posible la determinación de las reales capacidades de los sistemas inteligentes para este tipo de tareas.

Contexto histórico

El origen de la propagación de un virus

El 31 de diciembre de 2019 la Oficina de la OMS en la República Popular China detectó una declaración de la Comisión Municipal de Salud de Wuhan, en la que mencionaban casos de una “neumonía vírica” en esa localidad. Posteriormente, en el proceso de investigación, las autoridades chinas determinaron que dicha “neumonía vírica” denominada COVID-19, era provocada por un nuevo coronavirus llamado SARS-CoV-2.

A pesar del impacto provocado por la COVID-19 alrededor del mundo y de sus implicaciones en torno al futuro de la humanidad, a día de hoy, no ha sido aún posible determinar aspectos clave sobre el origen y la propagación de virus que es capaz de provocar un tipo de neumonía grave y que ha provocado millones de muertes alrededor del mundo debido a su fácil transmisión, llegando a convertirse en la primera pandemia del siglo XXI. No se tiene conocimiento de quien pudo haber sido el paciente cero, ni tampoco se sabe de los animales que sirvieron de hospedadores y transmisores del virus a los primeros contagios en humanos, aunque en todo momento, tanto el murciélago como el pangolín han sido considerados como los causantes.

Son ya más de dos años de las primeras informaciones relacionadas con un tipo de neumonía extraña aparecida en Wuhan, sin embargo, no parece que las organizaciones encargadas de estudiar el origen de la enfermedad han tenido o que vayan a tener el acceso suficiente a información por parte del gobierno chino, como para encontrar los elementos e indicios necesarios que pudieran llevar a aclarar lo acontecido. Lo que ha quedado en evidencia son los esfuerzos realizados por los actores interesados para evitar que la enfermedad