

COVID-19 en imagen tomográfica por energía dual

Dr. Mario E. Nápoles Lizano¹✉, MSc.Dr. Francisco L. Moreno-Martínez² y
MSc.Dr. Armando D. Caballero Font³

¹ Departamento de Imagenología, Hospital Provincial Universitario Cardiocentro Ernesto Che Guevara. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

² Servicio de Cardiología, Hospital Provincial Universitario Cardiocentro Ernesto Che Guevara. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

³ Servicio de Terapia Intensiva, Hospital Provincial Universitario Arnaldo Milián Castro. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Full English text of this article is also available

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 19 de febrero de 2021

Aceptado: 1 de abril de 2021

Online: 25 de junio de 2021

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Abreviaturas

COVID-19: *Novel Coronavirus Infectious Disease 2019*

RT-PCR: *reverse transcription-polymerase chain reaction*

SARS-CoV-2: *severe acute respiratory syndrome coronavirus 2*

TAC: tomografía computarizada

RESUMEN

En diciembre de 2019 se informaron casos de una neumonía grave en la ciudad de Wuhan, China. En enero de 2020 fue identificado el nuevo virus, SARS-CoV-2, que producía esta enfermedad altamente contagiosa denominada COVID-19, y alcanzó nivel de epidemia en marzo de ese propio año. Existe un protocolo establecido para su diagnóstico, donde se encuentran los estudios de imagen, entre ellas la tomografía de tórax con técnica de energía dual. Las características de los hallazgos anatómicos pulmonares y vasculares en las imágenes tomográficas de pacientes con COVID-19, su distribución, y la relación con el tiempo transcurrido desde el inicio de los síntomas, juegan un papel importante en el control y tratamiento de esta enfermedad, lo que refleja el valor diagnóstico de esta técnica.

Palabras clave: COVID-19, Diagnóstico, Tórax, Tomografía computarizada multidetector, Energía dual

COVID-19 in dual-energy computed tomographic imaging

ABSTRACT

Some cases of a severe pneumonia were reported in the city of Wuhan, China, in December 2019. The new virus, SARS-CoV-2, which produced this highly contagious disease called COVID-19, was identified in January 2020, and it reached epidemic dimension in March 2020. There is an established protocol for its diagnosis, which includes imaging studies, including chest dual energy computed tomography. The characteristics of pulmonary and vascular anatomical findings in tomographic images of patients with COVID-19, their distribution, and their relationship with the time elapsed since the onset of symptoms, play an important role in the control and treatment of this disease, reflecting the diagnostic value of this technique.

Keywords: COVID-19, Thorax, Diagnosis, Multidetector computed tomography, Dual energy

✉ ME Nápoles Lizano

Cardiocentro Ernesto Che Guevara
Calle Cuba N° 610 e/ Barcelona y
Capitán Velasco. Santa Clara, CP
50200. Villa Clara, Cuba.

Correo electrónico:
marioenapoles@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En el mes de diciembre de 2019 se comunicaron casos de una neumonía grave en la ciudad de Wuhan en la provincia China de Hubei¹⁻³. En ese momento la causa de la enfermedad era desconocida y el cuadro respiratorio

inicial de la neumonía, grave; que podía evolucionar en poco tiempo a formas más críticas con insuficiencia respiratoria aguda o distrés respiratorio (*ARDS*, por sus siglas en inglés), seguida de otras complicaciones muy serias. En enero de 2020 fue identificado, por el Centro Chino de Control y Prevención de Enfermedades, el nuevo virus que producía esta enfermedad altamente contagiosa, y fue inicialmente nombrado 2019-nCoV (*2019-novel coronavirus*), hasta establecerse su denominación definitiva «coronavirus tipo 2 causante del síndrome respiratorio agudo grave» o SARS-CoV-2 (del inglés *severe acute respiratory syndrome coronavirus 2*)^{4,7}.

La enfermedad producida por el SARS-CoV-2, que se denominó COVID-19 (del inglés *Novel Coronavirus Infectious Disease 2019*)⁸⁻¹⁰, alcanzó nivel de epidemia en marzo de 2020 y, al no tener tratamiento médico específico ni vacunas preventivas, tuvo un impacto sin precedentes en la salud pública a nivel mundial que obligó a los sistemas de salud a crear soluciones urgentes, donde se incluyeron la ampliación de los servicios de cuidados intensivos y el establecimiento de unidades de soporte de ventilación mecánica^{11,12}.

La COVID-19 no solo afecta el sistema respiratorio, sino que también tiene una fuerte implicación en el sistema cardiovascular, por lo que los pacientes con factores de riesgo (sexo masculino, edad avanzada, diabetes mellitus, hipertensión arterial, obesidad, antecedentes de cardiopatía, accidentes cerebrovasculares o enfermedades del sistema nervioso central, entre otros), son clasificados como una población altamente vulnerable con elevadas morbilidad y mortalidad¹³⁻¹⁵. Además de la miocarditis, las complicaciones tromboticas arteriales y venosas, presentes en esta enfermedad, pueden causar infarto de miocardio¹⁶, fenómenos tromboembólicos¹⁷⁻¹⁹ que generan insuficiencia cardíaca aguda y aumentan el peligro para la vida, o la posibilidad de dejar secuelas importantes sobre la función cardíaca²⁰.

Enfrentamiento a la COVID-19

Por todas estas razones se han creado comisiones de expertos a nivel internacional para la gestión y tratamiento de estos pacientes, y se han establecido protocolos de atención médica en cada país o región para contrarrestar los efectos de esta pandemia. La Organización Mundial de Salud, por su parte, ha realizado un gran esfuerzo para la obtención y distribución de información entre los distintos países, lo que ha permitido trazar planes de atención médica y control epidemiológico con vistas a reducir o

evitar la propagación del virus y la evolución a la gravedad de los pacientes contagiados.

En Cuba, el Ministerio de Salud Pública tiene establecido sus protocolos para el enfrentamiento de esta pandemia. Dentro de los esfuerzos del gobierno y los servicios médicos para su control está la creación de grupos de expertos que se reúnen diariamente para planificar las acciones ante cada problema o complicación presentada, y la implementación de cuatro proyectos vacunales en fase de ensayos clínicos para la inmunización de la población, entre otras medidas importantes.

DIAGNÓSTICO

Según las guías europeas²¹, el diagnóstico de la COVID-19 tienen un protocolo establecido que incluye la combinación de:

- Criterios epidemiológicos
- Síntomas y signos clínicos
- Exámenes de laboratorio: RT-PCR (*reverse transcription-polymerase chain reaction*), prueba necesaria para el diagnóstico
- Y las pruebas de imágenes: incluye la radiografía de tórax y la tomografía computarizada (TAC). La primera es, evidentemente, inferior a toda la información obtenida a partir de la técnica tomográfica, la cual juega un papel fundamental en el diagnóstico y la valoración de los daños provocados por esta enfermedad²²⁻²⁶.

TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA MULTIDETECTOR

Los avances de las técnicas tomográficas en las últimas 4 décadas forman parte del desarrollo de los medios diagnósticos no invasivos, que garantizan la identificación y el adecuado tratamiento de las diversas enfermedades a las que se enfrentan los profesionales médicos. En el caso de la COVID-19, la TAC ha sido de gran utilidad para el diagnóstico, la evaluación de la extensión de la afectación pulmonar, la predicción y confirmación de posibles complicaciones, y su tratamiento y seguimiento^{27,28}.

Los recursos con los que cuentan los tomógrafos, tanto en las técnicas de adquisición como de reconstrucciones y análisis, son innumerables. Dentro de las posibilidades de los equipos de doble fuente se encuentra la técnica de energía dual (*dual energy*), basada en la adquisición de imágenes a partir de la

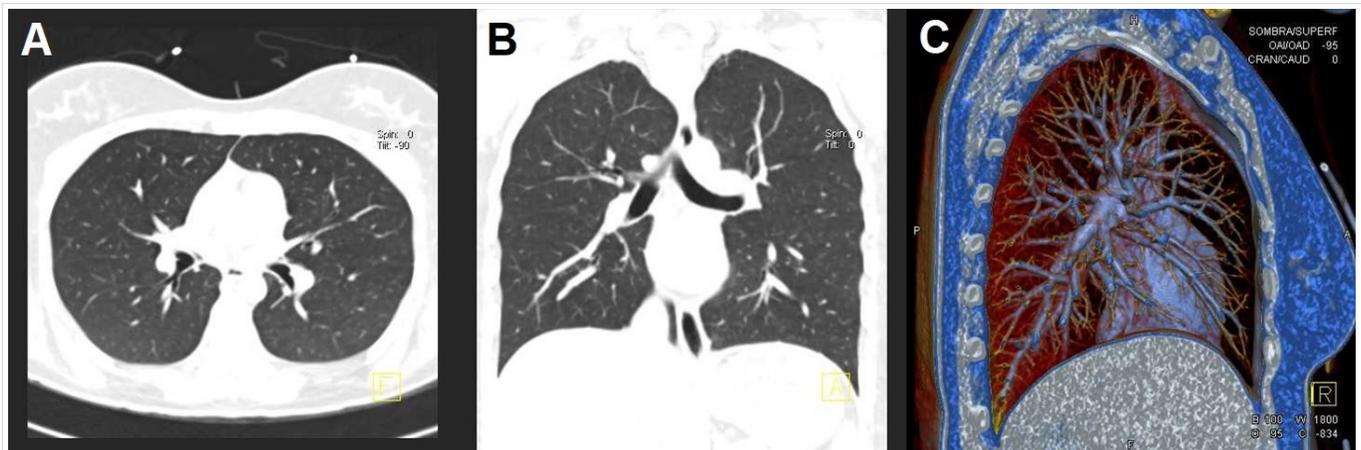


Figura 1. Imágenes tomográficas con técnica de adquisición helicoidal con energía dual (Somatom Definition, SIEMENS, Alemania) de una paciente en fase temprana de la COVID-19. **A.** Reconstrucción multiplanar (MPR) axial donde no se observan alteraciones. **B.** MPR anteroposterior donde tampoco se ven alteraciones. **C.** Reconstrucción volumétrica (VRT, del inglés *volume rendering technique*), que muestra microtrombosis en los segmentos posteriores de los tres lóbulos de pulmón derecho.

emisión de diferentes energías en cada uno de los dos tubos de rayos: 140 KV y 80 KV. Esta diferencia de potencia del tubo permite la obtención de imágenes monocromáticas y justifica la alta sensibilidad para la detección de tejidos diferentes, basado en el límite k de cada una de los tejidos estudiados, pues depende de la capacidad de atenuación del haz de rayos en los órganos atravesados, que tienen diferentes números atómicos^{29,30}.

La resolución espacial de esta técnica es muy alta, lo que permite diferenciar dos puntos muy cercanos con una alta precisión, a esto se une la sincronización del disparo, en apnea, al electrocardiograma del paciente, la resolución temporal y el empleo de cortes submilimétricos^{29,30}. Todos estos recursos garantizan la inclusión de la TAC en el arsenal diagnóstico de pacientes con sospecha o confirmación de infección por SARS-CoV-2^{31,32}.

La TAC de tórax de alta resolución se considera la prueba de imagen más sensible para detectar COVID-19, pues es de fácil y rápido acceso, y en algunos estudios ha demostrado que puede adelantarse a la positividad del RT-PCR en pacientes con una alta probabilidad clínica de infección por SARS-CoV-2^{33,34}. Una TAC positiva en un paciente con RT-PCR negativo indica la repetición del RT-PCR, por lo que esta técnica de imagen se convierte en una importante herramienta de cribado³⁵.

Patrones tomográficos

Conforme ha existido un avance importante en el conocimiento de las enfermedades virales, unido a las mejoras tecnológicas en las técnicas de imágenes

diagnósticas, se ha demostrado que los datos radiográficos de este tipo de infección —evidenciados en la tomografía de tórax— pueden brindar un acercamiento a la causa viral con base morfológica y de distribución³⁶; como ocurrió en una paciente con sospecha de COVID-19 en quien, tras la TAC realizada (**Figura 1**), se realizó RT-PCR que resultó positivo.

Los hallazgos en la imagen tomográfica de los pacientes con esta enfermedad están caracterizados por la presencia de opacidades en vidrio deslustrado o esmerilado (**Figura 2**), el cual consiste en un aumento ligero de la atenuación pulmonar que permite ver a su través sin llegar a borrar las estructuras vasculares subyacentes. Este es el hallazgo que más predomina, independiente del estadio de la enfermedad, y el que más precozmente aparece³⁷.

El segundo patrón radiológico en la TAC es la consolidación, debido a un aumento de la atenuación pulmonar que borra los vasos y paredes de las vías aéreas. Aparece asociada al vidrio deslustrado (**Figura 3**) en un 44% de los casos y, menos frecuentemente, de forma solitaria, indicando la progresión de la enfermedad³⁸.

Otro de los cambios radiológicos que aparecen es la llamada reticulación periférica por engrosamiento de los *septum* inter e intralobulillares, debido al edema alveolar y la inflamación intersticial aguda, que aumentan con el curso prolongado de la enfermedad³⁸, y favorecen la aparición del llamado patrón de empedrado (**Figura 4**) que se superpone a la opacidad en vidrio deslustrado o esmerilado y representa, igualmente, un signo de progresión de la

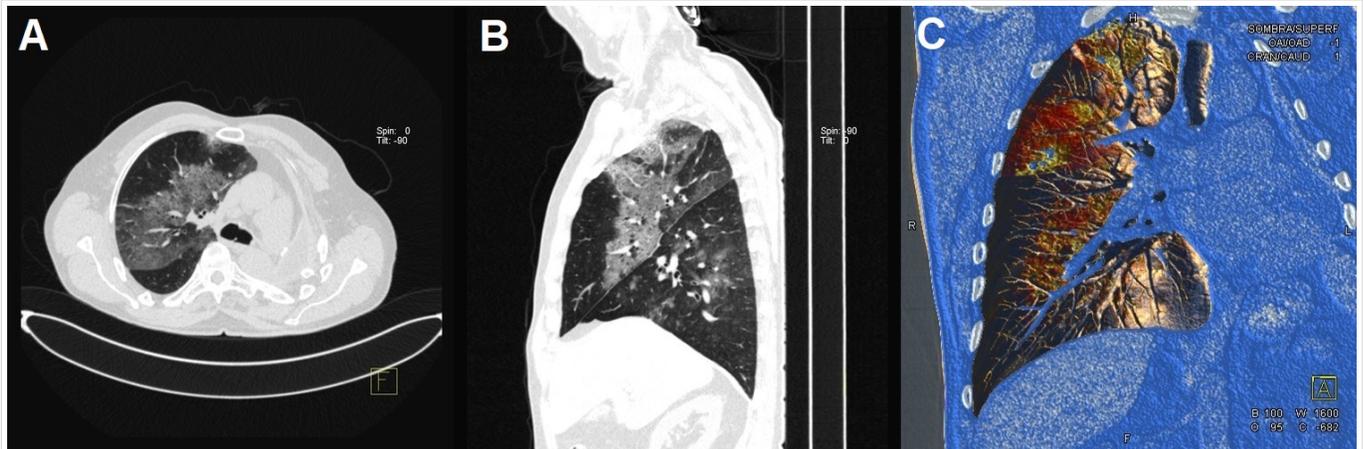


Figura 2. Imágenes tomográficas con técnica de adquisición helicoidal con energía dual (Somaton Definition, SIEMENS, Alemania) de un paciente con neumonectomía izquierda por cáncer de pulmón, sintomático, sospechoso de COVID-19. **A.** Reconstrucción multiplanar (MPR) axial donde se observan opacidades en vidrio deslustrado en lóbulo medio. **B.** MPR lateral derecho donde aparecen opacidades en vidrio deslustrado en región posterior de lóbulo superior y medio predominantemente. **C.** Reconstrucción volumétrica (VRT, del inglés *volume rendering technique*) que muestra microtrombosis asociadas a las zonas de opacidades en vidrio deslustrado.

enfermedad³⁷.

La distribución de estos hallazgos puede ser multifocal, bilateral, de distribución periférica y subpleural³⁹, y pueden existir opacidades unilaterales en vidrio deslustrado principalmente en las fases tempranas⁴⁰. Aunque todos los segmentos pulmonares pueden afectarse, existe predilección por los lóbulos inferiores³⁸.

Está demostrado que las alteraciones pulmonares

detectadas por la TAC en pacientes con COVID-19 están relacionadas con el tiempo transcurrido desde el inicio de los síntomas⁴¹⁻⁴³, pero se ha observado que en los primeros días (del cero al cuarto) las principales alteraciones son las llamadas opacidades en vidrio deslustrado con una distribución uni o bilateral y multifocal, las que pueden tener una morfología redondeada. La TAC puede también resultar negativa en esta fase, sobre todo en los dos prime-



Figura 3. Imágenes tomográficas con técnica de adquisición helicoidal con energía dual (Somaton Definition, SIEMENS, Alemania) de un paciente en estado grave con confirmación de COVID-19 por RT-PCR (*reverse transcription-polymerase chain reaction*). **A.** Reconstrucción volumétrica (VRT, del inglés *volume rendering technique*) anteroposterior que muestra zonas con aspecto de vidrio deslustrado asociado a consolidaciones con distribución difusa en ambos campos pulmonares, con predominio de los segmentos posteriores. **B.** VRT lateral izquierda y **C.** VRT anteroposterior tras la administración de contraste yodado, donde se observan microtrombosis asociadas a las zonas de consolidación y vidrio deslustrado; además, se detectan pequeñas regiones de hemorragia.

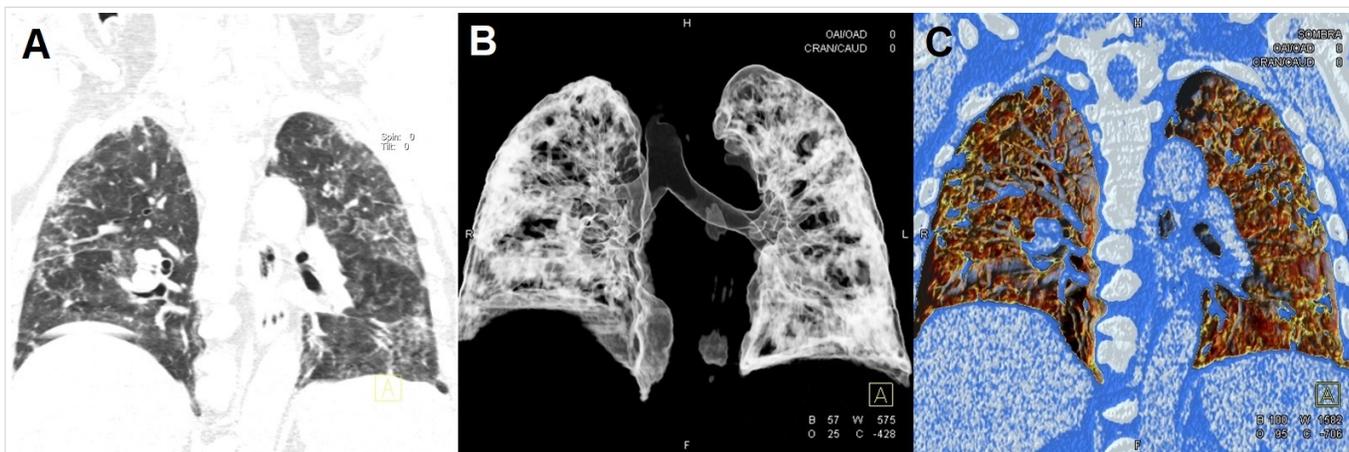


Figura 4. Imágenes tomográficas de reconstrucción volumétrica (VRT, del inglés *volume rendering technique*) anteroposterior con técnica de adquisición helicoidal con energía dual (Somaton Definition, SIEMENS, Alemania) de un paciente en estado crítico con confirmación de COVID-19 por RT-PCR (*reverse transcription-polymerase chain reaction*). **A.** Se observa aspecto de vidrio deslustrado asociado a consolidaciones, y de suelo empedrado (*crazy paving*)*, con distribución difusa en ambos campos pulmonares. **B.** Aparecen imágenes de consolidación en los segmentos distales de las vías aéreas con edemas de distribución difusa. **C.** Con la administración de contraste yodado se aprecian microtrombosis asociadas a las zonas de consolidación y vidrio deslustrado, así como pequeñas regiones de hemorragia.

* Patrón radiológico que se ve en secciones de cortes finos de TAC pulmonar de alta resolución donde se superpone la atenuación en vidrio deslustrado con opacidades difusas a una red de engrosamiento septal intra e interlobulillar, y da un aspecto de figuras poliédricas que se asemejan a los adoquines o empedrados de los pavimentos.

ros días, aunque no es lo más frecuente. Entre los cinco y ocho días, la afectación en vidrio deslustrado progresa en cuanto a su extensión y se hace bilateral difusa, con afectación multilobar. En esta etapa pueden aparecer imágenes de áreas en patrón en empedrado y consolidaciones⁴⁴. En la fase pico, entre los nueve y los trece días, se observa la máxima afectación caracterizada por áreas de vidrio des-

lustrado que se transforman en consolidación. Estas, entonces, la afectación predominante y puede coexistir con broncogramas aéreos, patrón en empedrado y el signo del halo invertido. Por último, después de los 14 días, la reabsorción de las consolidaciones se muestra otra vez como opacidades en vidrio deslustrado (**Figura 5**), que pueden asociarse a dilataciones bronquiales con distorsión sub-

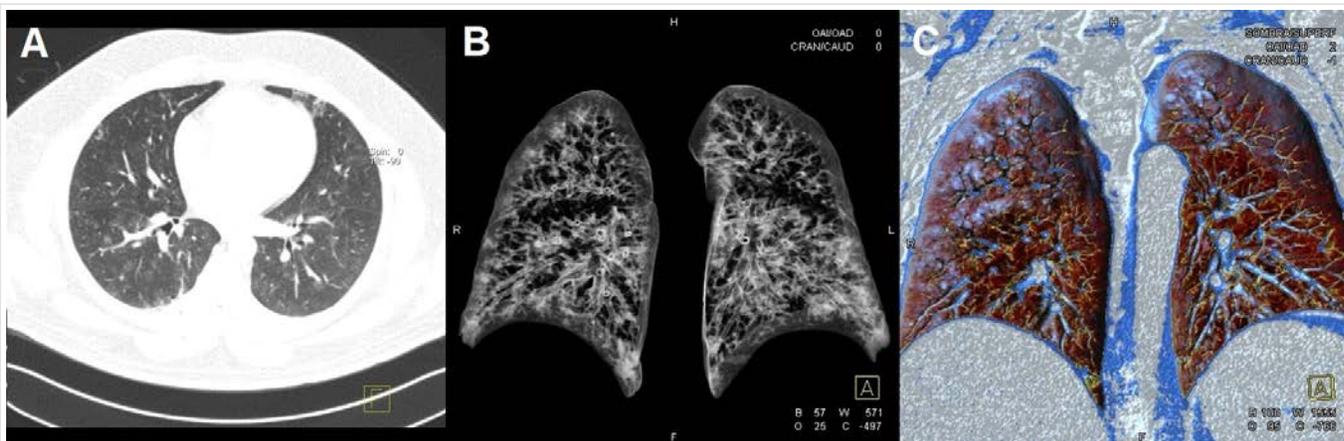


Figura 5. Imágenes tomográficas con técnica de adquisición helicoidal con energía dual (Somaton Definition, SIEMENS, Alemania) de un paciente convaleciente de COVID-19, con necesidad de ingreso en la unidad de terapia intensiva en estado crítico, tras más de dos meses de egresado. **A.** Reconstrucción multiplanar (MPR) axial y **B.** Reconstrucción volumétrica (VRT, del inglés *volume rendering technique*) anteroposterior, donde se observan opacidades en vidrio deslustrado asociado a consolidaciones pequeñas, con distribución difusa en ambos campos pulmonares. **C.** VRT anteroposterior que muestra la presencia de microtrombosis en lechos arteriales distales, asociadas a las zonas de consolidación y vidrio deslustrado.

pleural. También pueden aparecer bandas parenquimatosas y líneas curvas subpleurales. Frecuentemente, la evolución de las lesiones no es sincrónica y aparecen áreas que muestran reabsorción o progresión; cambios que pueden experimentar su resolución a partir de la cuarta semana, según Pan *et al.*⁴⁰, en un promedio de 26 días.

COMENTARIO

Aunque los hallazgos en la imagen tomográfica de los pacientes con COVID-19 no son patognomónicos de esta enfermedad, ayudan considerablemente al diagnóstico, tratamiento, seguimiento y pronóstico. Es importante, por tanto, conocer que existen otras causas de patrón de suelo empedrado o *crazy paving*, entre las que se encuentran⁴⁵:

- Edema pulmonar e insuficiencia cardíaca.
- Neumonías (bacterianas, virales, neumocistosis, por *mycoplasma* y *Mycobacterium tuberculosis*), y neumonía intersticial aguda, eosinofílica o lipóidea.
- Hemorragia pulmonar.
- Síndrome de distrés respiratorio del adulto.
- Neumonitis por radiación.
- Proteinosis alveolar.
- Vasculitis (síndrome Churg-Strauss).
- Tumores (adenocarcinoma mucinoso invasor) y diseminación linfangítica tumoral.
- Sarcoidosis.
- Microlitiasis alveolar.
- Enfermedades ocupacionales (talcosis, asbestosis, beriliosis).

Las bondades de la técnica de energía dual son numerosas. Pontone *et al.*⁴⁶ describen el caso de un paciente con manifestaciones respiratorias y dolor torácico, al cual se le realizan múltiples estudios entre ellos, la angiografía coronaria invasiva, que informó coronarias normales, y al día siguiente —bajo la sospecha de un tromboembolismo pulmonar— se le realizó una angiografía por TAC sincronizada al electrocardiograma y se constataron alteraciones de perfusión por la técnica de realce tardío, caracterizada por zonas hiperdensas en el miocardio ventricular izquierdo, acompañado de alteraciones pulmonares como opacidades en vidrio deslustrado en parches periféricos sin consolidación. Se descartó el tromboembolismo pulmonar y se concluyó el caso como una miocarditis con una neumonía intersticial en fase temprana. Hasta donde se conoce,

este artículo⁴⁶ fue el primero en describir una evaluación cardiopulmonar integral para el diagnóstico de la COVID-19 y sus complicaciones.

En esta enfermedad, las alteraciones parenquimatosas pulmonares y los trastornos de perfusión por anomalías vasculares son detectadas por la técnica tomográfica de energía dual^{7,47,48}. Como sostienen Leonardi *et al.*⁴⁹, en un trabajo donde incluye la TAC en pacientes con infección por SARS-CoV-2, plantean que en este tipo de enfermos con insuficiencia respiratorias aguda (hipoxemia) y conservación de la distensibilidad pulmonar, deben estar relacionados «otros procesos» además del daño alveolar. Su estudio demuestra que la extensión de la enfermedad pulmonar, evaluada mediante un método cuantitativo por TAC, tiene una relación significativa con la gravedad de la enfermedad y puede predecir la necesidad de ventilación mecánica invasiva en pacientes con infección por SARS-CoV-2.

Dentro de los hallazgos que se han encontrado en las imágenes del estudio de perfusión por TAC con energía dual están: perfusión aumentada de las áreas proximales a las zonas de opacidad, existencia de áreas periféricas hipoperfundidas relacionadas con las de opacidad, y la presencia de halos de hiperperfusión que rodea a las áreas de condensación^{47,50,51}.

Shu *et al.*⁵² realizaron TAC de tórax al ingreso a más de 500 pacientes y encontraron opacidades en vidrio deslustrado (50,64%), consolidaciones (5,32%), lesiones nodulares (15,96%), anomalías intersticiales (8,25%) y ausencia de alteraciones de la densidad pulmonar (19,82%); por lo que concluyeron que el hallazgo radiológico tomográfico más común en pacientes con COVID-19 fue la opacidad en vidrio deslustrado, encontrada en más de la mitad de ellos.

Por su parte, Zhu *et al.*⁵³, publicaron en *Journal of Medical Virology* el caso de un paciente con VIH, que tenía fiebre y tos seca de 2 días de evolución, por lo que se planificó para el cribado de SARS-CoV-2 por la alta sospecha de infección. Mientras tanto se indicaron análisis rutinarios de sangre y TAC de tórax, donde se encontraron múltiples opacidades en vidrio esmerilado en ambos campos pulmonares, que sugerían la presencia de neumonía por SARS-CoV-2. Al paciente se le ordenó aislamiento domiciliario y, debido a la escasez de los kits de prueba, la RT-PCR se realizó unos días después y resultó positiva; pero los síntomas habían empeorado y había aparecido disnea, razón por la cual se realizó una TAC de seguimiento, donde se constató un empeoramiento progresivo de las opacidades en vidrio

deslustrado y la aparición de consolidaciones en ambos pulmones.

Cheng *et al.*⁵⁴ proponen el uso de la TAC cuantitativa para evaluar la gravedad de la COVID-19 al ingreso. En su estudio hubo un intervalo de 8 días desde el inicio de los síntomas hasta la realización de la primera TAC, y concluyeron que la TAC cuantitativa tiene la capacidad de evaluar la gravedad de la neumonía por COVID-19 al ingreso. Por su parte, Zhang *et al.*⁵⁵, plantean que la TAC al momento del ingreso permitir evaluar el pronóstico de los pacientes con SARS-CoV-2.

Wang *et al.*⁴² informaron que el 94% de los pacientes tenían alteraciones tomográficas residuales al egreso, después de una mediana de tiempo de 25 días desde el inicio de los síntomas y el alta. Estos hallazgos justifican la realización de este estudio de imagen en el seguimiento a mediano y largo plazo para evaluar el daño pulmonar posterior a la COVID-19, incluida la fibrosis y su impacto en la función pulmonar⁵⁶.

Yuan *et al.*⁵⁷ investigaron las características de 27 pacientes consecutivos con diagnóstico confirmado de COVID-19 y calcularon una puntuación tomográfica que tuvo en cuenta la ubicación, extensión y distribución de cada anomalía radiológica en los pulmones. Los pacientes con mayor puntuación en la TAC, al momento del ingreso, tuvieron mayor mortalidad (37%), así como mayores tasas de consolidación y de frecuencia de broncogramas aéreos, en comparación con los supervivientes. Estos autores demostraron el valor de la TAC para predecir la mortalidad en este tipo de pacientes, con una sensibilidad de 85% y una especificidad de 84%.

Las imágenes de TAC mediante la técnica de energía dual demuestran la participación de la microvasculatura pulmonar en la neumonía por COVID-19 con dos patrones distintivos⁵⁸. En la fase clínica temprana, las lesiones parenquimatosas predominantes son las opacidades difusas en vidrio esmerilado bilateral, que se asocian con un aumento de la perfusión pulmonar en los lóbulos correspondientes; y en una fase más avanzada se observan lesiones parenquimatosas donde predomina la consolidación alveolar bilateral, asociada a una disminución de la perfusión pulmonar en los lóbulos afectados. Según Si-Mohamed *et al.*⁵⁸, la presencia de hipoperfusión pulmonar, en ausencia de embolia pulmonar detectable, es un sello distintivo de COVID-19, que podría responder a la disfunción endotelial y la liberación de citocinas protrombóticas. Asimismo, los autores aseveran que estos hallazgos

tomográficos se pueden usar para comprender mejor la fisiopatología de esta enfermedad y definir nuevos objetivos terapéuticos.

Ai *et al.*⁵⁹, indican que la sensibilidad de la TAC de tórax para sugerir COVID-19 fue del 97%, basado en resultados positivos del RT-PCR, y en pacientes con resultados negativos de RT-PCR, el 75% tenía manifestaciones radiológicas tomográficas sugerentes. Por su parte, Grassi *et al.*⁶⁰, en Italia, concluyen que el uso de un informe estructurado de TAC de tórax, con un lenguaje estandarizado, permitió identificar que las características radiológicas cardinales de la infección por COVID-19 eran la opacidad bilateral en vidrio esmerilado, con localización periférica y multifocal, y la consolidación bilateral con distribución periférica y segmentaria.

La detección de las alteraciones radiológicas presentes en los pacientes con COVID-19, mediante las técnicas tomográficas actuales, se han vinculado fuertemente a los protocolos de estudio de este tipo de paciente. La TAC con energía dual tiene un papel muy importante en el diagnóstico, seguimiento clínico, toma de decisiones y en la predicción de complicaciones; además de ser de gran utilidad para el seguimiento, por su capacidad de valorar las secuelas de la enfermedad y su repercusión sobre la calidad de vida de los pacientes que la padecieron.

BIBLIOGRAFÍA

1. Lu H, Stratton CW, Tang YW. Outbreak of pneumonia of unknown etiology in Wuhan, China: The mystery and the miracle. *J Med Virol.* 2020;92(4):401-2. [DOI]
2. Hui DS, I Azhar E, Madani TA, Ntoumi F, Kock R, Dar O, *et al.* The continuing 2019-nCoV epidemic threat of novel coronaviruses to global health-The latest 2019 novel coronavirus outbreak in Wuhan, China. *Int J Infect Dis.* 2020;91:264-6. [DOI]
3. Huang C, Wang Y, Li X, Ren L, Zhao J, Hu Y, *et al.* Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet.* 2020;395(10223):497-506. [DOI]
4. World Health Organization. Clinical management of severe acute respiratory infection when novel coronavirus (2019-nCoV) infection is suspected: interim guidance. [Internet]. Ginebra: World Health Organization; 2020 [citado 2 Feb 2021]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/330893>
5. Zhu N, Zhang D, Wang W, Li X, Yang B, Song J, *et*

- al.* A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. *N Engl J Med.* 2020;382(8):727-33. [DOI]
6. Song F, Shi N, Shan F, Zhang Z, Shen J, Lu H, *et al.* Emerging 2019 Novel Coronavirus (2019-nCoV) Pneumonia. *Radiology.* 2020;295(1):210-7. [DOI]
 7. Zhou F, Yu T, Du R, Fan G, Liu Y, Liu Z, *et al.* Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *Lancet.* 2020;395(10229):1054-62. [DOI]
 8. Cui J, Li F, Shi ZL. Origin and evolution of pathogenic coronaviruses. *Nat Rev Microbiol.* 2019;17(3):181-92. [DOI]
 9. Lai CC, Shih TP, Ko WC, Tang HJ, Hsueh PR. Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and coronavirus disease-2019 (COVID-19): The epidemic and the challenges. *Int J Antimicrob Agents* [Internet]. 2020 [citado 5 Feb 2021];55(3):105924. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2020.105924>
 10. World Health Organization. Laboratory testing for coronavirus disease 2019 (COVID-19) in suspected human cases: interim guidance. [Internet]. Ginebra: World Health Organization; 2020 [citado 5 Feb 2021]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331329>
 11. Mahase E. China coronavirus: WHO declares international emergency as death toll exceeds 200. *BMJ* [Internet]. 2020 [citado 6 Feb 2021];368:m408. Disponible en: <https://doi.org/10.1136/bmj.m408>
 12. Zhou P, Yang XL, Wang XG, Hu B, Zhang L, Zhang W, *et al.* A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature.* 2020;579(7798):270-3. [DOI]
 13. Cummings MJ, Baldwin MR, Abrams D, Jacobson SD, Meyer BJ, Balough EM, *et al.* Epidemiology, clinical course, and outcomes of critically ill adults with COVID-19 in New York City: a prospective cohort study. *Lancet.* 2020;395(10239):1763-70. [DOI]
 14. McIntosh K. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): Clinical features. En: Hirsch MS, Bloom A, eds. *Coronavirus disease 2019 (COVID-19): Epidemiology, virology, and prevention.* Waltham, Mass: UpToDate; 2020.
 15. Wu Z, McGoogan JM. Characteristics of and Important Lessons From the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak in China: Summary of a Report of 72 314 Cases From the Chinese Center for Disease Control and Prevention. *JAMA.* 2020;323(13):1239-42. [DOI]
 16. Blankstein R. The impact of the COVID-19 pandemic on cardiac CT. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2020;14(3):209-10. [DOI]
 17. Akhmerov A, Marbán E. COVID-19 and the Heart. *Circ Res.* 2020;126(10):1443-55. [DOI]
 18. Ni W, Yang X, Liu J, Bao J, Li R, Xu Y, *et al.* Acute Myocardial Injury at Hospital Admission Is Associated With All-Cause Mortality in COVID-19. *J Am Coll Cardiol.* 2020;76(1):124-5. [DOI]
 19. Huang L, Zhao P, Tang D, Zhu T, Han R, Zhan C, *et al.* Cardiac Involvement in Patients Recovered From COVID-2019 Identified Using Magnetic Resonance Imaging. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2020;13(11):2330-9. [DOI]
 20. Revzin MV, Raza S, Srivastava NC, Warshawsky R, D'Agostino C, Malhotra A, *et al.* Multisystem Imaging Manifestations of COVID-19, Part 2: From Cardiac Complications to Pediatric Manifestations. *Radiographics.* 2020;40(7):1866-92. [DOI]
 21. European Society for Cardiology. ESC Guidance for the Diagnosis and Management of CV Disease during the COVID-19 Pandemic [Internet]. Education: COVID-19 and Cardiology; 2020 [citado 7 Feb 2021]. Disponible en: <https://www.escardio.org/Education/COVID-19-and-Cardiology/ESC-COVID-19-Guidance>
 22. Ferrari A, Bertolaccini L, Solli P, Di Salvia PO, Scaradozzi D. Digital chest tomosynthesis: the 2017 updated review of an emerging application. *Ann Transl Med* [Internet]. 2018 [citado 7 Feb 2021];6(5):91. Disponible en: <https://doi.org/10.21037/atm.2017.08.18>
 23. Grosso M, Priotto R, Ghirardo D, Talenti A, Roberto E, Bertolaccini L, *et al.* Comparison of digital tomosynthesis and computed tomography for lung nodule detection in SOS screening program. *Radiol Med.* 2017;122(8):568-74. [DOI]
 24. Choo JY, Lee KY, Yu A, Kim JH, Lee SH, Choi JW, *et al.* A comparison of digital tomosynthesis and chest radiography in evaluating airway lesions using computed tomography as a reference. *Eur Radiol.* 2016;26(9):3147-54. [DOI]
 25. Kim EY, Bista AB, Kim T, Park SY, Park KJ, Kang DK, *et al.* The advantage of digital tomosynthesis for pulmonary nodule detection concerning influence of nodule location and size: a phantom study. *Clin Radiol* [Internet]. 2017 [citado 8 Feb 2021];72(9):796.e1-e8. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.crad.2017.03.022>
 26. Dobbins JT, McAdams HP, Sabol JM, Chakraborty DP, Kazerooni EA, Reddy GP, *et al.* Multi-Insti-

- tutional Evaluation of Digital Tomosynthesis, Dual-Energy Radiography, and Conventional Chest Radiography for the Detection and Management of Pulmonary Nodules. *Radiology*. 2017;282(1):236-50. [DOI]
27. Li Y, Xia L. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): Role of Chest CT in Diagnosis and Management. *AJR Am J Roentgenol*. 2020;214(6):1280-6. [DOI]
28. Xiong Y, Sun D, Liu Y, Fan Y, Zhao L, Li X, *et al*. Clinical and High-Resolution CT Features of the COVID-19 Infection: Comparison of the Initial and Follow-up Changes. *Invest Radiol*. 2020;55(6):332-9. [DOI]
29. Johnson TR, Krauss B, Sedlmair M, Grasruck M, Bruder H, Morhard D, *et al*. Material differentiation by dual energy CT: initial experience. *Eur Radiol*. 2007;17(6):1510-7. [DOI]
30. Schmidt B, Bredenhoeller C, Flohr T. Dual Source CT Technology. En: Hofmann S, eds. *Dual Source CT Imaging*. Germany: Springer; 2008. p.19-33.
31. Calvo I, SantaCruz-Calvo S, Aranzana MG, Mármol P, Luque JÁ, Peral I, *et al*. Tomografía Digital y COVID-19: Un avance en la valoración de opacidades pulmonares. *Arch Bronconeumol*. 2020;56(11):761-3. [DOI]
32. Ridge CA, Desai SR, Jeyin N, Mahon C, Lothar DL, Mirsadraee S, *et al*. Dual-Energy CT Pulmonary Angiography (DECTPA) Quantifies Vasculopathy in Severe COVID-19 Pneumonia. *Radiol Cardiothorac Imaging* [Internet]. 2020 [citado 10 Feb 2021];2(5):e200428. Disponible en: <https://doi.org/10.1148/ryct.2020200428>
33. Fang Y, Zhang H, Xie J, Lin M, Ying L, Pang P, *et al*. Sensitivity of Chest CT for COVID-19: Comparison to RT-PCR. *Radiology*. 2020;296(2):E115-7. [DOI]
34. Simpson S, Kay FU, Abbara S, Bhalla S, Chung JH, Chung M, *et al*. Radiological Society of North America Expert Consensus Statement on Reporting Chest CT Findings Related to COVID-19. Endorsed by the Society of Thoracic Radiology, the American College of Radiology, and RSNA. *Radiol Cardiothorac Imaging* [Internet]. 2020 [citado 12 Feb 2021];2(2):e200152. Disponible en: <https://doi.org/10.1148/ryct.2020200152>
35. Xie X, Zhong Z, Zhao W, Zheng C, Wang F, Liu J. Chest CT for Typical Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pneumonia: Relationship to Negative RT-PCR Testing. *Radiology*. 2020;296(2):E41-5. [DOI]
36. Koo HJ, Lim S, Choe J, Choi SH, Sung H, Do KH. Radiographic and CT Features of Viral Pneumonia. *Radiographics*. 2018;38(3):719-39. [DOI]
37. Ojha V, Mani A, Pandey NN, Sharma S, Kumar S. CT in coronavirus disease 2019 (COVID-19): a systematic review of chest CT findings in 4410 adult patients. *Eur Radiol*. 2020;30(11):6129-38. [DOI]
38. Bernheim A, Mei X, Huang M, Yang Y, Fayad ZA, Zhang N, *et al*. Chest CT. findings in coronavirus disease 2019 (COVID-19): Relationship to duration of infection. *Radiology* [Internet]. 2020 [citado 13 Feb 2021];295(3):200463. Disponible en: <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200463>
39. Pan Y, Guan H, Zhou S, Wang Y, Li Q, Zhu T, *et al*. Initial CT findings and temporal changes in patients with the novel coronavirus pneumonia (2019-nCoV): a study of 63 patients in Wuhan, China. *Eur Radiol*. 2020;30(6):3306-9. [DOI]
40. Pan F, Ye T, Sun P, Gui S, Liang B, Li L, *et al*. Time Course of Lung Changes at Chest CT during Recovery from Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Radiology*. 2020;295(3):715-21. [DOI]
41. Wu J, Wu X, Zeng W, Guo D, Fang Z, Chen L, *et al*. Chest CT Findings in Patients With Coronavirus Disease 2019 and Its Relationship With Clinical Features. *Invest Radiol*. 2020;55(5):257-61. [DOI]
42. Wang Y, Dong C, Hu Y, Li C, Ren Q, Zhang X, *et al*. Temporal Changes of CT Findings in 90 Patients with COVID-19 Pneumonia: A Longitudinal Study. *Radiology*. 2020;296(2):E55-E64. [DOI]
43. Prokop M, Everdingen W, Rees Vellinga T, Quarles Ufford H, Stöger L, Beenen L, *et al*. CO-RADS: A Categorical CT Assessment Scheme for Patients Suspected of Having COVID-19-Definition and Evaluation. *Radiology*. 2020;296(2):E97-E104. [DOI]
44. Salehi S, Abedi A, Balakrishnan S, Gholamreza-zanezhad A. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): A Systematic Review of Imaging Findings in 919 Patients. *AJR Am J Roentgenol*. 2020;215(1):87-93. [DOI]
45. Molina CO, Duarte N, Mikulic H. Presentación tomográfica inusual, con crazy-paving, en insuficiencia cardíaca. *Rev Amer Med Respiratoria*. 2016;16(2):172-4.
46. Pontone G, Baggiano A, Conte E, Teruzzi G, Cosentino N, Campodonico J, *et al*. "Quadruple Rule-Out" With Computed Tomography in a COVID-19 Patient With Equivocal Acute Coronary Syndrome Presentation. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2020;13(8):1854-6. [DOI]
47. Lang M, Som A, Mendoza DP, Flores EJ, Reid N, Carey D, *et al*. Hypoxaemia related to COVID-19: vascular and perfusion abnormalities on dual-

- energy CT. *Lancet Infect Dis.* 2020;20(12):1365-6. [DOI]
48. Ganti S, Kok SSX, Aftab S, Halagatti SV, Wong SBS, Uppaluri AS. Spectrum of lung perfusion changes on dual-energy CT in COVID-19: incremental benefit to conventional CT. *Emerg Radiol.* 2021;28: 527-31. [DOI]
 49. Leonardi A, Scipione R, Alfieri G, Petrillo R, Dolciami M, Ciccarelli F, et al. Role of computed tomography in predicting critical disease in patients with covid-19 pneumonia: A retrospective study using a semiautomatic quantitative method. *Eur J Radiol* [Internet]. 2020 [citado 15 Feb 2021];130: 109202. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109202>
 50. Gattinoni L, Coppola S, Cressoni M, Busana M, Rossi S, Chiumello D. COVID-19 Does Not Lead to a "Typical" Acute Respiratory Distress Syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* 2020;201(10):1299-300. [DOI]
 51. Klok FA, Kruip MJHA, van der Meer NJM, Arbous MS, Gommers DAMPJ, Kant KM, et al. Incidence of thrombotic complications in critically ill ICU patients with COVID-19. *Thromb Res.* 2020;191: 145-7. [DOI]
 52. Shu L, Wang X, Li M, Chen X, Ji N, Shi L, et al. Clinical characteristics of moderate COVID-19 patients aggravation in Wuhan Stadium Cabin Hospital: A 571 cases of retrospective cohort study. *J Med Virol.* 2021;93(2):1133-40. [DOI]
 53. Zhu F, Cao Y, Xu S, Zhou M. Co-infection of SARS-CoV-2 and HIV in a patient in Wuhan city, China. *J Med Virol.* 2020;92(6):529-30. [DOI]
 54. Cheng Z, Qin L, Cao Q, Dai J, Pan A, Yang W, et al. Quantitative computed tomography of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pneumonia. *Radiol Infect Dis.* 2020;7(2):55-61. [DOI]
 55. Zhang R, Ouyang H, Fu L, Wang S, Han J, Huang K, et al. CT features of SARS-CoV-2 pneumonia according to clinical presentation: a retrospective analysis of 120 consecutive patients from Wuhan city. *Eur Radiol.* 2020;30(8):4417-26. [DOI]
 56. Hosseiny M, Kooraki S, Gholamrezanezhad A, Reddy S, Myers L. Radiology Perspective of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): Lessons From Severe Acute Respiratory Syndrome and Middle East Respiratory Syndrome. *AJR Am J Roentgenol.* 2020;214(5):1078-82. [DOI]
 57. Yuan M, Yin W, Tao Z, Tan W, Hu Y. Association of radiologic findings with mortality of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *PLoS One* [Internet]. 2020 [citado 16 Feb 2021];15(3):e0230548. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230548>
 58. Si-Mohamed S, Chebib N, Sigovan M, Zumbihl L, Turquier S, Boccalini S, et al. In vivo demonstration of pulmonary microvascular involvement in COVID-19 using dual-energy computed tomography. *Eur Respir J* [Internet]. 2020 [citado 17 Feb 2021];56(4):2002608. Disponible en: <https://doi.org/10.1183/13993003.02608-2020>
 59. Ai T, Yang Z, Hou H, Zhan C, Chen C, Lv W, et al. Correlation of Chest CT and RT-PCR Testing for Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in China: A Report of 1014 Cases. *Radiology.* 2020;296(2):E32-E40. [DOI]
 60. Grassi R, Fusco R, Belfiore MP, Montanelli A, Patelli G, Urraro F, et al. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) in Italy: features on chest computed tomography using a structured report system. *Sci Rep* [Internet]. 2020 [citado 17 Feb 2021];10(1): 17236. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73788-5>