

Radiómica en enfermedades pulmonares intersticiales:

¿Dónde nos encontramos?

Natalia Trujillo Ángel¹, Ivan Vollmer Torrubiano¹, Laura Beatriz Cabanzo Campos¹, Rita Lacruz Sanz¹,
Oscar Medina Alfonso¹, Marcos Martinez Juste¹, Irene de los Rios Alonso¹, Luis Del Carpio Bellido Vargas¹

¹Hospital Universitari Vall d'Hebron, Barcelona

Objetivo docente

- Revisar el estado actual de la literatura sobre el uso de radiómica en la evaluación de las enfermedades pulmonares intersticiales.
 - Identificar las principales brechas en el conocimiento que limitan su aplicación clínica en el diagnóstico, tratamiento y pronóstico de los pacientes.
-

Antecedentes

Las enfermedades intersticiales pulmonares (EPI) comprenden un amplio espectro de trastornos del parénquima pulmonar con patrones histológicos de inflamación y fibrosis. Sus hallazgos por imagen son complejos y variados, así como su pronóstico.

La tomografía computarizada es el gold standard de imagen para su evaluación y el uso de radiómica se plantea como un complemento viable, analizando características cuantitativas que describen la forma, intensidad, textura y longitud de onda de las imágenes permitiendo que la valoración sea más detallada, objetiva y potencialmente reproducible.

Dado el carácter heterogéneo de patologías, se enfoca la revisión según la actualización de 2025 de la clasificación del ERS/ATS [1].

Antecedentes: radiómica

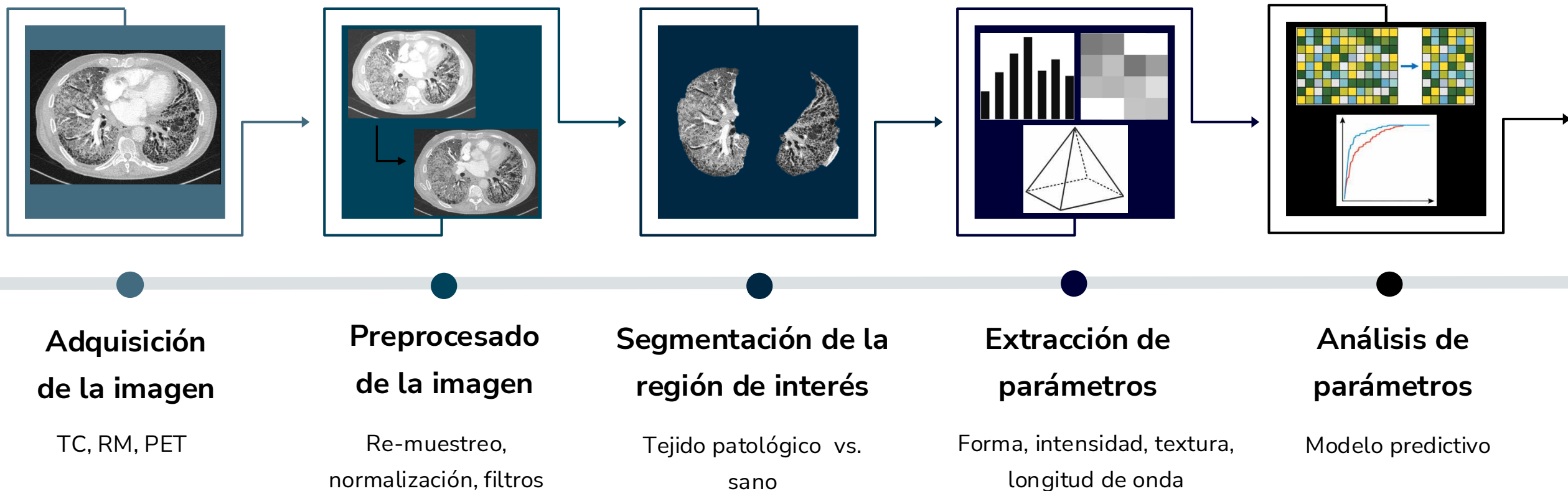
La radiómica es una técnica que permite extraer datos cuantitativos de un tejido estudiado mediante el análisis de imágenes en tercera dimensión, preservando el contexto espacial del órgano anatómico [2].

Las imágenes diagnósticas por TC se obtienen mediante la interacción de la radiación con tejidos u órganos, lo que indica que no son simplemente imágenes, sino que reflejan diversas propiedades fisiopatológicas del cuerpo [3].

Por medio del análisis radiómico, podemos transformar datos visuales en parámetros cuantitativos definidos mediante algoritmos matemáticos como: histogramas, texturas, forma y características de longitud de onda de las imágenes [2]. El análisis de texturas se realiza considerando la variación espacial de los píxeles y cuantificando los niveles de gris dentro de la región de interés (ROI) [4].

La extracción y el estudio de gran cantidad de parámetros cuantitativos permite detectar anomalías características presentes en las imágenes diagnósticas, realizar seguimiento, evaluar la eficacia del tratamiento apoyando la toma de decisiones en la conducta terapéutica y podrían llegar a utilizarse para predecir o decodificar rasgos genéticos y moleculares [2].

Antecedentes: flujo de trabajo de la radiómica



TC: tomografía computarizada; RM: resonancia magnética; PET: tomografía por emisión de positrones.

Agradecimiento a Anna Barredo Porta por su asesoría en la creación de esta imagen.

Antecedentes: retos en las fases de desarrollo

Adquisición de la imagen	Preprocesado de la imagen	Segmentación de la ROI	Extracción de parámetros	Análisis de parámetros
Variabilidad entre escáneres, parámetros de adquisición y filtros de reconstrucción puede dificultar su aplicabilidad en la práctica real.	Los ajustes de preprocesado de la imagen (redimensionamiento, eliminación de ruido) pueden afectar los resultados radiómicos.	La variabilidad entre lectores en el proceso de segmentación de la imagen puede afectar los resultados.	Las características radiómicas no están estandarizadas entre diferentes herramientas de software radiómico.	El rendimiento de los modelos radiómicos puede estar por debajo de lo esperado, poniendo en duda su capacidad de generalización.

Antecedentes: aplicaciones de la radiómica en EPI

La radiómica en patología pulmonar se ha usado clásicamente en enfermedad neoplásica; sin embargo, puede ser aplicada a cualquier enfermedad que muestre cambios fenotípicos en pruebas de imagen, como es el caso de las EPI [3].

En patologías heterogéneas, como las EPI, la caracterización y estadiaje de la enfermedad son de gran importancia [3], y el uso de radiómica ha demostrado ser un complemento viable que permite una mejor caracterización y cuantificación de las EPI en comparación con la evaluación visual tradicional [4].

La evaluación de escala de gris y estructuras geométricas dentro de la ROI buscando de manera dirigida patrones repetitivos, permite comparar procesos patológicos. La heterogeneidad del patrón en panal de abejas, reticulaciones, bronquiectasias de tracción y opacidades en vidrio deslustrado en las EPI fibróticas puede aprovecharse para determinar el tipo de anormalidad y su gravedad [4].

El uso de radiómica en EPI se ve limitado cuando existen variaciones en los parámetros de adquisición del TC, como el grosor de corte y el filtro de reconstrucción. El preprocesamiento de la imagen, normalizando la escala de grises, el realce de bordes y el filtrado, son claves para mitigar la influencia en la extracción de parámetros, permitiendo mayor reproducibilidad en el conjunto de datos [4].

Antecedentes: clasificación ERS/ATS

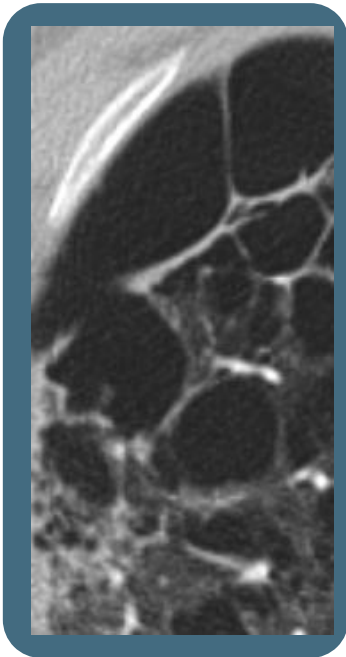
TABLE 1 Morphological patterns of interstitial and alveolar filling disorders and associated clinical-radiological-pathological diagnoses. Secondary aetiologies are listed before primary/idiopathic aetiologies to emphasise the importance of excluding an underlying cause before considering a diagnosis to be primary/idiopathic

Morphological patterns by pathology and imaging	Major clinical-radiological-pathological diagnoses	
	Secondary	Primary/idiopathic
Interstitial patterns		
UIP	Secondary UIP (e.g. CTD, HP, medications)	IPF (idiopathic UIP)
NSIP	Secondary NSIP (e.g. CTD >>> HP, medications)	Idiopathic NSIP
BIP [#]	Secondary BIP (e.g. HP >>> CTD, aspiration, inhalational exposures, medications)	Idiopathic BIP (provisional diagnosis [#])
DAD	Secondary DAD (multiple causes)	Idiopathic DAD (acute interstitial pneumonia)
PPFE	Secondary PPFE (e.g. IPF, CTD, HP, medications, radiation, transplant (restrictive allograft syndrome, pulmonary infection (post-tuberculosis), occupational)	Idiopathic PPFE
LIP	Secondary LIP (e.g. CTD, immune deficiency)	Idiopathic LIP
Alveolar filling patterns		
Organising pneumonia	Secondary organising pneumonia (e.g. CTD, post-infectious, medications, aspiration)	Cryptogenic organising pneumonia (idiopathic organising pneumonia)
RB-ILD	Secondary RB-ILD (e.g. smoking >>> CTD, medications, aspiration, hereditary)	Idiopathic RB-ILD
AMP [¶]	Secondary AMP (e.g. smoking >>> CTD, medications, aspiration, hereditary)	Idiopathic AMP
Rare alveolar filling disorders	e.g. Acute and chronic eosinophilic pneumonia, pulmonary alveolar proteinosis, lipoid pneumonia (supplementary table S1)	
Other		
Combined pattern	Multiple combinations (e.g. NSIP + organising pneumonia, UIP + PPFE)	
Unclassifiable pattern	Unclassifiable ILD (multiple undefined patterns)	

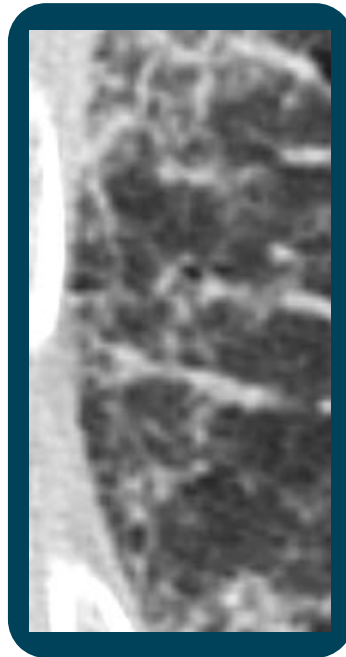
UIP: usual interstitial pneumonia; NSIP: nonspecific interstitial pneumonia; BIP: bronchiolocentric interstitial pneumonia; DAD: diffuse alveolar damage; PPFE: pleuroparenchymal fibroelastosis; LIP: lymphoid interstitial pneumonia; RB-ILD: respiratory bronchiolitis-interstitial lung disease; AMP: alveolar macrophage pneumonia; CTD: connective tissue disease; HP: hypersensitivity pneumonitis; IPF: idiopathic pulmonary fibrosis. [#]: the committee voted 29 to four (88% to 12%) in favour of including BIP as a pattern and 27 to six (82% to 18%) in favour of introducing idiopathic BIP as a provisional multidisciplinary diagnosis; [¶]: formerly referred to as desquamative interstitial pneumonia.

Antecedentes: características de EPI en TC

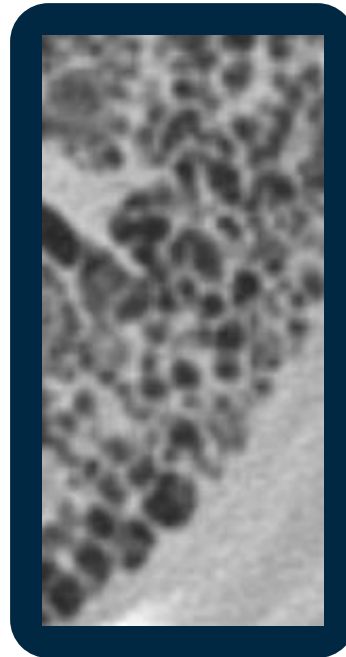
Enfisema



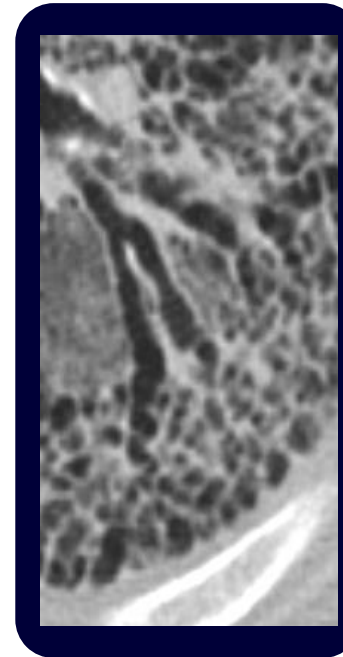
Reticulación



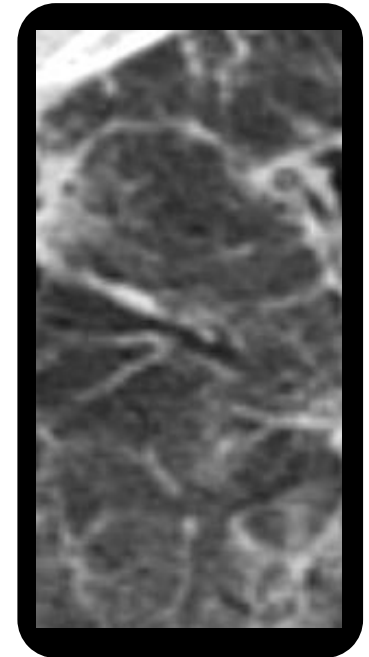
Panalización



Bronquiectasias



Vidrio
deslustrado

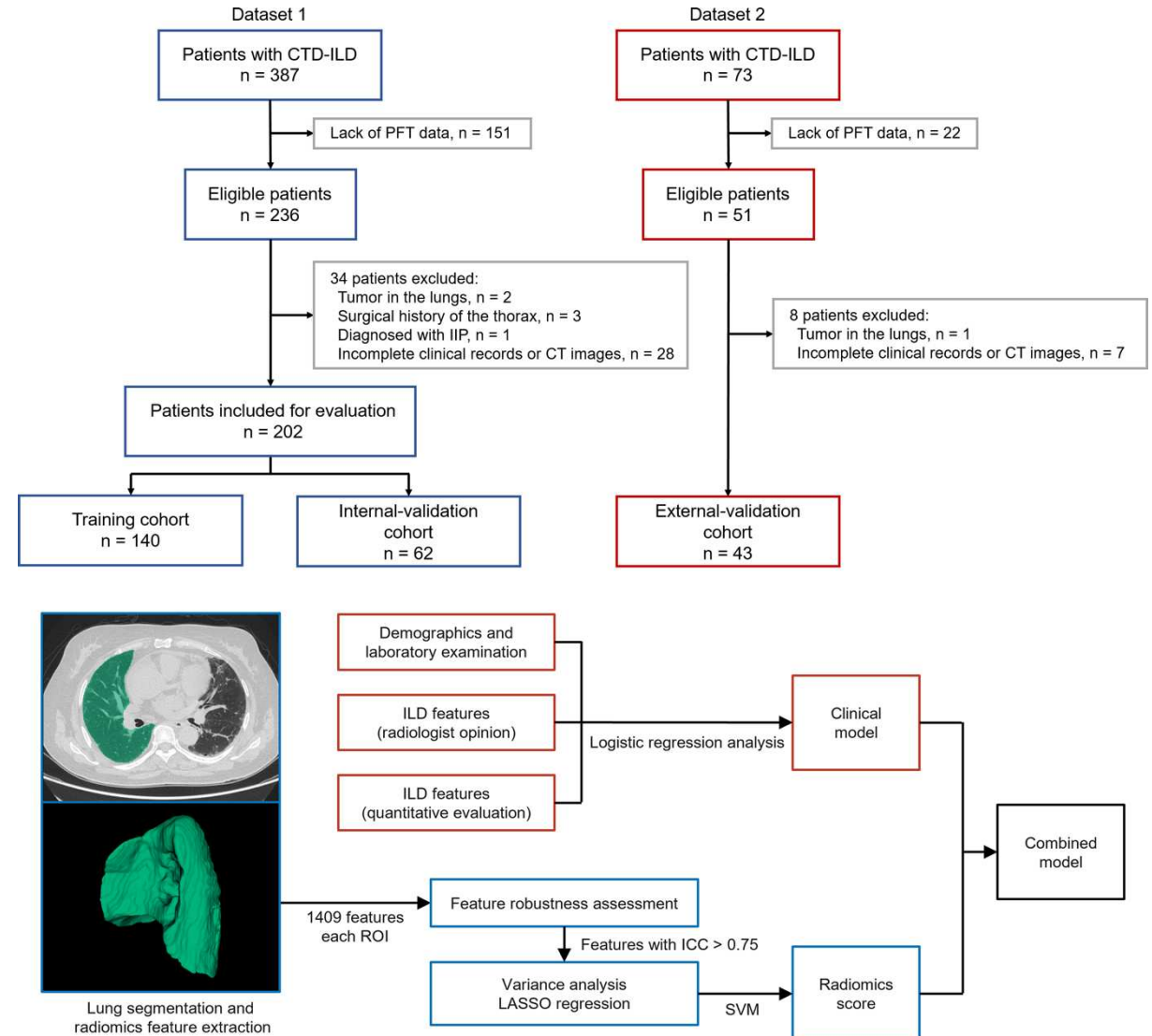


Radiómica en EPI: estado del arte

Referencia	Enfermedad	n	Objetivo	Diseño (AUC*)	Validación	Resultados
Peltekian, et al. [5], 2025	EPI asociada a SSc	434	Demostrar que los parámetros radiómicos automático pueden ayudar a los clínicos en la detección temprana y la estratificación de riesgo.	Observacional retrospectivo (0.88)	Interna	Las características radiómicas detectaron exitosamente la EPI en pacientes con SSc, con buena discriminación.
Qin, et al. [6], 2023	EPI asociada a enfermedad del tejido conectivo	245	Desarrollar y validar un nomograma radiómico para el manejo clínico utilizando el índice pronóstico GAP (Gender, Age, Physiology).	Observacional retrospectivo (0.88)	Interna y externa	Normograma radiómico basado en TC mostró eficacia favorable para predecir los estadios individuales de índice pronóstico GAP.
Schniering, et al. [7], 2022	EPI asociada a SSc	156	Explorar el análisis de imágenes de alta dimensión basado en TC para la caracterización de la enfermedad, estratificación de riesgo y transmisión de información sobre fisiopatología.	Cohorte prospectiva (0.71)	Externa	Desarrollaron una puntuación cuantitativa de riesgo radiómico (qRISSc) para la predicción de la supervivencia libre de progresión.
AlDalilah, et al. [8], 2022	Fibrosis pulmonar idiopática (FPI)	59	Evaluar el rendimiento pronóstico de dos técnicas cuantitativas de TC en comparación con las medidas clínicas de gravedad de la enfermedad (índice GAP).	Observacional retrospectivo	Interna	El análisis de textura basado en histograma y CALIPER (computer-aided lung informatics for pathology evaluation and ratings) fueron predictores significativos de peores resultados.
Martini, et al. [9], 2021	EPI asociada a SSc	60	Validar características radiómicas basadas en textura para el diagnóstico y estadiaje de la enfermedad en comparación con el análisis visual.	Observacional retrospectivo de cohorte (0.96)	Interna	Modelo radiómico basado en textura que pueden diagnosticar EPI y estadiar la enfermedad, detectando indicadores de gravedad que no son reconocibles mediante el análisis visual.
Ryan, et al. [10], 2019	Sarcoidosis	151	Investigar el potencial de las medidas radiómicas como biomarcadores para la sarcoidosis, evaluando las diferencias en TC entre sujetos con sarcoidosis y controles sano, las asociaciones entre parámetros radiómicos y la espirometría, y las tendencias entre estadios de Scadding.	Observacional retrospectivo	Interna	Identificaron asociaciones entre las características radiómicas y la función pulmonar, así como con el estadio de la enfermedad en pacientes con sarcoidosis.

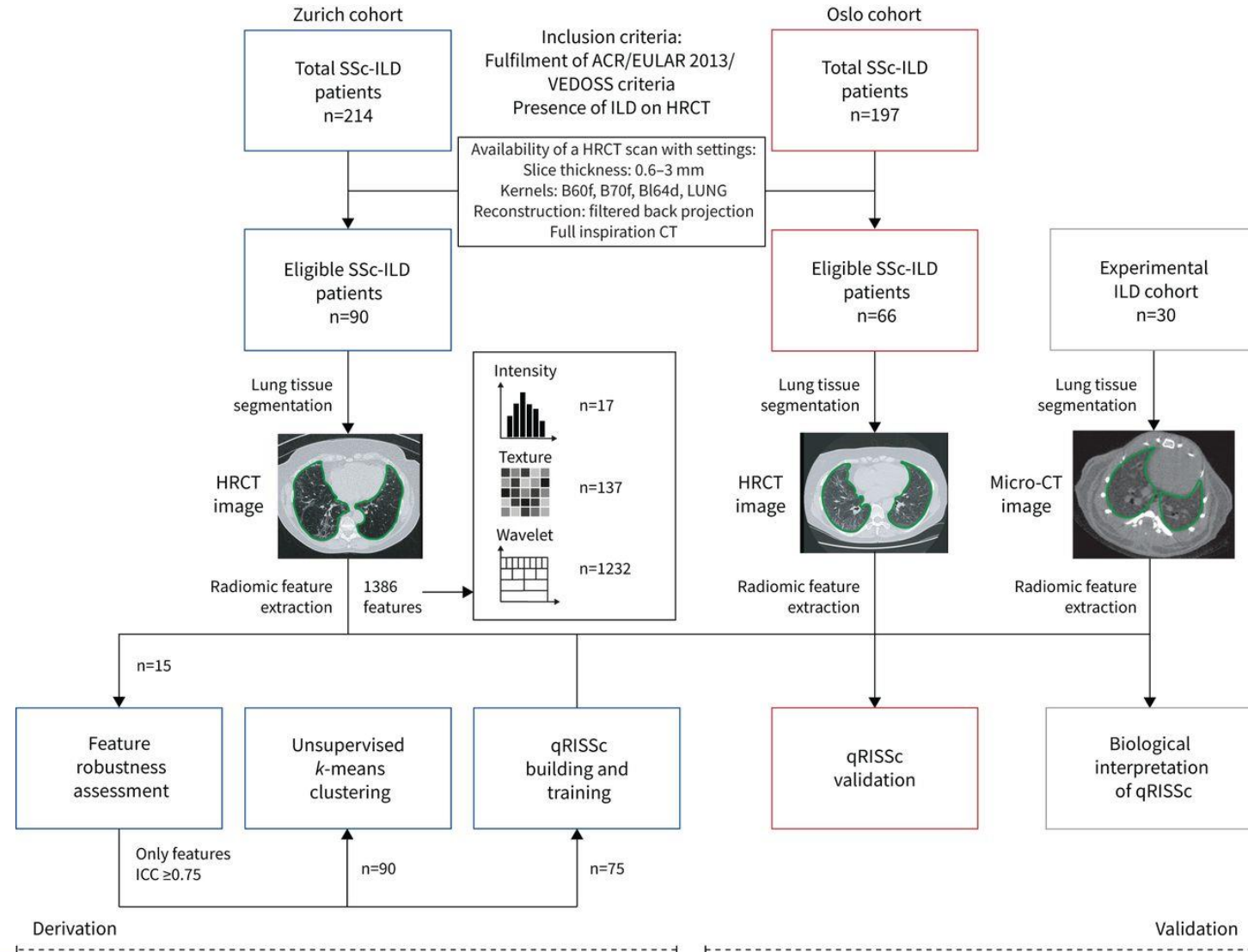
Radiómica en EPI: estado del arte

Qin et al. [6] desarrollaron un normograma, que puede utilizarse para la toma de decisiones clínicas, evaluando la gravedad y prediciendo la mortalidad de pacientes con EPI asociada a enfermedades del tejido conectivo, alcanzando la mayor precisión al combinar factores radiómicos y clínicos.



Radiómica en EPI: estado del arte

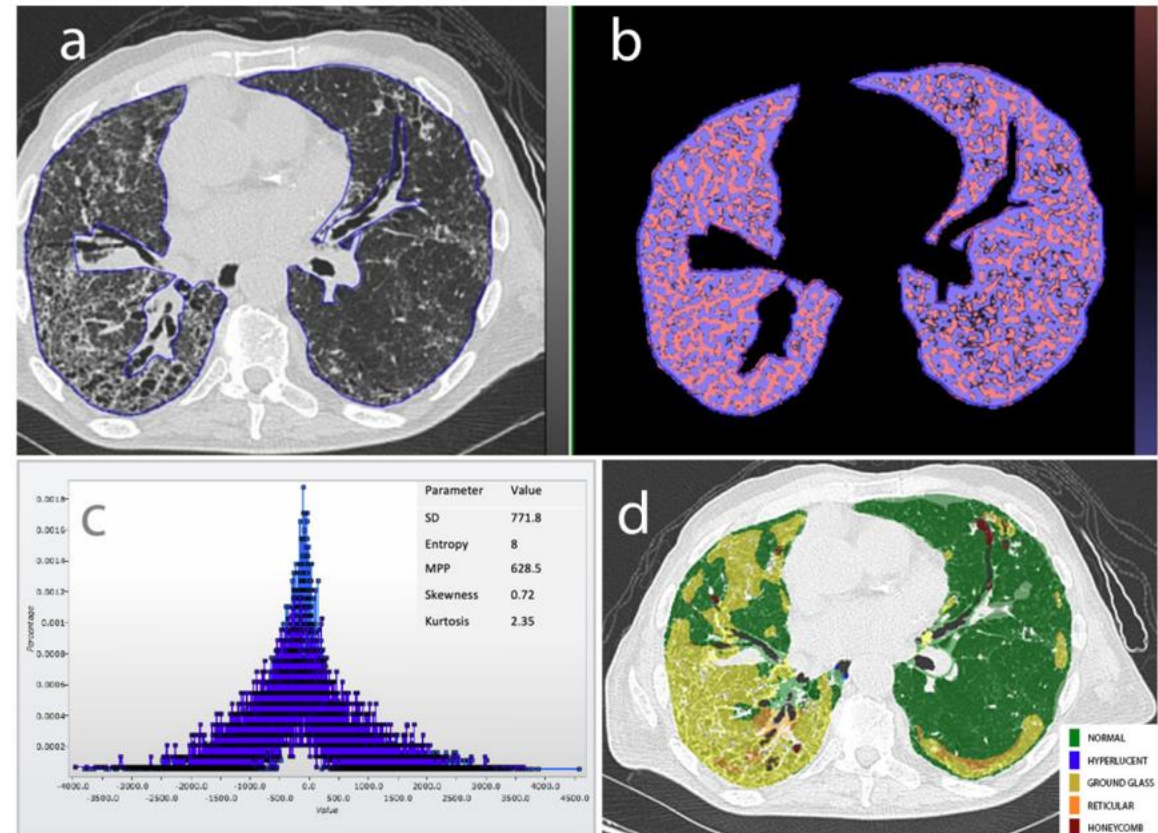
Schniering et al. [7] desarrollaron una puntuación compuesta de riesgo radiómico (qRISSc) que permite predecir la supervivencia libre de progresión en pacientes con EPI relacionada con SSc. La evaluación de su modelo radiómico demostró fuerte correlación con la actividad de vías pro-fibróticas en un modelo in vivo.



Radiómica en EPI: estado del arte

AIDalilah et al. [8] demostraron que múltiples características radiómicas por TC pueden predecir la supervivencia global en pacientes con FPI. En combinación con la puntuación GAP puede proporcionar valor añadido en la predicción pronóstica de pacientes con FPI.

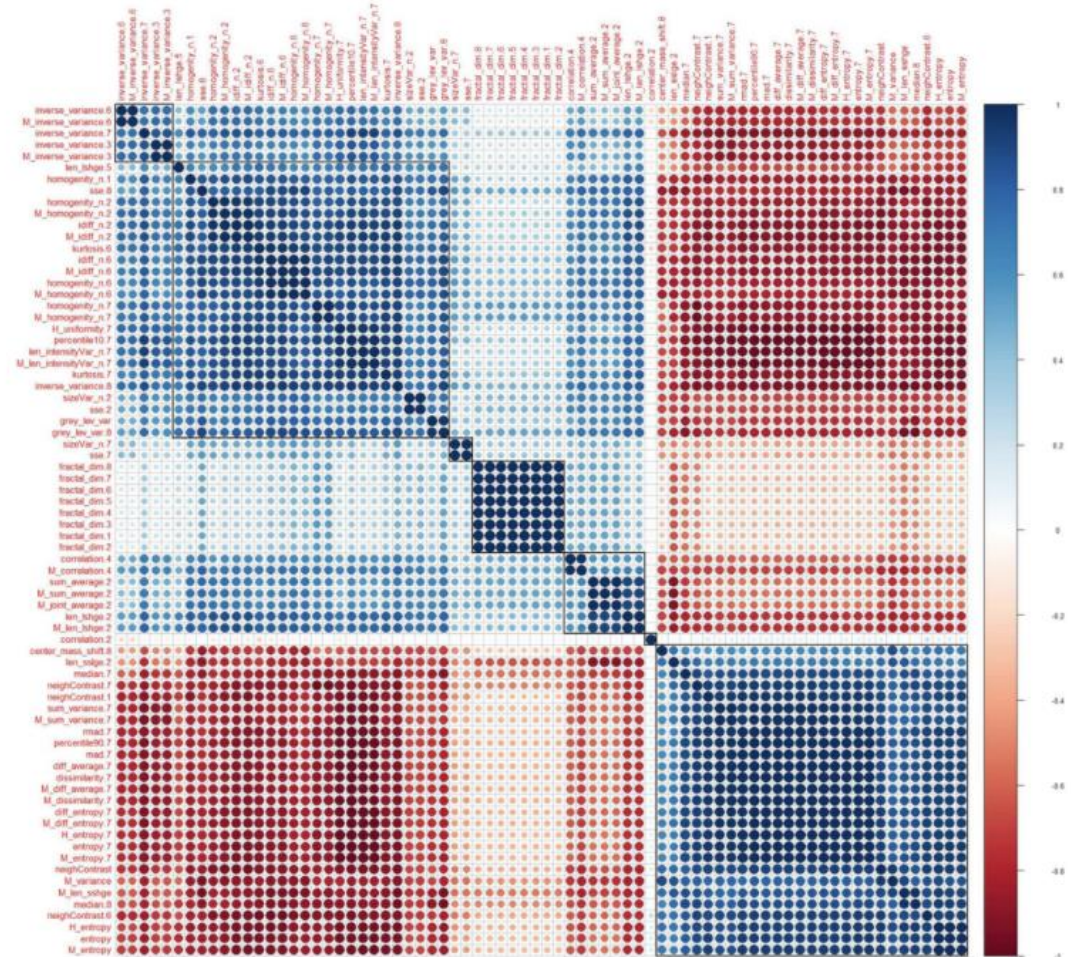
Figure 2. CALIPER and filtration-histogram based texture analysis for a poor prognostic patient. Conventional axial CT slice with manually contoured ROIs across the whole lung (a) provides a visual representation of the disease extent. Filtered texture map at fine texture scale (SSF2) is shown (b) where the red and blue spots correspond to positive and negative filtered texture pixel values, respectively. Histogram analysis at the fine texture scale (SSF2) depicts the distribution of the filtered pixel intensity (c). Note the fine-filtered texture quantifiers – SD, entropy, MPP are elevated, whereas skewness and kurtosis are of low values. Selected axial CT slice with superimposed CALIPER lung pattern analysis for the same patient (d). CALIPER, computer-aided lung informatics for pathology evaluation and ratings; MPP, mean of positive pixel; SD, standard deviation; SSF, spatial scale filter.



Radiómica en EPI: estado del arte

Martini et al. [9] demostraron que el análisis radiómico puede detectar indicadores de gravedad no reconocibles en el análisis visual en pacientes con EPI asociada SSc.

Fig. 3 Correlogram illustrating auto- and cross-correlations of the 73 most important features in differentiating GAP1 and GAP2 stages. Features were reordered after hierarchical clustering for visualizing different feature clusters. Six clusters of radiomics features became apparent (rectangular boxes; the first two clusters were visually assumed to belong to the same cluster). Blue circles indicate positive correlation, and red circles negative correlation. The larger the circle and the darker the color, the higher is the correlation between two variables



Radiómica en EPI: estado del arte

Ryan et al. [10] identificaron asociaciones entre radiómica y función pulmonar en pacientes con sarcoidosis, y demostraron su utilidad para la estadificación de la enfermedad.

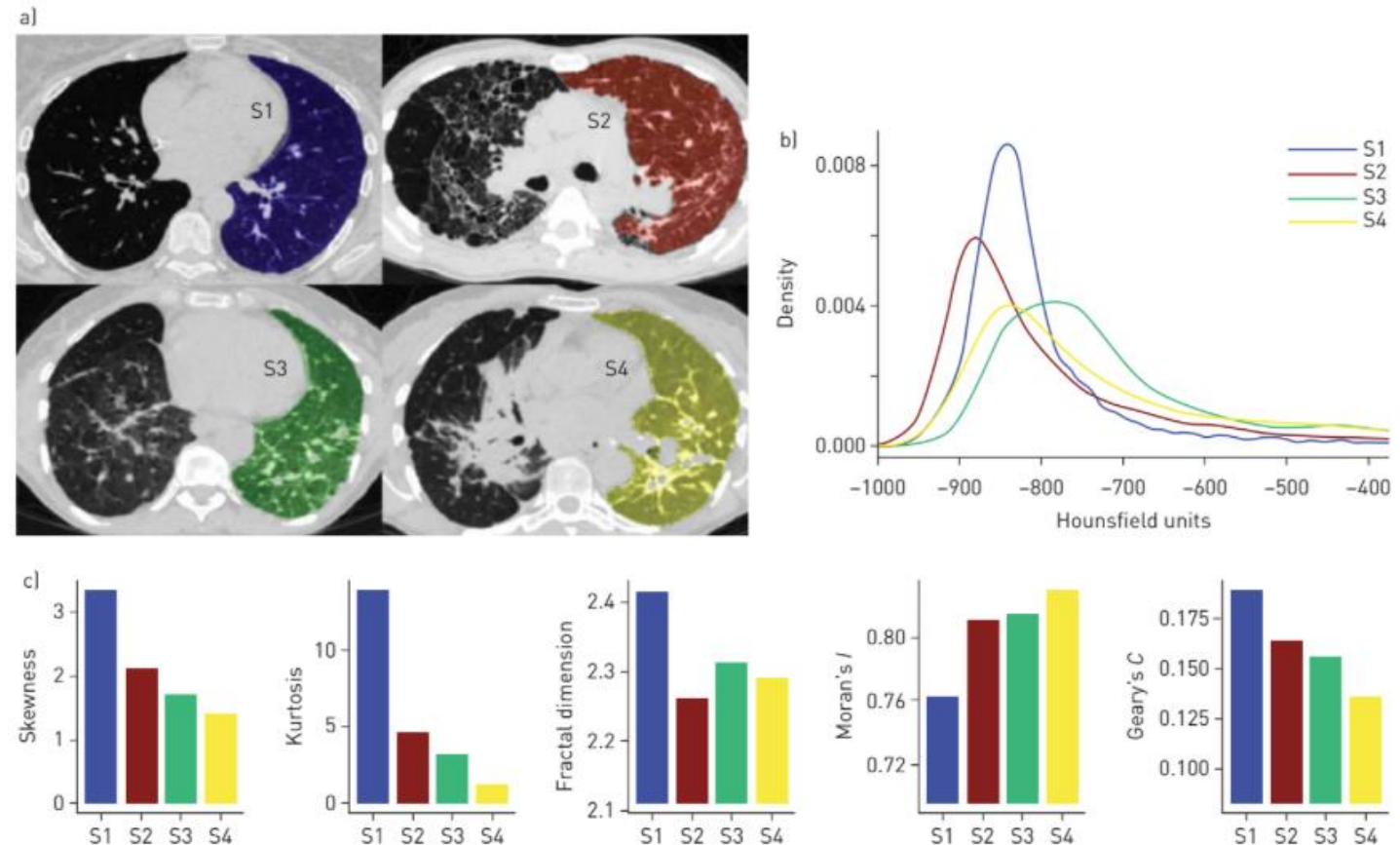


FIGURE 1 a) Representative high-resolution computed tomography (HRCT) scans from subjects S1-S4 representative of HRCT abnormalities, including no abnormalities (S1), mosaic attenuation/honeycombing (S2), nodules (S3) and fibrosis (S4). In general, a two-dimensional HRCT slice from a healthy control subject (S1) appears to have mostly healthy lung tissue, with the occasional blood vessel or airway on the slice. Conversely, the HRCT slices from sarcoidosis subjects (S2-S4) have increased opacification and parenchymal abnormalities apparent, shown by the whiter areas on the HRCT scans. b) These parenchymal abnormalities on the HRCT scans for subjects S2-S4 alter the appearance of the Hounsfield unit histogram, resulting in less skewness and less kurtosis ("peaked") densities compared with the healthy control S1. c) Furthermore, the spatial radiomic measures also differ, with sarcoidosis subjects having smaller fractal dimension and Geary's C, and larger Moran's I, compared with the healthy control.

Conclusiones

- El uso de radiómica en enfermedades intersticiales pulmonares aporta una herramienta de cuantificación para el análisis detallado y objetivo por imagen, detectando biomarcadores que podrían influir en la toma de decisiones clínicas y en el pronóstico de la enfermedad.
- Dado el carácter heterogéneo de las EPI, la evidencia científica es limitada y se enfoca principalmente a la FPI y la fibrosis relacionada con enfermedades del tejido conectivo, siendo especialmente significativa la brecha del conocimiento en enfermedades menos prevalentes.
- La principal limitación para su uso sistemático es la falta de estandarización en la adquisición de las imágenes.

Referencias

1. Ryerson CJ, Adegunsoye A, Piciocchi S, et al. Update of the international multidisciplinary classification of the interstitial pneumonias: an ERS/ATS statement. *Eur Respir J* 2025; 66: 2500158. doi:10.1183/13993003.00158-2025
 2. Scapicchio C, Gabelloni M, Barucci A, et al. A deep look into radiomics. *La Radiologia Medica*. 2021;126(10):1296–1311. doi:10.1007/s11547-021-01389-x
 3. Magnin CY, Lauer D, Ammeter M, et al. From images to clinical insights: an educational review on radiomics in lung diseases. *Breathe*. 2025;21:230225. doi:10.1183/20734735.0225-2023
 4. Suman G, Koo CW. Recent advancements in computed tomography assessment of fibrotic interstitial lung diseases. *J Thorac Imaging*. 2023;38(Suppl 1):S7–S18. doi:10.1097/RTI.0000000000000705
 5. Peltekian A, Senkow K, Biswas K, et al. Radiomic Features Detect Interstitial Lung Disease in Patients With Systemic Sclerosis [abstract]. *Am J Respir Crit Care Med* 2025;211:A1707. doi:10.1164/ajrccm.2025.211.Abstracts.A1707
 6. Qin S, Jiao B, Kang B, et al. Non-contrast computed tomography-based radiomics for staging of connective tissue disease-associated interstitial lung disease. *Front Immunol* 2023; 14: 1213008. doi: 10.3389/fimmu.2023.1213008
 7. Schniering J, Maciukiewicz M, Gabrys HS, et al. Computed tomography-based radiomics decodes prognostic and molecular differences in interstitial lung disease related to systemic sclerosis. *Eur Respir J* 2022; 59:2004503. doi: 10.1183/13993003.04503-2020
 8. AlDalilah Y, Ganeshan B, Endozo R, et al. Filtration-histogram based texture analysis and CALIPER based pattern analysis as quantitative CT techniques in idiopathic pulmonary fibrosis: head-to-head comparison. *Br J Radiol*. 2022;95:20210957. doi: 10.1259/bjr.20210957
 9. Martini K, Baessler B, Bogowicz M, et al. Applicability of radiomics in interstitial lung disease associated with systemic sclerosis: proof of concept. *Eur Radiol* 2021; 31: 1987–1998. doi:10.1007/s00330-020-07293-8
 10. Ryan SM, Fingerlin TE, Mroz M, et al. Radiomic measures from chest high-resolution computed tomography associated with lung function in sarcoidosis. *Eur Respir J* 2019; 54: 1900371. doi: 10.1183/13993003.00371-2019
-