



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Susana Fernández Fernández ¹, Milagros Martí De Gracia¹, Silvia Ossaba Vélez², María Luz Parra Gordo, Áurea Díez Tascón, Kevin Stephen Acosta Velásquez, Rebeca Gil Vallano, Fernando Sánchez Montoro

¹Hospital La Paz, Madrid



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

1. Objetivo Docente

Validar la utilidad de la inteligencia artificial (IA) como herramienta de ayuda en los informes de las radiografías de tórax de la urgencia.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

2. Material y Método

Estudio piloto observacional sobre **132 pacientes** que acuden a urgencias con **clínica leve/moderada de infección por COVID-19**, desde Abril hasta Junio del 2021.

Se valora la presencia o ausencia en las radiografías de tórax de **ocho variables categóricas**:

- Atelectasias
- Calcificaciones
- Derrame pleural
- Nódulos pulmonares
- Consolidaciones
- Fibrosis
- Cardiomegalia
- Mediastino

Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

La **sensibilidad y especificidad** de la IA para la detección de cada una de las ocho variables, se analiza mediante tablas cruzadas entre el informe del radiólogo, tomado como *gold standard*, y el de la IA.

Mediante el **índice kappa** se estudia la concordancia entre ambos métodos y se considera:

Muy buena	Índice Kappa: 0,81-1
Buena	Índice Kappa: 0,61-0,8
Moderada	Índice Kappa: 0,41-0,6
Débil	Índice Kappa: 0,21-0,4
Muy débil	Índice Kappa: 0-0,2

Tabla 1: Valores del índice Kappa

Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Se analiza también la **probabilidad de acierto de la IA**, definida como la probabilidad de que las variables detectadas por la IA, estén realmente presentes en la radiografía de tórax. Esta probabilidad viene dada por el propio programa y se expone según un mapa de colores, desde el azul hasta el rojo.



Fig 1: Mapa de calor del programa de la IA.

La correlación de colores con la probabilidad esperada de acierto es la siguiente (Tabla 2):

Rojo / rojo-amarillo	Probabilidad de acierto alta
Amarillo-verde	Probabilidad de acierto media
Verde-azul/ Azul	Probabilidad de acierto baja

Tabla 2: Correlación entre probabilidad de acierto y colores.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Se estudia también la **sensibilidad y especificidad** de la IA cuando detecta cualquier variable con una alta probabilidad de acierto (color rojo, rojo-amarillo). Se analiza mediante tablas cruzadas entre el informe del radiólogo, tomado como *gold standard*, y el de la IA.

Se considera que cuando la IA no detecta ninguna variable, es una probabilidad de acierto alta de que esa variable realmente no esté en la radiografía de tórax.

Por otro lado, se realiza un análisis descriptivo y se calcula el porcentaje de casos en los que la IA detecta cualquier variable con una baja probabilidad de acierto (azul, azul-verde) y coincide con el informe del radiólogo.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

En la imagen proporcionada por la IA, cuando detecta dos o más variables en una misma localización anatómica, únicamente queda representada de forma numérica, la probabilidad de acierto más alta entre las distintas variables detectadas en esa misma localización (figura 2).

La identificación de cada una de las ocho variables así como su localización anatómica se muestra en una tabla donde se desglosa la probabilidad de acierto de cada una de ellas (figura 2).

Por último cuando la IA señala en la radiografía de tórax la presencia de una variable en más de una localización anatómica y con distinta probabilidad de acierto, sólo se recoge en la tabla el porcentaje de probabilidad mayor (figura 5).



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

3. Resultados

Los valores obtenidos de **sensibilidad y especificidad superior** de la IA, para cada una de las variables son:

	Atelectasia	Calcificaciones	Derrame pleural	Fibrosis
Sensibilidad	100%	100%	100%	100%
Especificidad	96%	99%	99%	97%

	Nódulos pulmonares	Consolidaciones	Cardiomegalia	Mediastino
Sensibilidad	100%	95%	100%	100%
Especificidad	90%	85%	100%	98%

Tabla 3: Valores de sensibilidad y especificidad para cada variable

Se alcanza una **sensibilidad del 100%** y una **especificidad superior al 90%** en todas las variables, salvo en la detección de consolidaciones.

Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

El grado de concordancia es bueno y muy bueno para la mayoría de las variables, salvo en la valoración de nódulos pulmonares, que es débil (Tabla 4)

Atelectasia	Índice de Kappa: 0,668	Concordancia buena
Calcificación	Índice de Kappa: 0,937	Concordancia muy buena
Cardiomegalia	Índice de Kappa: 1	Concordancia muy buena
Consolidación	Índice de Kappa: 0,644	Concordancia buena
Fibrosis	Índice de Kappa: 0,656	Concordancia buena
Mediastino	Índice de Kappa: 0,660	Concordancia buena
Nódulos pulmonares	Índice de Kappa: 0,349	Concordancia débil
Derrame pleural	Índice de Kappa: 0,796	Concordancia buena

Tabla 4: Grado de concordancia entre IA y el informe radiológico para cada variable



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Los valores obtenidos de **sensibilidad y especificidad** para la IA cuando detecta cualquier variable con una alta probabilidad de acierto son los siguientes:

Sensibilidad	100%
Especificidad	98%

Tabla 5: Sensibilidad y Especificidad de la IA con alta probabilidad de acierto

Por lo tanto cuando la probabilidad de acierto es alta, la sensibilidad y especificidad de la IA son muy elevadas.



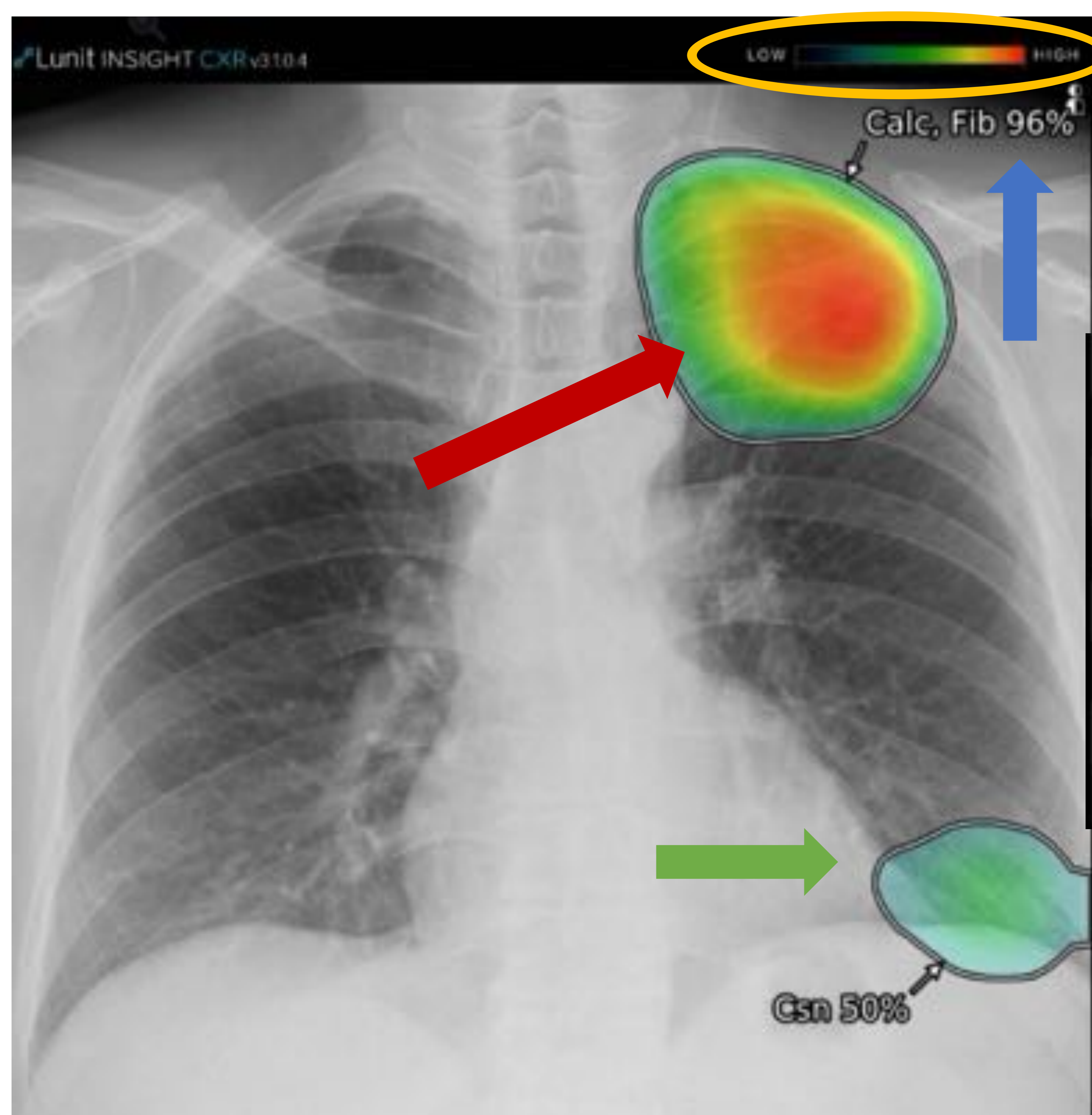
Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Por el contrario, el porcentaje de casos obtenidos en los que la IA detecta cualquier variable con una baja probabilidad y coincide con el informe radiológico, es solo del **25%**.

Por lo tanto cuanto más alta sea la probabilidad de acierto más alta será la especificidad del programa.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax



Atl	Atelectasis	Low	-
Calc	Calcification	96%	Left Upper zone
Cm	Cardiomegaly	Low	-
Csn	Consolidation	50%	Left Lower zone
Fib	Fibrosis	93%	Left Upper zone
MW	Mediastinal Widening	Low	-
Ndl	Nodule	Low	-
PEf	Pleural effusion	Low	-

Fig 2: Radiografía de tórax post-procesada por la IA y su tabla. Se identifica el mapa de color de la probabilidad de acierto de la IA (círculo amarillo).

La IA señala la posible presencia de calcificación y fibrosis en campo pulmonar superior izquierdo (flecha roja), con una alta probabilidad (color rojo-amarillo). En este caso detecta dos posibles variables (calcificación y fibrosis) y únicamente está representado el porcentaje de aquella con una probabilidad de acierto mayor (96%), flecha azul.

Señala también la posibilidad de consolidación en campo pulmonar inferior izquierdo, con una probabilidad baja, del 50%, representada en este caso con un color azul-verde (flecha verde).

En la tabla generada por la IA se indica la probabilidad y la localización de cada una de las tres variables identificadas por la IA. Se observa que la probabilidad de que el paciente presente una calcificación es del 96% y en cambio, la probabilidad de fibrosis es del 93%, por tanto es ligeramente superior la probabilidad de acierto para la calcificación (96%), valor que coincide con el generado en la radiografía de tórax de la IA (círculo y flecha azul).

Las cinco variables restantes, quedan recogidas en la tabla, no obstante no han sido identificadas por la IA, lo que está representado como una probabilidad de presencia en la radiografía de tórax baja ("low").



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

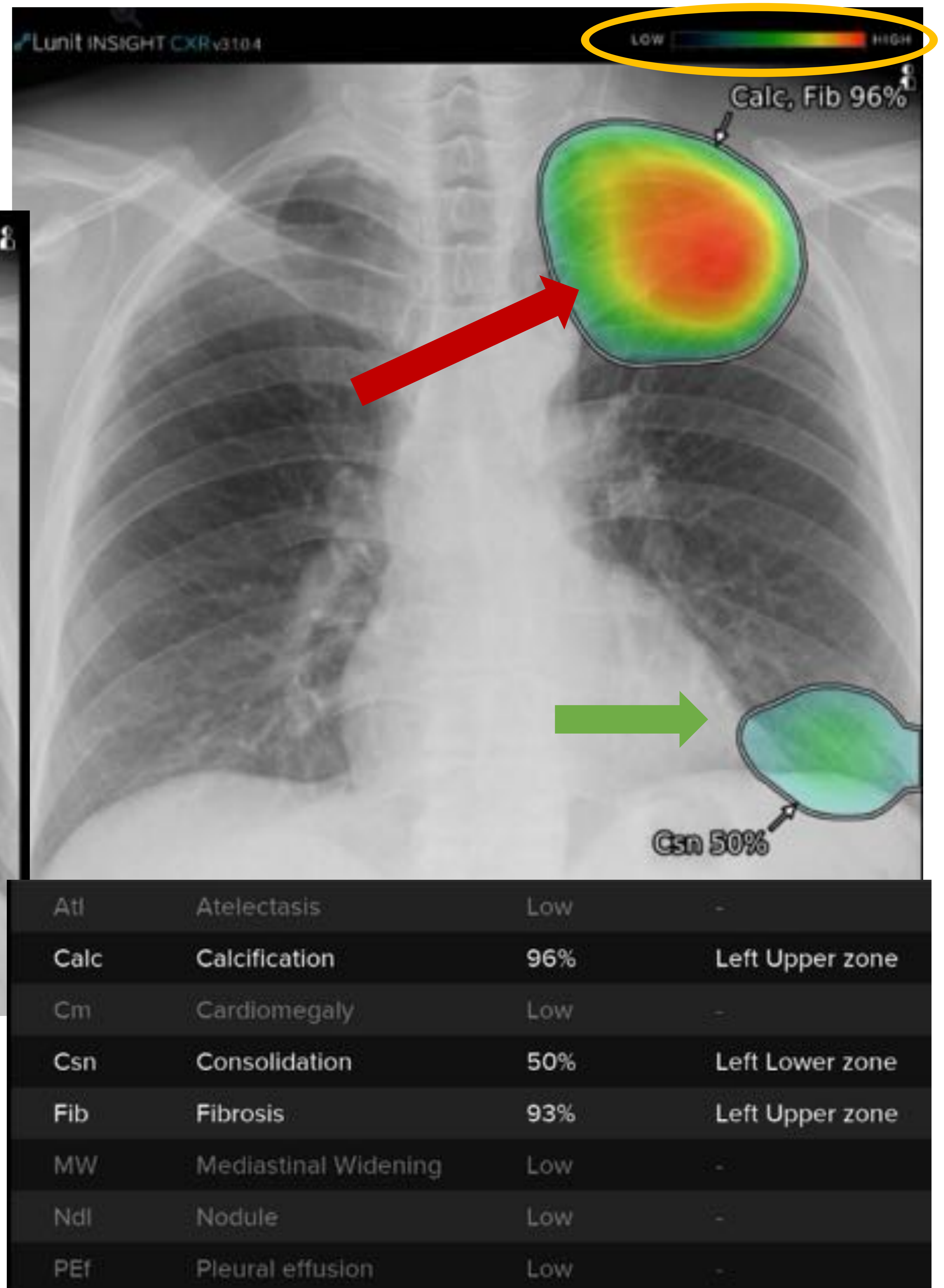
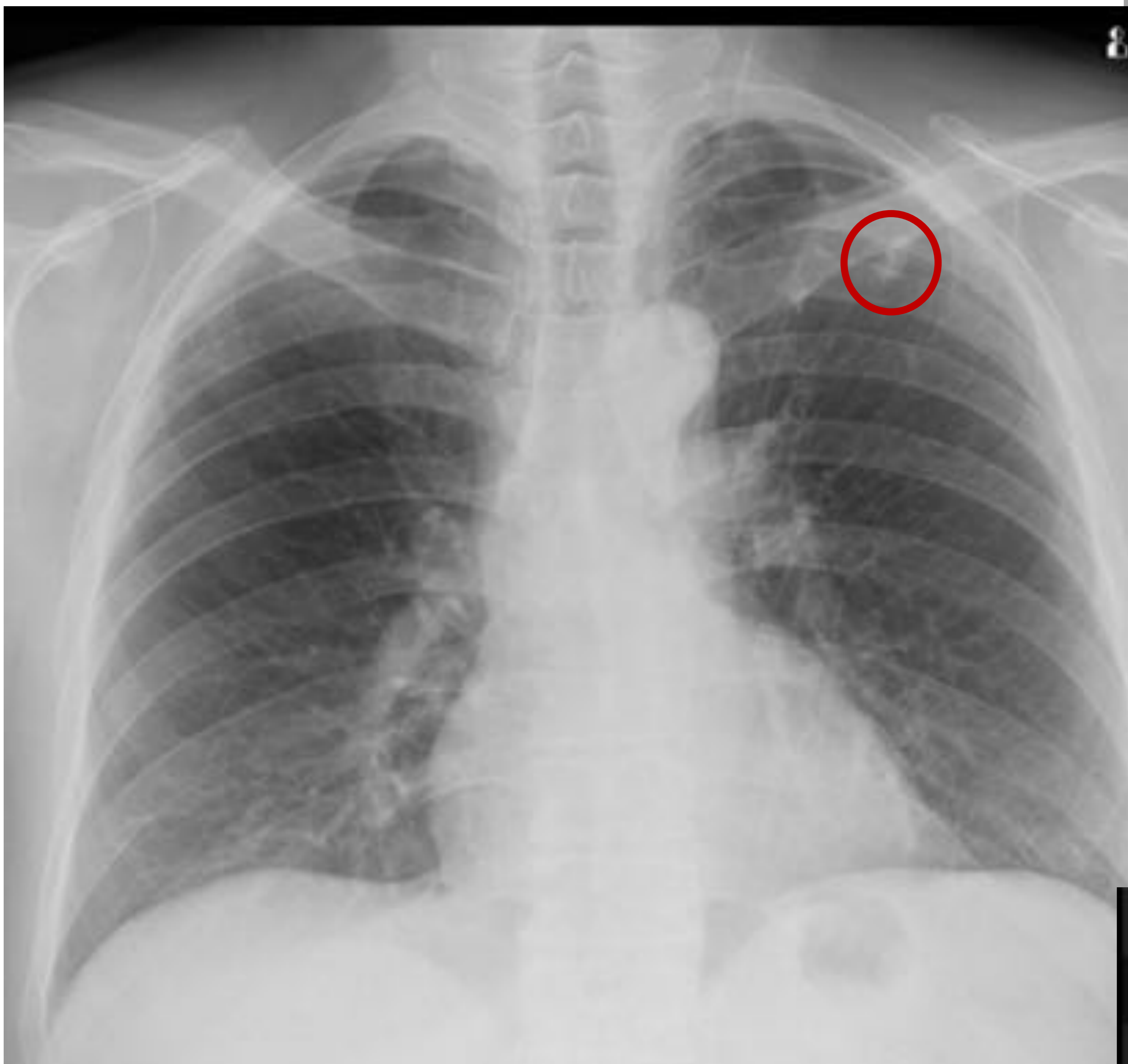


Fig 3: Radiografía de tórax (A) y radiografía de tórax post-procesada por la IA y su tabla, del mismo paciente que en la figura anterior.

En la imagen A, se observa un posible granuloma calcificado (círculo rojo) en campo pulmonar superior derecho. No se identifican otras alteraciones significativas.

En este caso se observa que la calcificación señalada por la IA con una alta probabilidad de acierto, sí estaba presente en el informe del radiólogo, no obstante, la consolidación identificada con una probabilidad de acierto baja, no estaba presente.

Por el contrario, se evidencia que la fibrosis, reconocida por la IA con una alta probabilidad de acierto (93%), realmente no estaba presente en el informe del radiólogo.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

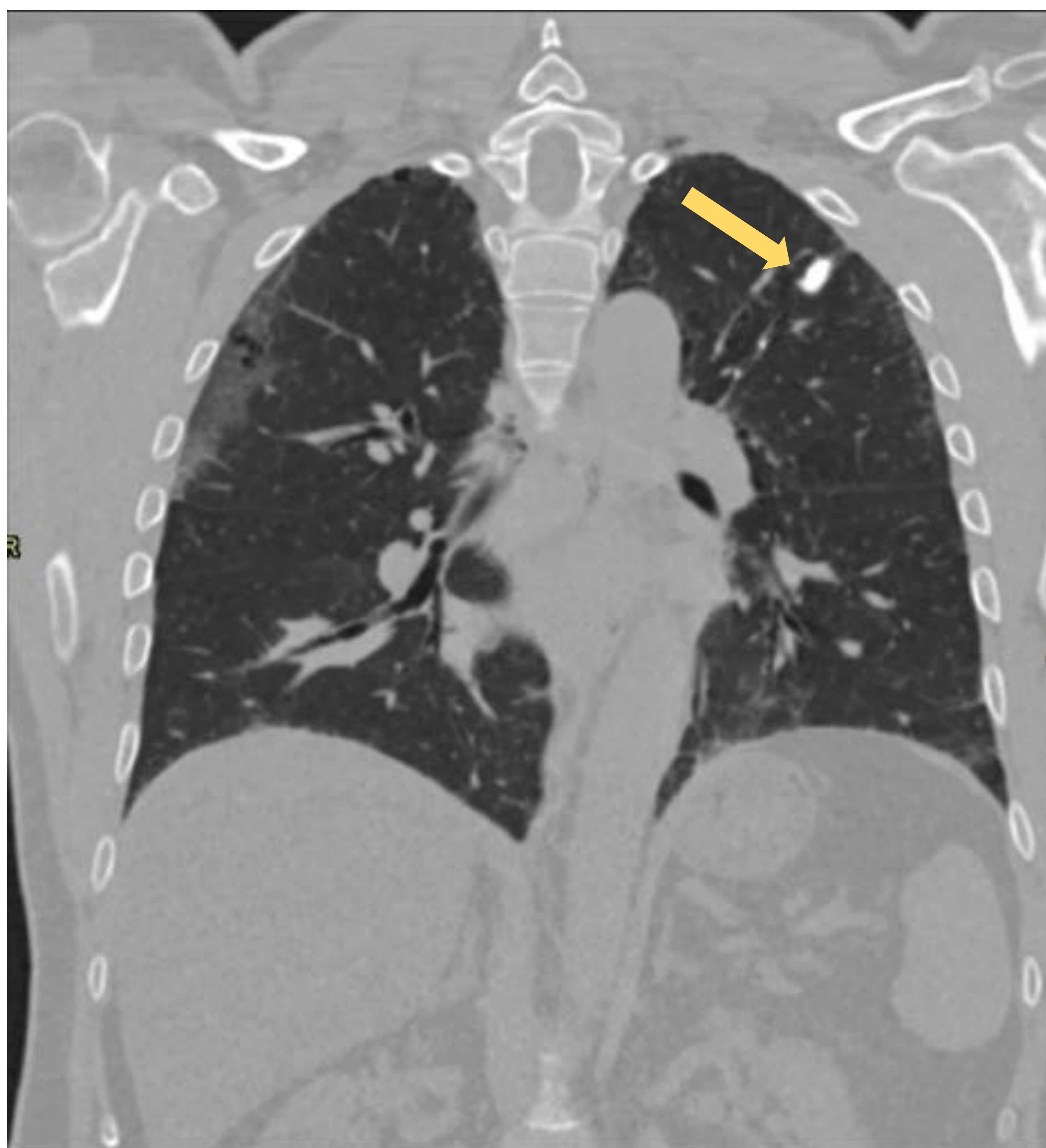


Fig 4: Corte coronal de TC de tórax del mismo paciente que la figura anterior. Se observa la presencia de calcificación en lóbulo superior izquierdo, como indicaba la IA con una alta probabilidad de acierto, así como la ausencia de consolidación en lóbulo inferior izquierdo y de fibrosis en lóbulo superior izquierdo.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

3.1. Casos

A continuación se mostrarán diferentes casos de los recogidos a lo largo de los tres meses analizados.

En cada caso estará incluido en primer lugar, la radiografía de tórax PA (imagen A) que se realizaron los distintos pacientes que vinieron a urgencias con sospecha de infección por COVID-19. En el pie de imagen se encuentra el informe radiológico en el que se describen los diferentes hallazgos encontrados.

Posteriormente se observará la radiografía de tórax post-procesada por la IA (imagen B) y la tabla generada, pudiendo comparar los aciertos o fallos del programa.

En algunos casos están incluidos también cortes del TC de tórax que se realizó posteriormente, lo que permite corroborar los hallazgos de la radiografía simple.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Caso 1

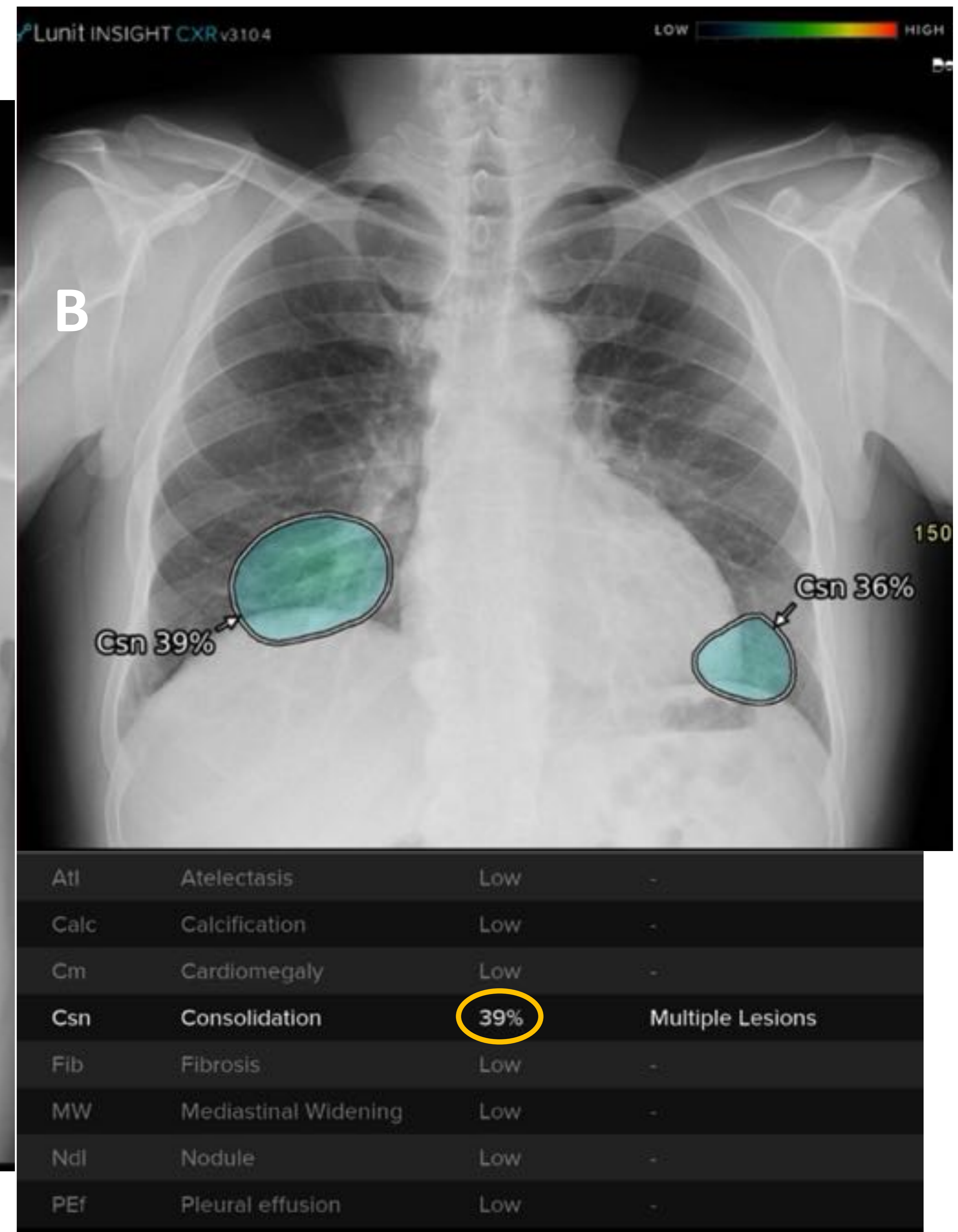
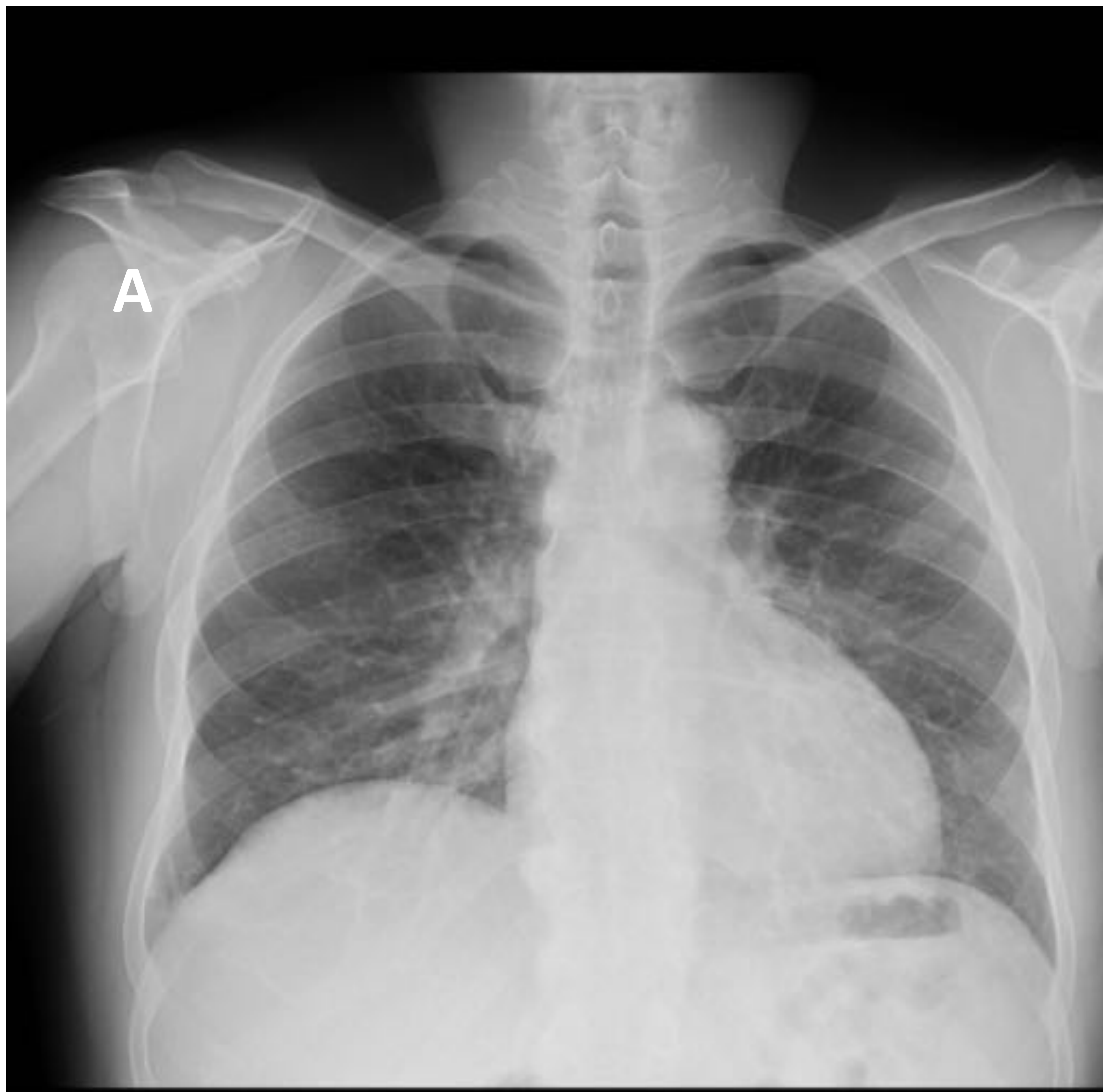


Fig 5. En la imagen A no se identifican alteraciones significativas en el parénquima pulmonar. En la imagen B, la IA detecta con una baja probabilidad (39% en el lado derecho y 36% en el izquierdo, color azul), consolidaciones en ambos campos pulmonares inferiores. En la tabla únicamente se indica el porcentaje mayor, 39%, que correspondería con la posible consolidación en campo pulmonar inferior derecho, círculo amarillo. En este caso las consolidaciones detectadas son un falso positivo de la IA.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Caso 2

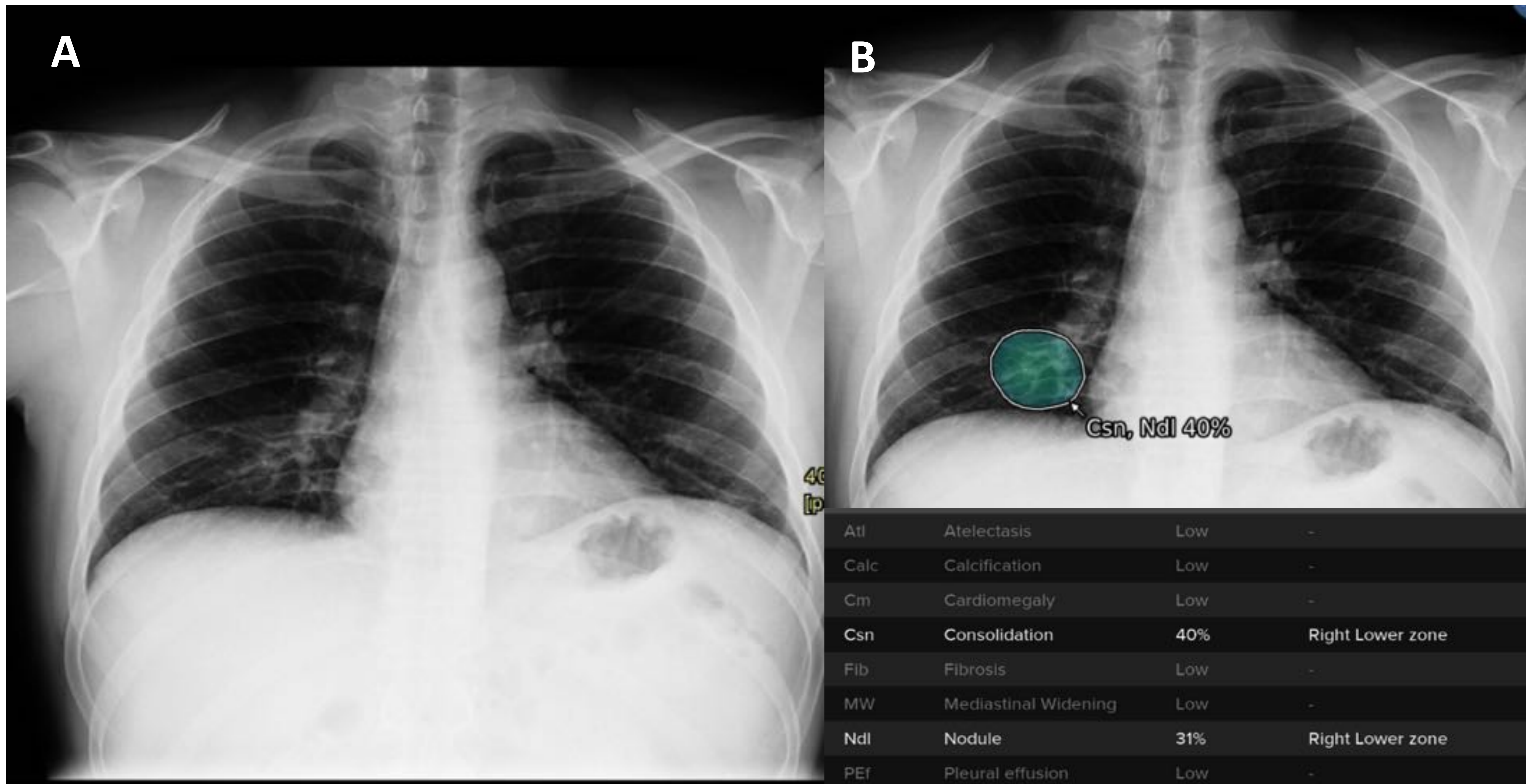


Fig 6. En la imagen A no se identifican alteraciones significativas en el parénquima pulmonar. No derrame pleural.

En la imagen B, se observa que la IA detecta de color azul (baja probabilidad) una posible consolidación y nódulo pulmonar en campo pulmonar inferior derecho. En la tabla queda reflejada una probabilidad de acierto de un 40% para la consolidación y de un 31% para el nódulo pulmonar.

En este caso la IA no coincide con el informe radiológico, debido a que la consolidación y el nódulo detectado, son falsos positivos.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Caso 3

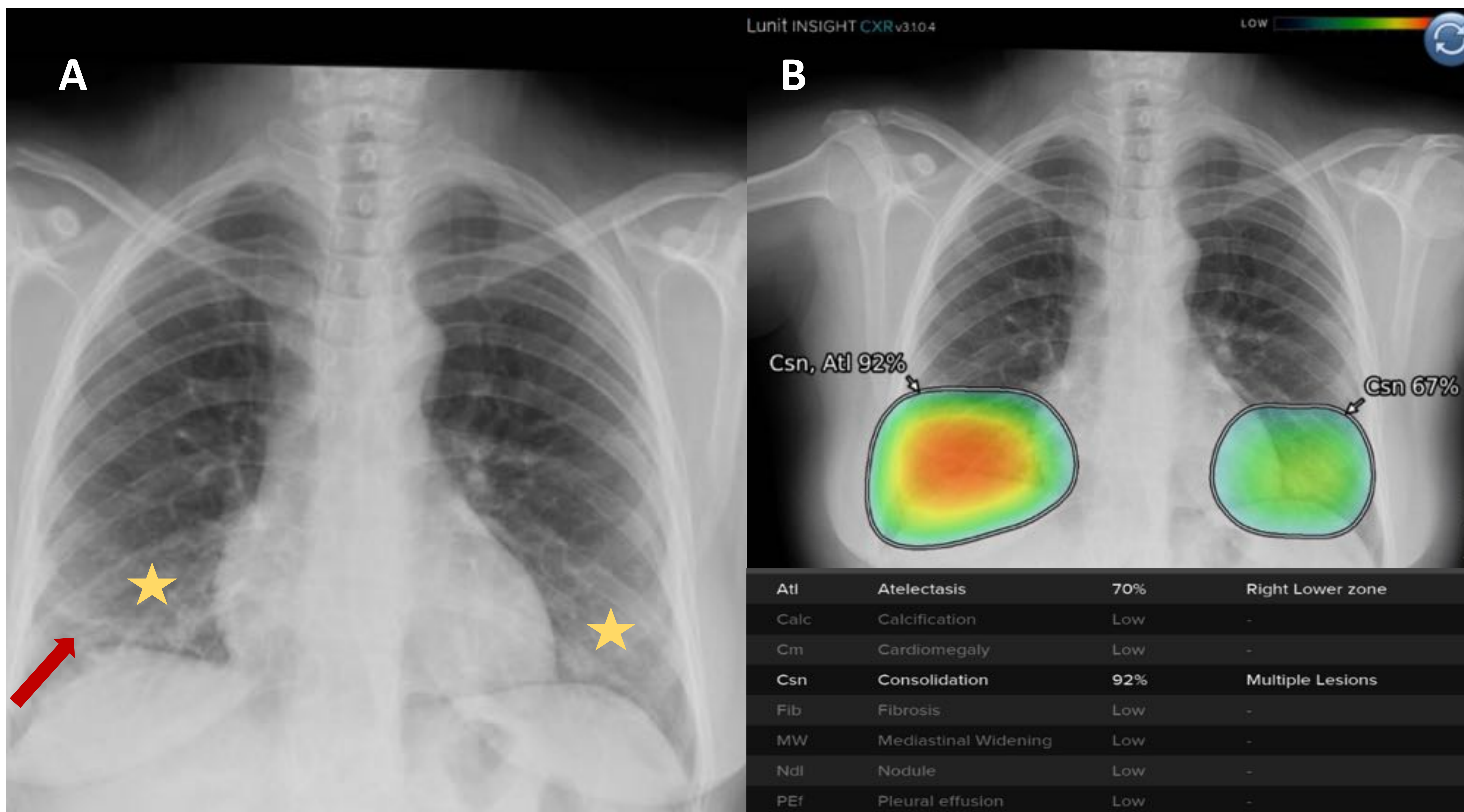


Fig 7. En la imagen A, se identifican aumentos de densidad en ambos campos pulmonares inferiores (estrellas amarillas), en relación con consolidaciones, que dado el contexto epidemiológico podrían ser secundarias a infección por COVID-19. Se evidencia también alguna imagen de morfología lineal en campo pulmonar inferior derecho, sugestivo de atelectasias laminares (flecha roja).

En la imagen B, la IA detecta una consolidación en campo pulmonar inferior derecho, con una alta probabilidad de acierto (color rojo-amarillo, 92%) y con una probabilidad de acierto media (67%, color de verde-amarillo), la consolidación en el hemitórax izquierdo.

Señala también las posibles atelectasias laminares en campo pulmonar inferior derecho, con una probabilidad del 70% según la tabla.

En este caso la presencia de consolidaciones y las atelectasias detectadas por la IA, son verdaderos positivos.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Caso 4

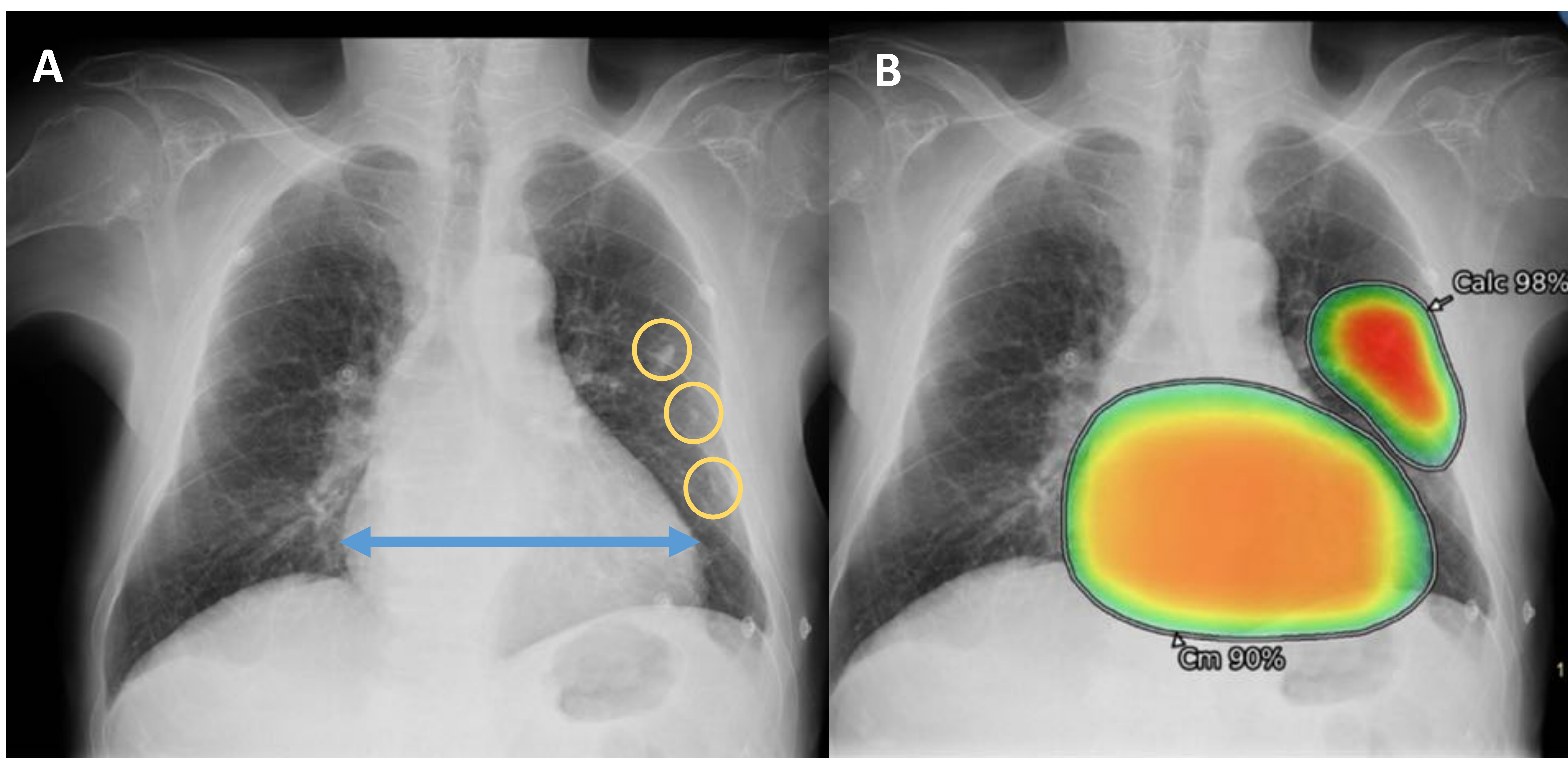


Fig 8. En la radiografía de tórax se observa aumento del índice cardiotorácico (doble flecha azul), que podría ser secundario a cardiomegalia. Además se evidencia en campo pulmonar izquierdo, al menos tres imágenes (círculos amarillos) de morfología ovalada, de alta densidad, que podrían ser sugestivas de granulomas calcificados.

Estas dos alteraciones radiológicas son identificadas por la IA, que reconoce ambas variables con una probabilidad de acierto alta, del 98% y señalada de color rojo, para las calcificaciones y de 90% y de color rojo-amarillo para la cardiomegalia.

La cardiomegalia y las calcificaciones detectadas por la IA, son dos verdaderos positivos en este caso. Las seis variables restantes, son verdaderos negativos.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Caso 4

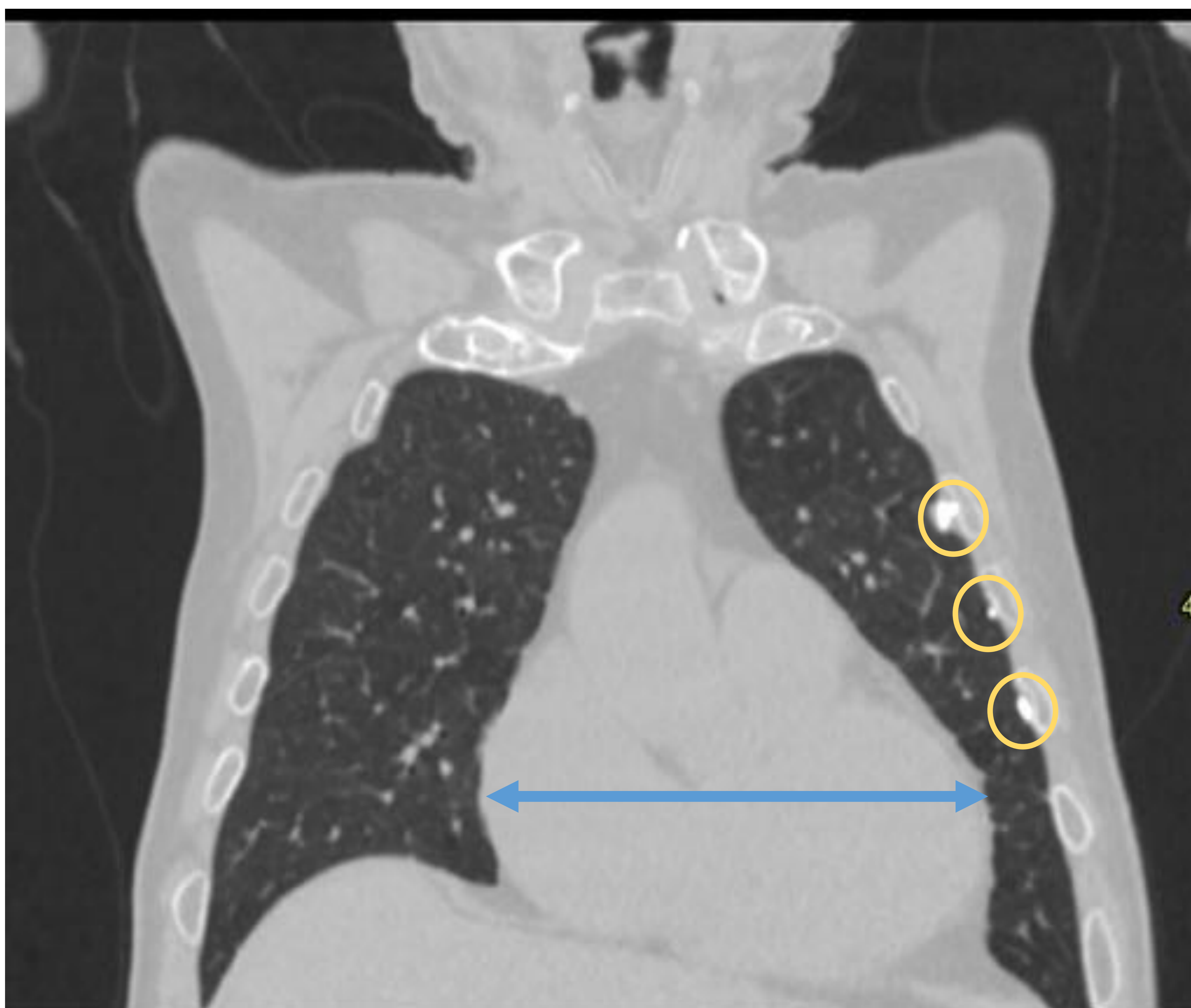


Fig 9: TC pulmonar coronal del mismo paciente que en la figura 8. Se confirma la presencia de tres granulomas calcificados en lóbulo superior izquierdo (círculos amarillos) así como la presencia de cardiomegalia (doble flecha azul).



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Caso 5

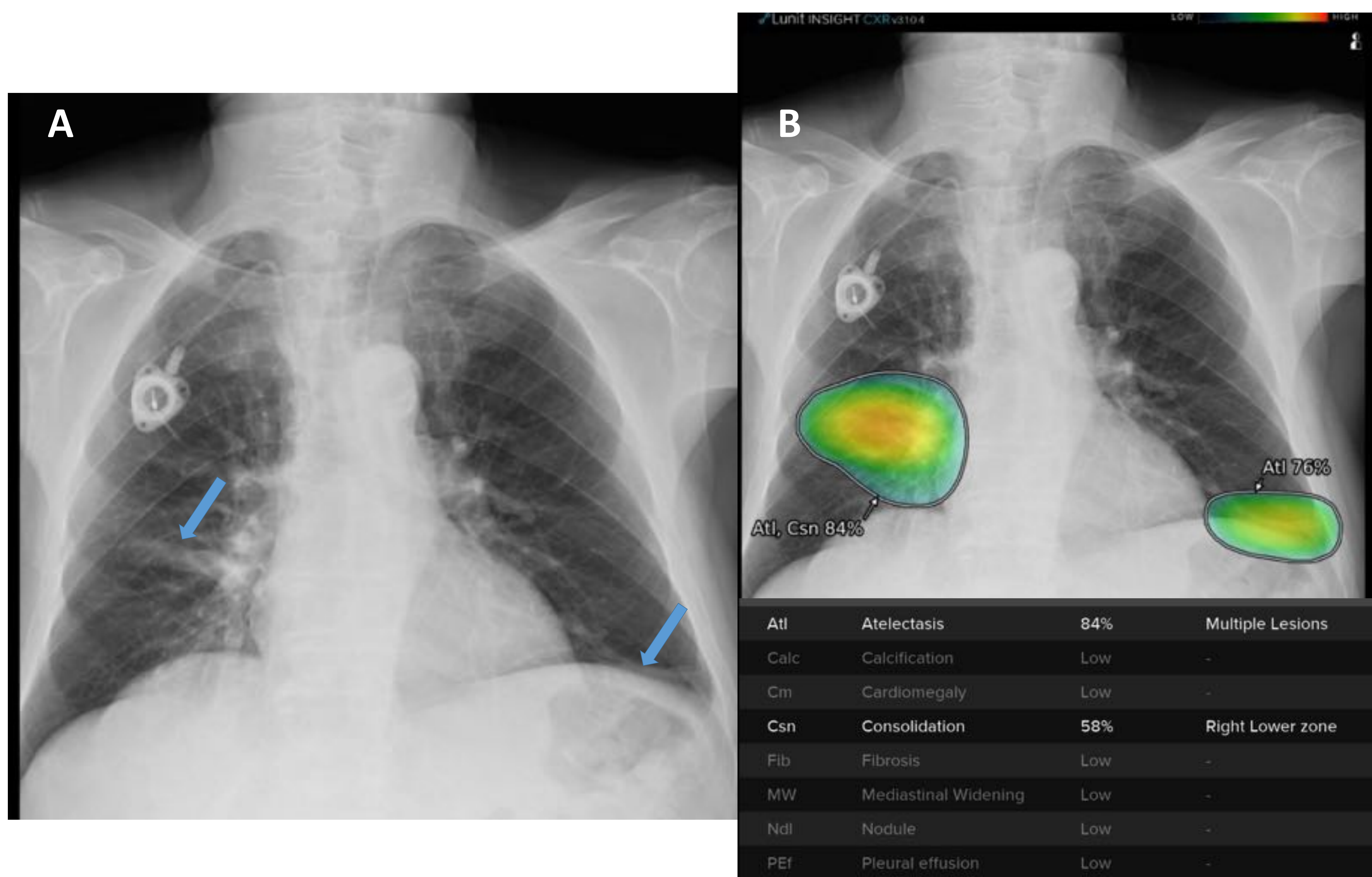


Fig 10. En la imagen A, se identifican atelectasias laminares (flechas azules) en base pulmonar izquierda y campo pulmonar medio derecho. Se observa además signos de redistribución vascular, que podrían estar en relación con Insuficiencia cardiaca. Port-a-cath con extremo distal en vena cava superior.

La IA detecta las posibles atelectasias, con una probabilidad alta y media en lado derecho e izquierdo respectivamente (color rojo-amarillo y 84% en el lado derecho y color amarillo-verde y 76% en el izquierdo). Señala también la presencia de una posible consolidación en pulmón derecho, con una probabilidad del 58%.

Las atelectasias detectadas por la IA son verdaderos positivos, mientras que la consolidación en pulmón derecho es un falso positivo.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Caso 6

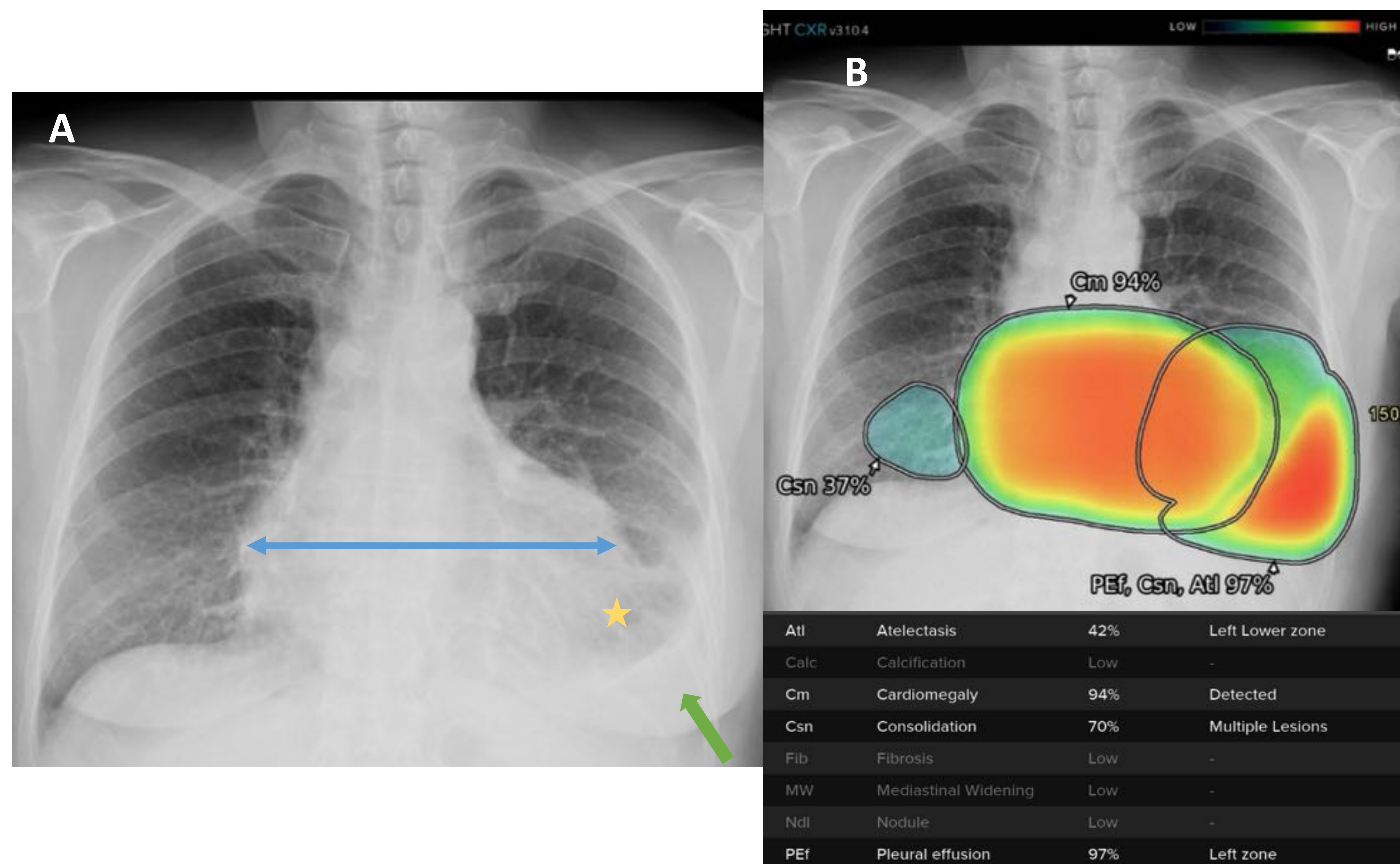


Fig 11. En la imagen A, se observa aumento del índice cardioriorácico (doble flecha azul), derrame pleural izquierdo (flecha verde) y una posible atelectasia pasiva asociada (estrella amarilla). No se observan consolidaciones ni otras alteraciones significativas.

En la imagen B, la IA detecta con una alta probabilidad de acierto (94% y de color rojo) una posible cardiomegalia así como el derrame pleural izquierdo (97% y de color rojo).

Señala también, la posibilidad de atelectasia pero con una baja probabilidad (42% según la tabla).

Por último, identifica posibles consolidaciones en ambas bases pulmonares, con una baja probabilidad en el lado derecho (37% y de color azul) y una probabilidad del 70% según la tabla, en el lado izquierdo.

En esta caso la cardiomegalia, el derrame pleural y la atelectasia detectadas por la IA, son verdaderos positivos. Por el contrario, la consolidaciones señaladas, son falsos positivos.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Caso 6

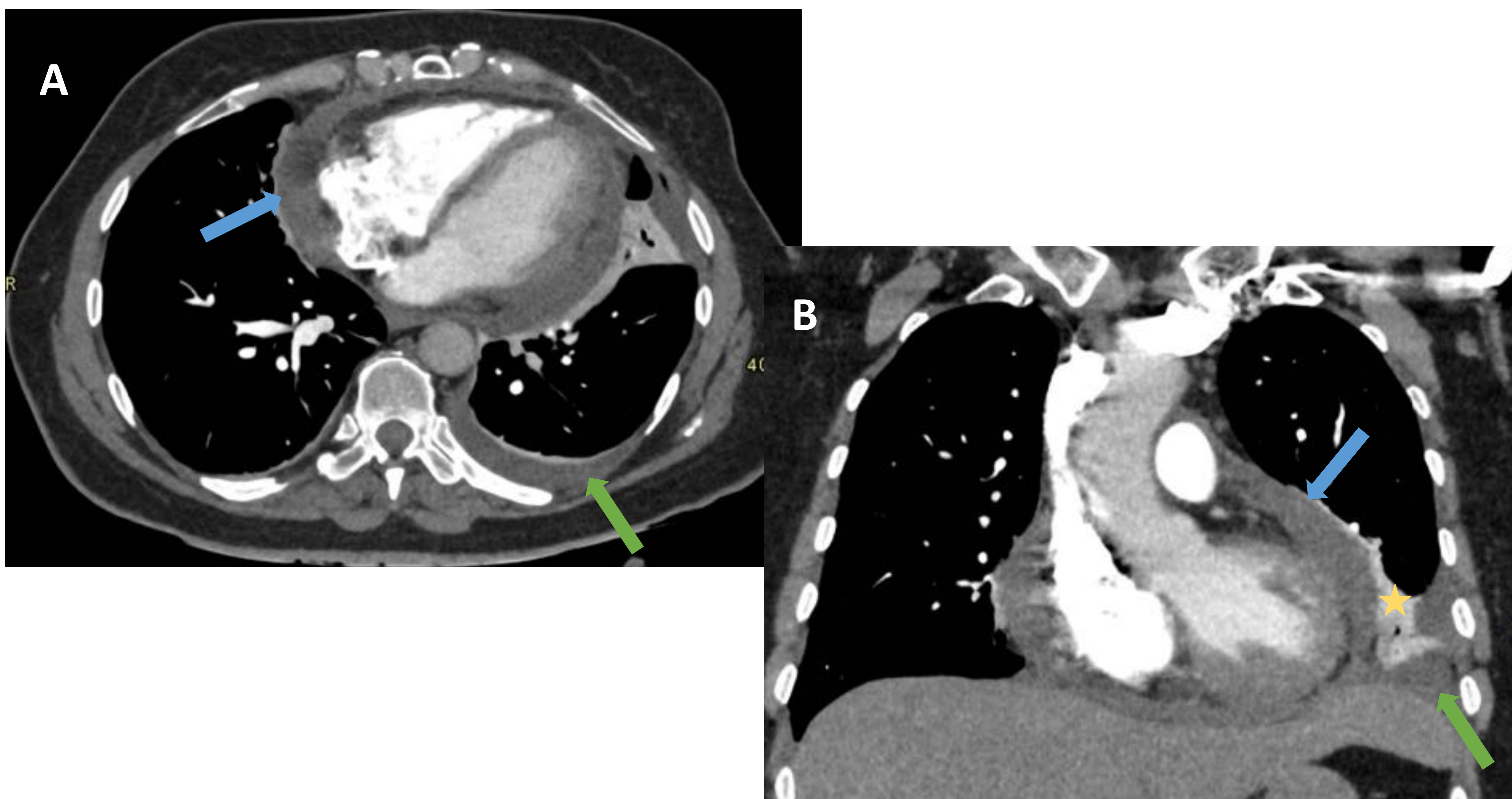


Fig 12: Corte axial (A) y coronal (B) de TC de tórax del mismo paciente que la figura anterior. Se demuestra un aumento del índice cardiororácico a expensas fundamentalmente de derrame pericárdico (flecha azul). Se confirma también la presencia de leve derrame pleural izquierdo (flecha verde) junto con atelectasia pasiva asociada (estrella amarilla). No se observan consolidaciones.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Caso 7

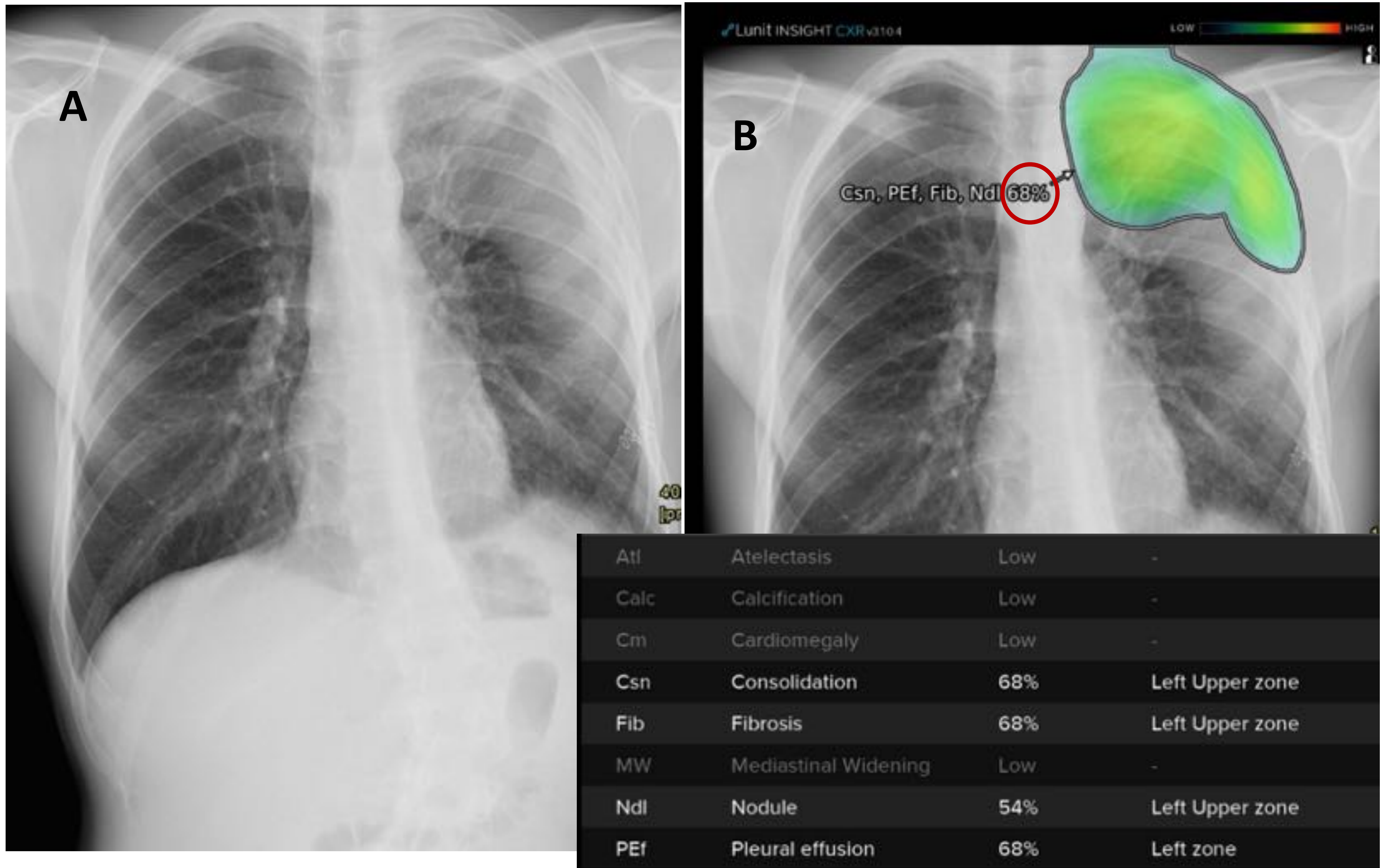


Fig 13. Se identifica un aumento de densidad en campo pulmonar superior izquierdo, sugestivo de derrame pleural loculado sin poder descartar consolidación subyacente. Se observan también tractos fibrocicatriciales en vértice pulmonar izquierdo sugestivos de fibrosis.

La IA detecta en campo pulmonar superior izquierdo, de color amarillo-verde (probabilidad media) cuatro posibles variables (consolidación, nódulo pulmonar, fibrosis y derrame pleural) quedando indicada únicamente la probabilidad más alta de las cuatro, 68% (círculo rojo). En la tabla se observa que las variables que presentan una probabilidad de acierto mayor (68%) son la consolidación, derrame pleural y fibrosis, mientras que el nódulo pulmonar tiene una probabilidad de acierto baja, del 54%.

La consolidación, derrame pleural y fibrosis detectados son verdaderos positivos, no obstante la identificación por parte de la IA de nódulos, es un falso positivo.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Caso 7

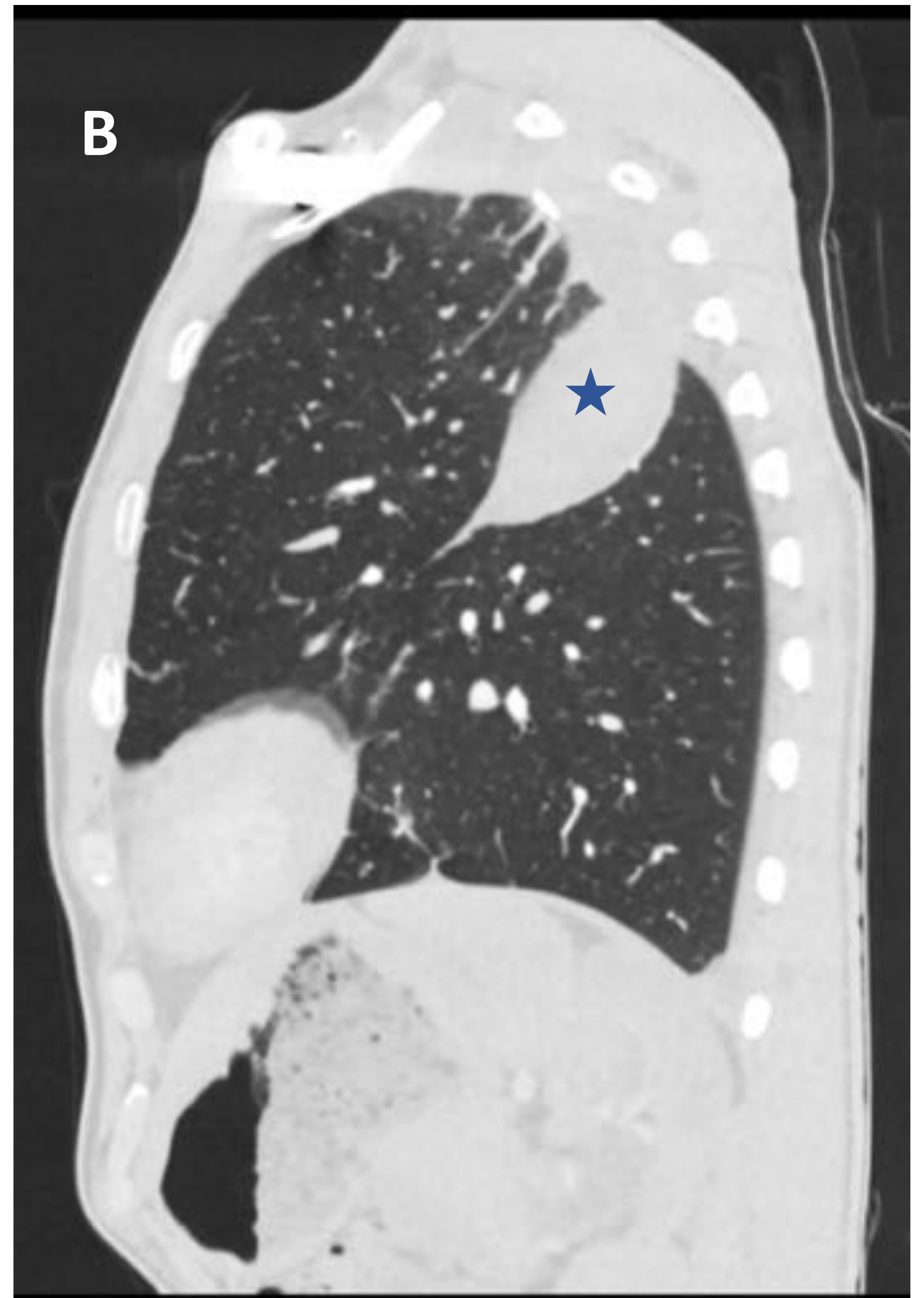
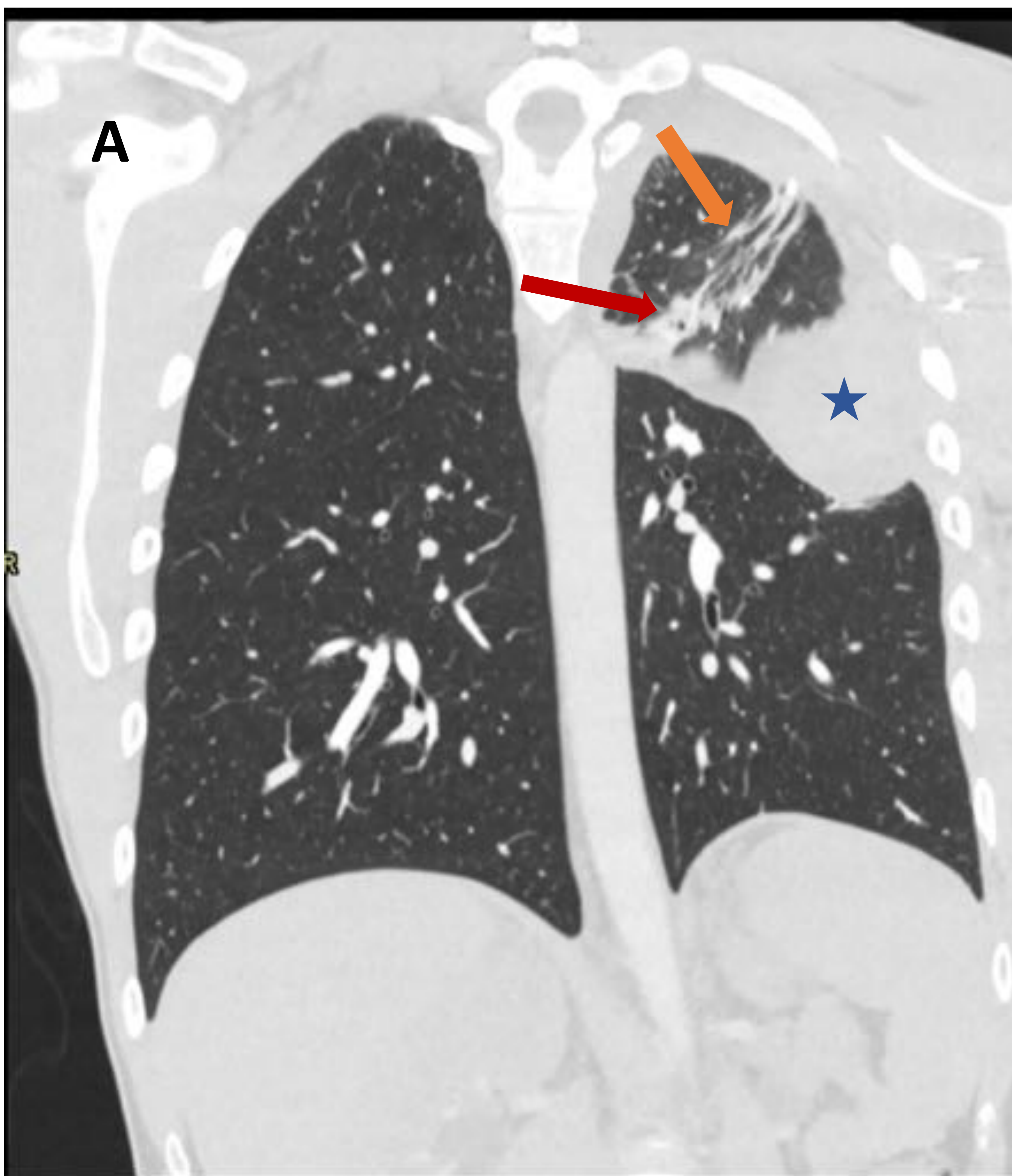


Fig 14: TC pulmonar coronal (A) y sagital (B), del mismo paciente que en la figura 13. Se confirma la presencia de derrame pleural loculado en lóbulo superior izquierdo (estrella azul), así como tractos fibro-cicatriciales (flecha naranja) y posible consolidación asociada en lóbulo superior izquierdo (flecha roja). No se evidencian nódulos pulmonares.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Caso 8

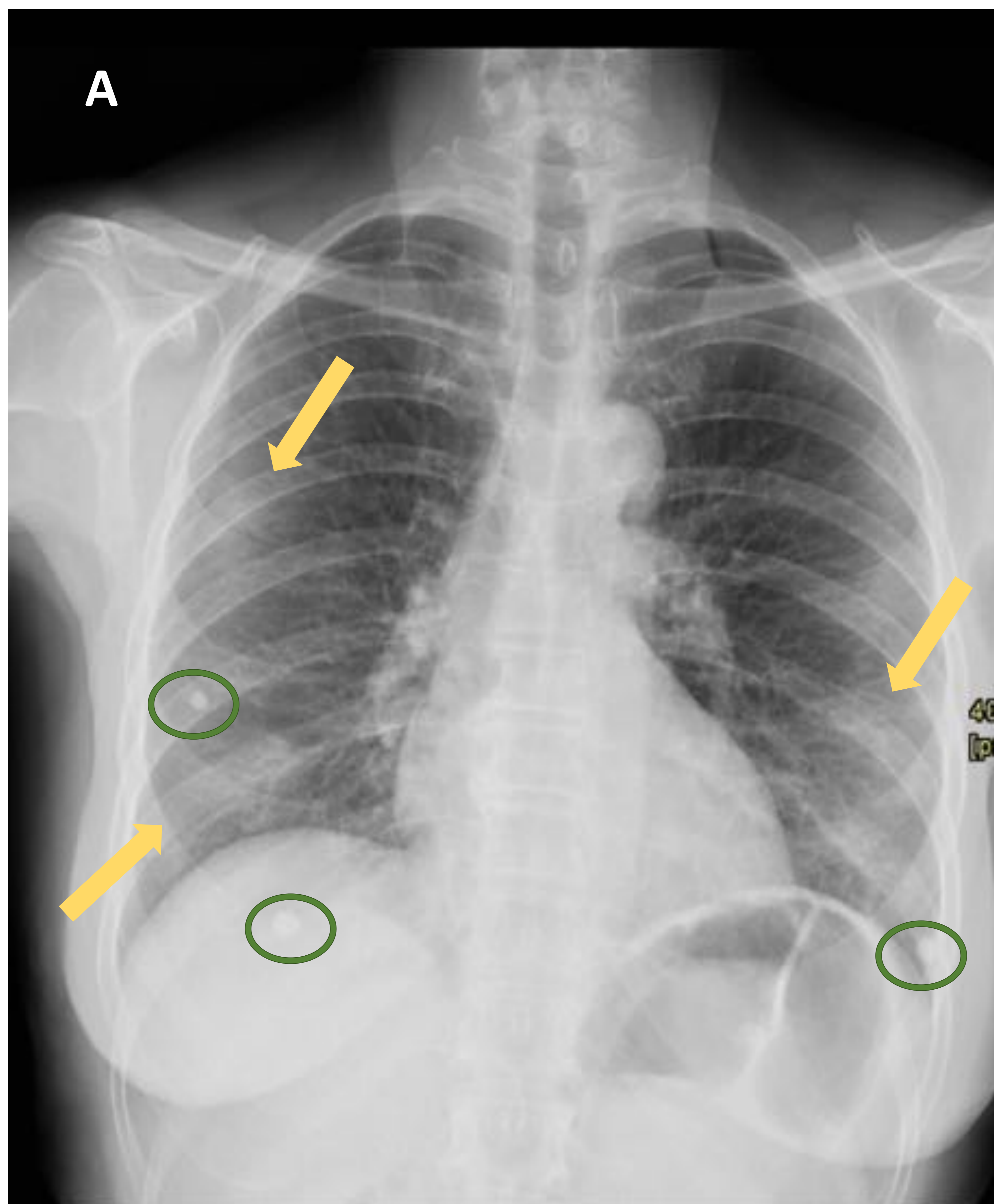
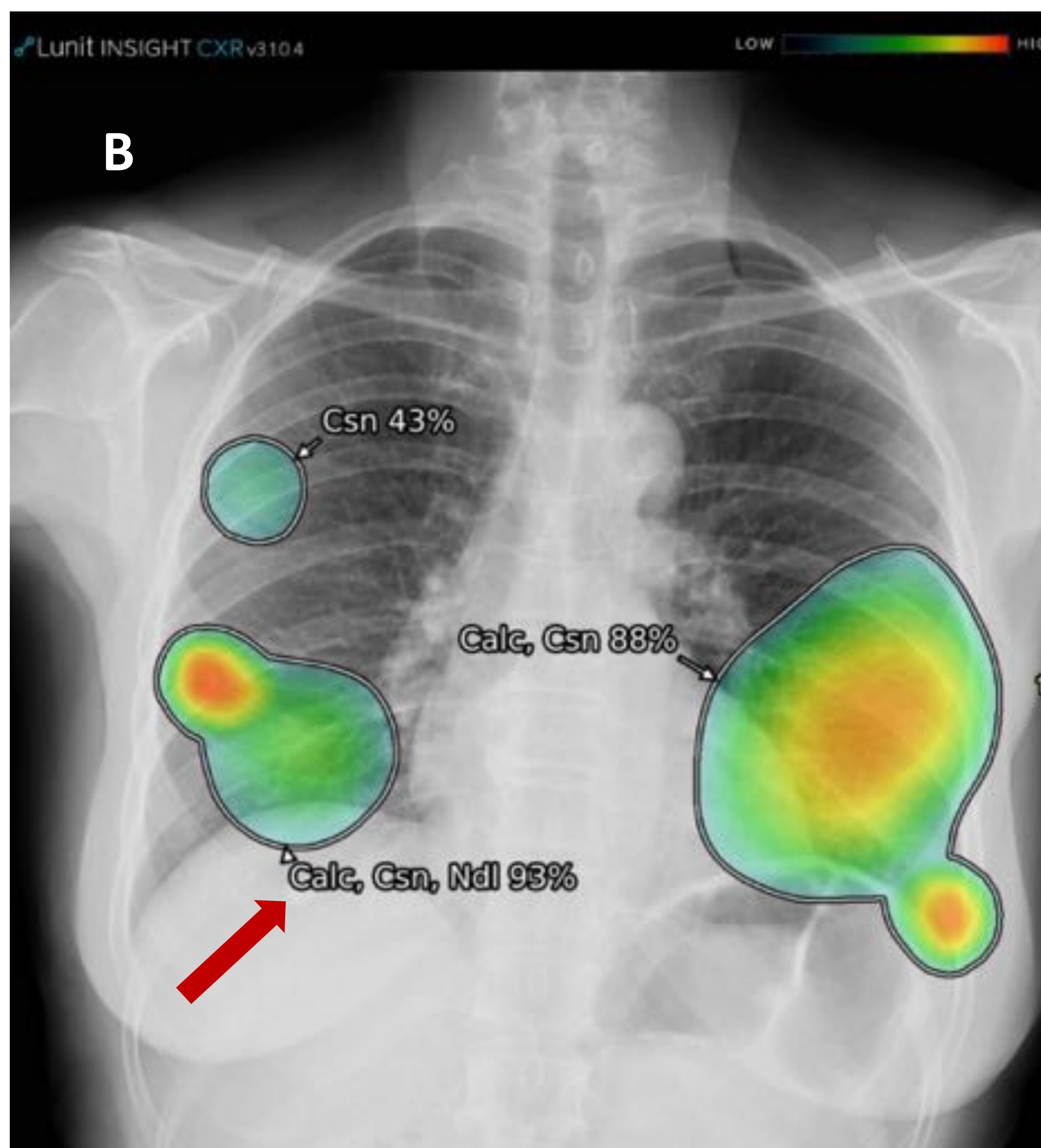


Fig 15: Se observan múltiples aumentos de densidad (flechas amarillas), que no borran la trama vascular, por lo que podrían estar en relación con opacidades en vidrio deslustrado, en ambos campos pulmonares inferiores y campo medio pulmonar derecho, de localización subpleural. Dado el contexto epidemiológico, estos hallazgos son sugestivos de infección por COVID-19. Se aprecian además al menos tres imágenes de alta densidad (círculos verdes), de morfología nodular en ambos campos pulmonares inferiores y campo pulmonar medio derecho, que podrían ser compatibles con granulomas calcificados. No se observa derrame pleural ni nódulos ni otras alteraciones significativas



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax



Caso 8

Atl	Atelectasis	Low	-
Calc	Calcification	93%	Multiple Lesions
Cm	Cardiomegaly	Low	-
Csn	Consolidation	86%	Multiple Lesions
Fib	Fibrosis	Low	-
MW	Mediastinal Widening	Low	-
Ndl	Nodule	38%	Right Lower zone
PEf	Pleural effusion	Low	-

Fig 16: La IA detecta las posibles calcificaciones en campo pulmonar inferior izquierdo y campo pulmonar medio derecho, con una alta probabilidad de acierto, representada con colores rojo y rojo-amarillo. En la tabla queda reflejada la probabilidad de acierto más alta (93%) de las calcificaciones, que corresponde a la localizada en campo pulmonar medio derecho. El programa no ha detectado la calcificación en campo pulmonar inferior derecho (flecha roja).

La IA también detecta un posible nódulo pulmonar en campo pulmonar inferior derecho, representado de color azul-verde, es decir, con una baja probabilidad de acierto. En la tabla se indica una probabilidad de acierto de un 38%.

Se identifican también las posibles consolidaciones, de color azul y azul-verde en campo pulmonar medio e inferior derecho, lo que indica una baja probabilidad de acierto, y de rojo-amarillo en campo pulmonar inferior izquierdo, indicando una probabilidad de acierto alta. En la tabla, queda representada la probabilidad de acierto más alta (86%) de las posibles consolidaciones identificadas por la IA, que correspondería a la localizada en hemitórax izquierdo ya que está representada de color rojo-amarillo.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Caso 8

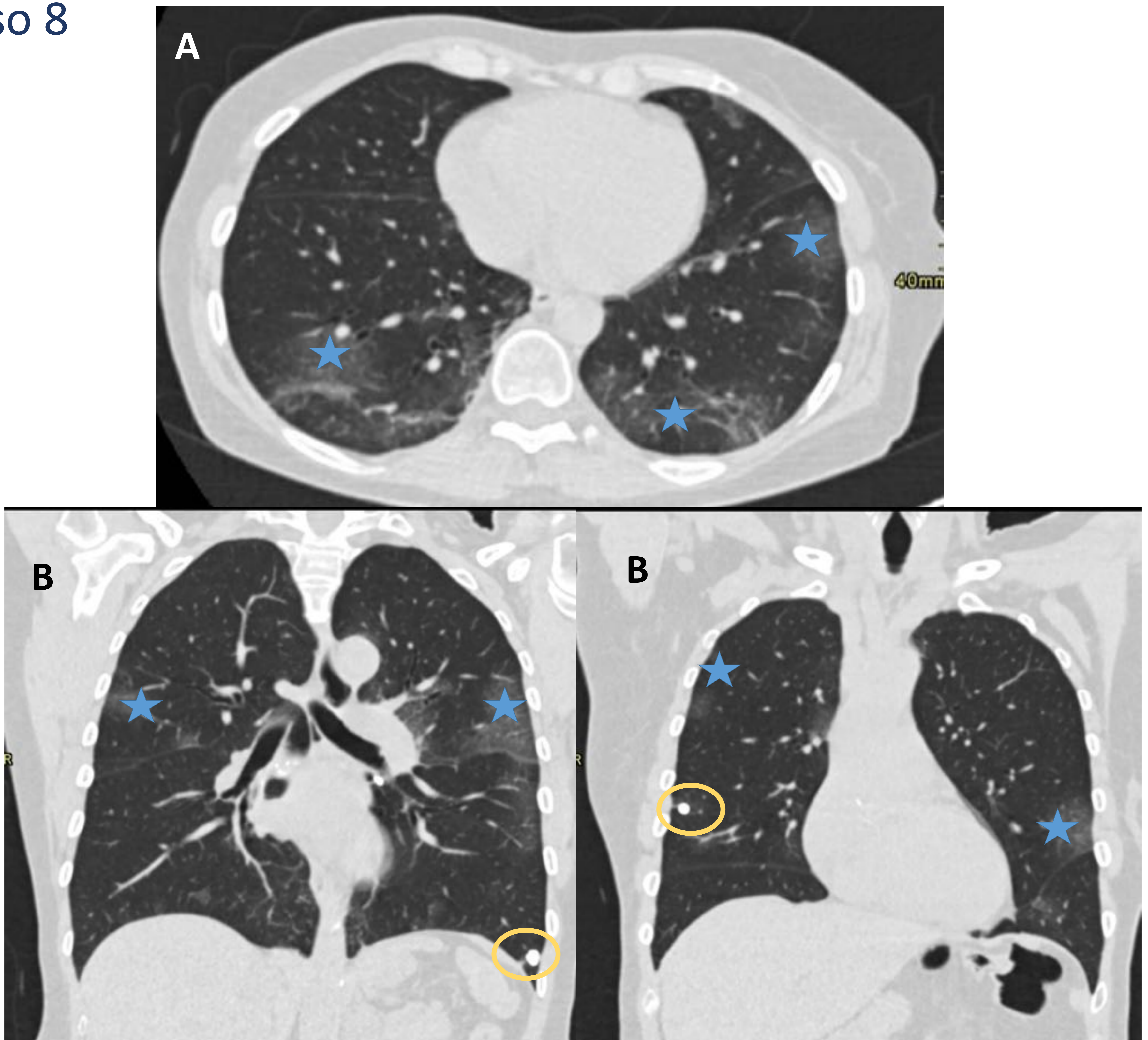


Fig 17: Cortes axiales (A) y coronales (B), del mismo paciente que en la figura 15 y 16. Se demuestra la presencia de opacidades en vidrio deslustrado (estrellas azules) en ambos campos pulmonares, de localización subpleural, que podrían estar en relación con infección por COVID-19, así como la presencia de granulomas calcificados (círculos amarillos).

Por tanto, las consolidaciones y las calcificaciones detectadas son verdaderos positivos, mientras que el nódulo detectado por la IA, es un falso positivo.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Caso 9

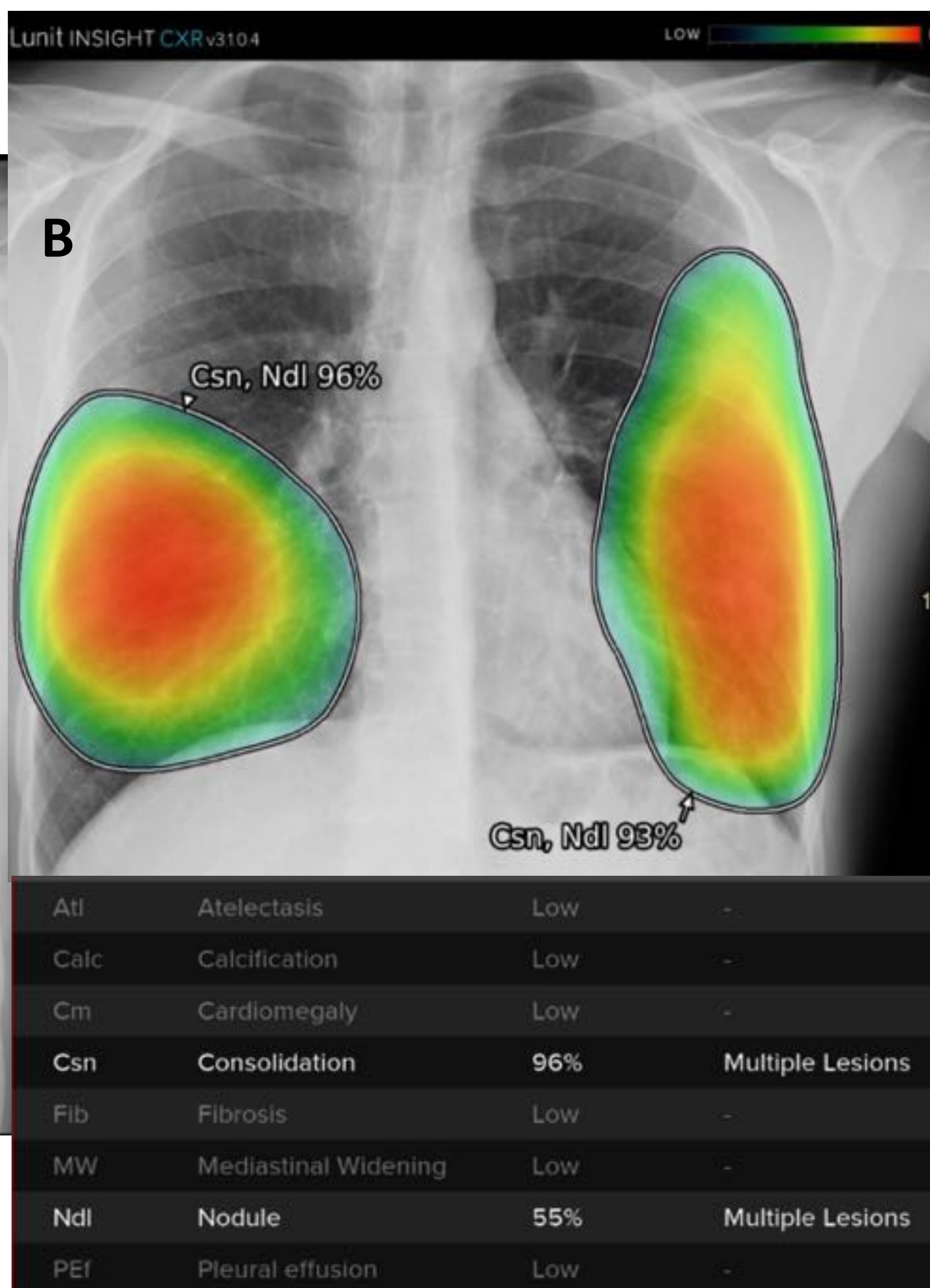
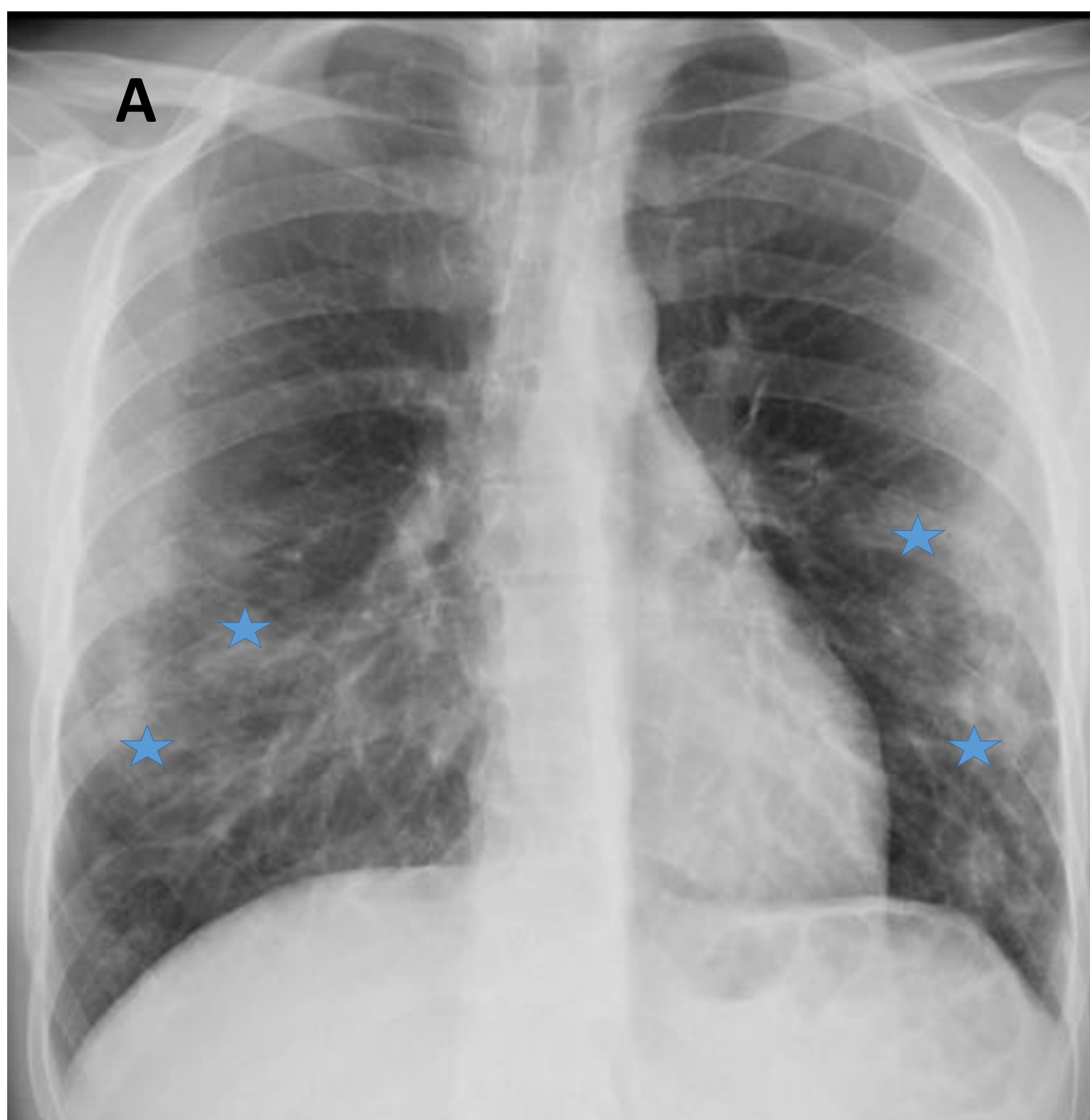


Fig 18 En la radiografía de tórax se observan múltiples opacidades, de distribución periférica subpleural, en ambos campos pulmonares inferiores y medios (estrellas azules). No se observan nódulos ni otras alteraciones significativas.

La IA identifica estas consolidaciones así como posibles nódulos pulmonares en las mismas localizaciones, con un probabilidad de acierto alta (de color rojo-amarillo) siendo del 96% y 93% para hemitórax derecho e izquierdo, respectivamente. En la tabla generada, se observa cómo esta alta probabilidad indicada en la radiografía para cada hemitórax, se corresponde con la identificación de posibles consolidaciones, mientras que la probabilidad de que existan nódulos pulmonares es de un 55%.

En este caso, las consolidaciones detectadas por la IA, son verdaderos positivos, mientras que los nódulo detectados son falsos positivos.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Caso 10

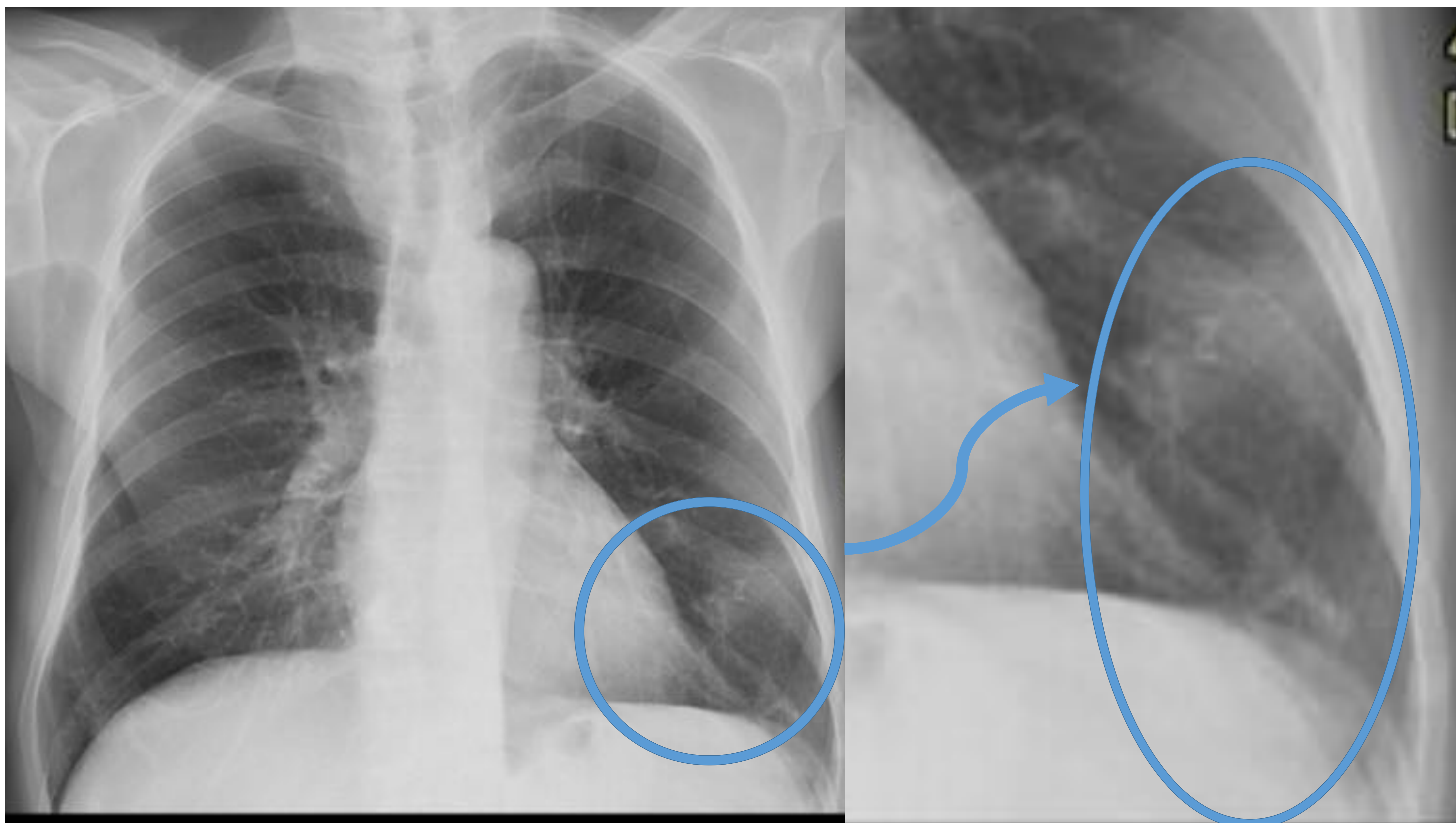
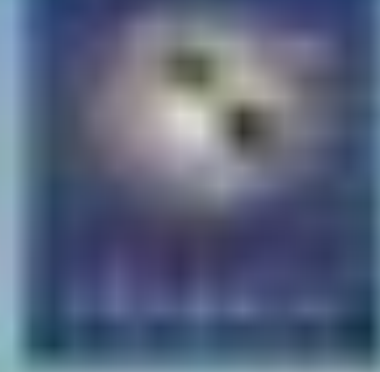
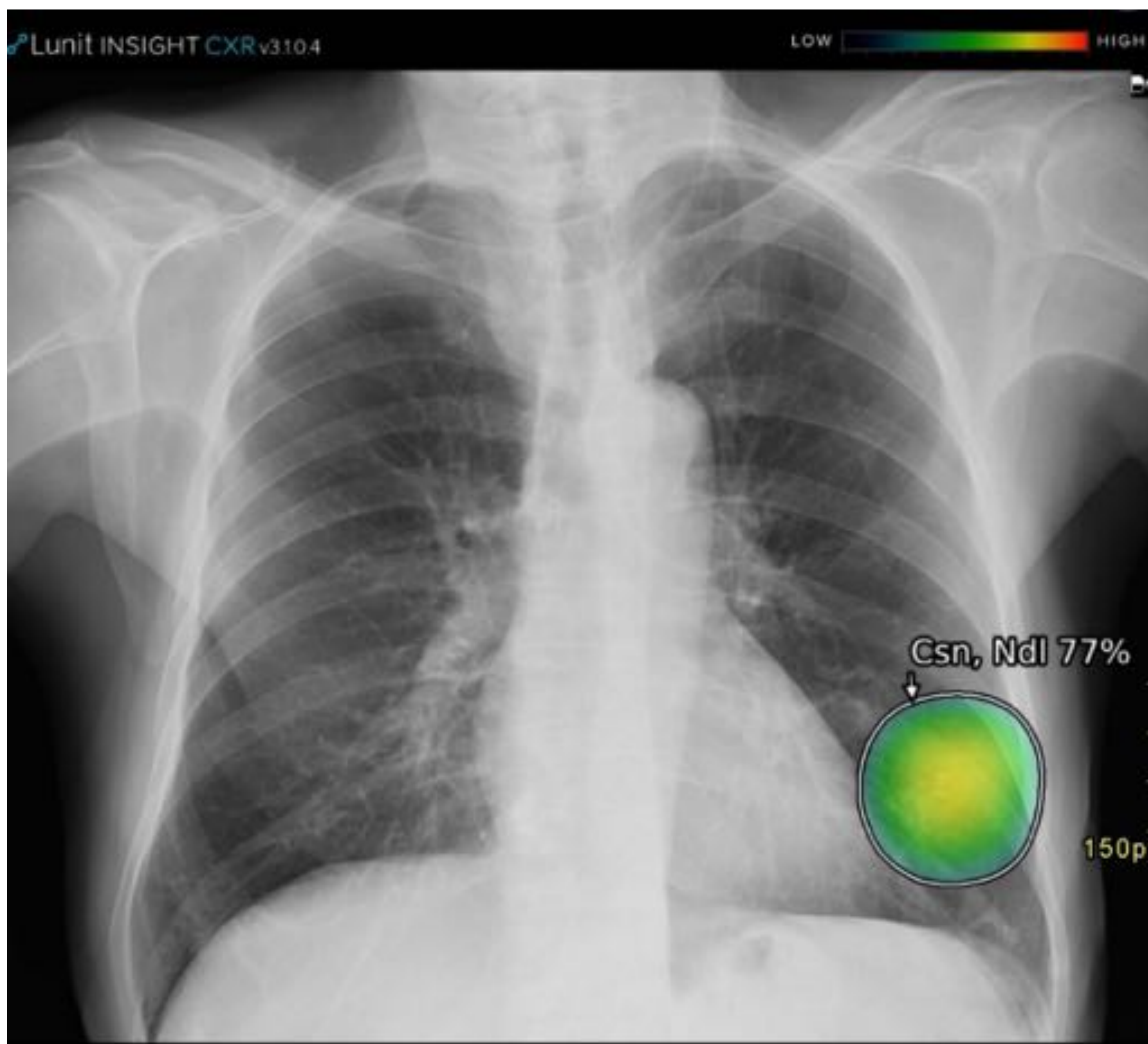


Fig 19: En la radiografía de tórax no se observan alteraciones significativas. Únicamente se identifica, superpuesto a base pulmonar izquierda, una imagen de morfología alargada, con zonas de densidad aumentada, que es compatible con cuerpo extraño portado por el paciente y superpuesto en la radiografía de tórax.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

Caso 10



Atl	Atelectasis	Low	-
Calc	Calcification	Low	-
Cm	Cardiomegaly	Low	-
Csn	Consolidation	77%	Left Lower zone
Fib	Fibrosis	Low	-
MW	Mediastinal Widening	Low	-
Ndl	Nodule	56%	Left Lower zone
PEf	Pleural effusion	Low	-

Fig 20: La IA, identifica el cuerpo extraño superpuesto en base pulmonar izquierda, cómo una posible consolidación y nódulo pulmonar, con una probabilidad de acierto media (77% y color verde-amarillo) para la posible consolidación y de 56% según la tabla para nódulo pulmonar. En este caso la presencia de consolidación y nódulo pulmonar en la radiografía de tórax son dos falsos positivos de la IA.



Análisis de la Inteligencia Artificial en la radiografía de tórax

4. CONCLUSIONES

Dado que los valores de sensibilidad y especificidad de la IA son elevados y la concordancia con el informe del radiólogo es buena, consideramos que es una herramienta útil y válida en la radiología de urgencias.