

07-003

### **A TOOL FOR STANDARDIZED COMMUNICATION OF QUANTITATIVE IMAGE ANALYSIS RESULTS USING DICOM.**

Mesa Pujals, Adrián Alberto <sup>(1)</sup>; Rodríguez Siret, Frank <sup>(1)</sup>; Hernández-Cortes, Katherine Susana <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Centro de Biofísica Médica, Universidad de Oriente, <sup>(2)</sup> Dirección de Ciencia e Innovación Tecnológica, Universidad de Ciencias Médicas

Quantitative analysis of clinical imaging data is a promising active area of research for precision medicine, early assessment of response to treatment, and objective characterization of disease. Interoperability, data sharing, and the ability to extract data are of increasing importance given the explosive growth in the number of quantitative analysis methods being proposed. The Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) standard is widely adopted for imaging and metadata in radiology. Imagis 3.0 is a tool that allows the conversion of data stored in commonly used research formats into standard DICOM representation. Like its previous versions, it offers the user a set of tools that facilitate the work of specialists and doctors and increase the efficiency of the health system.

Keywords: Quantitative images; imaging computing, DICOM; image analysis; interoperability.

### **UNA HERRAMIENTA PARA LA COMUNICACIÓN ESTANDARIZADA DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE IMÁGENES CUANTITATIVOS UTILIZANDO DICOM.**

El análisis cuantitativo de los datos de imágenes clínicas es un área activa de investigación prometedora para la medicina de precisión, la evaluación temprana de la respuesta al tratamiento y la caracterización objetiva de la enfermedad. La interoperabilidad, el intercambio de datos y la capacidad de extraer los mismos son de importancia creciente, dado el crecimiento explosivo en el número de métodos de análisis cuantitativos que se proponen. El estándar Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) se adopta ampliamente para imágenes y metadatos en radiología. Imagis 3.0 es una herramienta que permite la conversión de los datos almacenados en formatos de investigación de uso común en la representación DICOM estándar. Al igual que sus versiones precedentes, ofrece al usuario un conjunto de herramientas que facilitan el trabajo de los especialistas, médicos e incrementan la eficiencia del sistema de salud.

Palabras claves: Imágenes cuantitativas; informática de imágenes, DICOM; análisis de imágenes; interoperabilidad.

Correspondencia: Adrián Alberto Mesa Pujals      adrian.mesa@uo.edu.cu

Agradecimientos: This work has been supported by the Belgian Development Cooperation through VLIR-UOS (Flemish Interuniversity Council-University Cooperation for Development) in the context of the Institutional University Cooperation programme with Universidad de Oriente.



## 1. Introducción

El análisis cuantitativo (Qi en sus siglas en inglés) de los datos de imágenes se están convirtiendo en una herramienta cada vez más común en la práctica de la radiología moderna. En la actualidad, los métodos que cuantifican las características de las imágenes ayudan en la evaluación clínica de muchos pacientes, proveyendo una caracterización objetiva, no invasiva y reproducible de estados de enfermedades tan diversos como isquemia cerebral, enfermedad pulmonar intersticial y cáncer colorrectal. El impacto potencial del análisis cuantitativo en imágenes en la atención al paciente y en los resultados clínicos ha sido tal, que se ha creado una proliferación de herramientas de análisis y conjuntos de datos públicos. Paralelamente, existe un impulso creciente para mejorar la reproducibilidad de la investigación científica y de compartir tanto los datos de imágenes originales como los resultados del análisis en un formato legible y reutilizable (Wilkinson MD et al., 2016).

En la actualidad, si bien los radiólogos ya evalúan algunas métricas cuantitativas durante la interpretación de imágenes, las cuales requieren muchas de las veces esfuerzos por parte del operador en términos de tedio y tiempo, no muchos incorporan estas métricas en reportes estructurados, como una práctica común. Tal falta de reportes puede conducir a pruebas adicionales innecesarias.

Cómo se almacenan los resultados cuantitativos de imágenes en el registro médico y cómo se recuperan o se preprocesan los datos históricos para fines de comparación no es un problema trivial. La forma en que se archivan y distribuyen los resultados numéricos para el consumo clínico externo al sistema de procesamiento es variable.

El estándar Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) se adapta al almacenamiento de datos numéricos. DICOM según (Bidgood WD et al., 1997) es el estándar más utilizado para datos y metadatos de imágenes clínicas. DICOM ha sido adoptado por la mayoría de los fabricantes de equipos en el campo de la radiología. Permite la interoperabilidad de los diversos componentes de procesamiento, archivo y visualización, tanto clínicos como de investigación, proporcionando además, un marco de trabajo para comunicar no solo imágenes, sino también información relacionada con imágenes, como los que identifican al paciente y describen la adquisición y procedencia de los datos. El estándar define objetos, que también son adecuados para respaldar la investigación de imágenes, incluida la realizada mediante imágenes pre clínicas y de animales.

Desafortunadamente, muchos sistemas de comunicación y archivos de imágenes (PACS por sus siglas en inglés) modernos no pueden almacenar o mostrar el contenido de un objeto DICOM en forma de reporte estructurado (DICOM SR), debido a razones relacionadas con la complejidad general del estándar, la falta de comprensión de sus capacidades y el esfuerzo significativo requerido para el mantenimiento del software DICOM. De manera similar, las herramientas de informes disponibles para los radiólogos a menudo no son capaces de incorporar automáticamente datos de un DICOM SR, y el formato de texto XML u otros resultados cuantitativos "estándar".

El iMagis 2.0 (Blanco et al., 2020) como plataforma existente, presentó como una de sus funcionalidades una propuesta de informe estructurado para el campo de texto de diagnóstico de los archivos DICOM. Esto se basó en términos definidos por el usuario que describen los hallazgos, procedimientos relacionados con diferentes estructuras anatómicas. Se implementó una base de datos estructurada de imágenes y la recuperación fue basada en los

identificadores del paciente. Esta propuesta encontró limitaciones al no ser considerado los resultados de un análisis cuantitativo de los datos para estructurar la información médica. Por esta razón, se hizo necesario un cambio en la metodología de estructuración en el proceso de conversión de los resultados comúnmente producidos en la investigación de imágenes cuantitativas al formato estándar de imágenes digitales y comunicaciones en medicina (DICOM). Surgiendo de esta forma, la propuesta de una nueva versión del sistema de procesamiento, almacenamiento y transmisión de imágenes médicas (PACS) Imagis 3.0, en el cual se incluirá nuevas herramientas de apoyo al trabajo médico y mejoras que permitan una comunicación estandarizada de resultados de análisis de imágenes cuantitativas.

Esta metodología es de interés no solo con fines clínicos, con el fin de generar el reporte radiológicos de manera estructurada, sino también con fines docentes e investigativos, mediante la implementación de bases de datos de reportes estructurados, incluyendo imágenes.

## **2. Objetivo del estudio**

Se diseñará un sistema para ayudar a los radiólogos, así como a los investigadores, con la tarea de conservar de forma estandarizada información cuantitativa en un reporte estructurado de radiología compatible con DICOM.

## **3. Objetos DICOM**

Las imágenes son importantes en un flujo de trabajo básico para los radiólogos. El estándar DICOM se utiliza para comunicar imágenes en un entorno clínico entre modalidades o sistemas de imágenes. El estándar define los servicios que se denominan Elementos de servicio de mensajes DICOM (DIMSE en sus siglas en inglés). Estos servicios tratan con datos de imagen dentro de un modelo de información como se muestra en la Figura 1.

Aparte de los datos de la imagen, el alcance del estándar DICOM define las posibilidades de comunicar información derivada de las imágenes. Cada objeto debe contener un campo de datos llamado "contexto compuesto" (Andriy Fedorov et al., 2016 ). Este campo permite hacer referencias cruzadas con otros objetos DICOM por su identificador único. Se utiliza una etiqueta DICOM para el UID en el nivel de estudio, serie y instancia.

La segmentación DICOM (SEG), los informes estructurados DICOM (SR) son dos objetos que describen las relaciones en el desarrollo de este trabajo como se representa en la Figura 2. Para una breve descripción, DICOM SR se refiere por su contexto compuesto a objetos relacionados como DICOM SEG y DICOM Image.

A diferencia de una imagen DICOM estándar, el objeto de segmentación DICOM (SEG) contiene solo un valor de etiqueta por píxel. Todos los píxeles con la misma etiqueta pertenecen a una segmentación. La parte de metadatos contiene, entre otros, atributos relacionados con el algoritmo de la segmentación.

El alcance de el objeto Informe estructurado (SR) de DICOM es la estandarización de datos estructurados y observaciones clínicas en el entorno de imágenes con el fin de ayudar al manejo, almacenamiento, impresión y transmisión de dichas imágenes. Los objetos de los

reportes estructurados registran las observaciones realizadas para un diagnóstico o procedimiento de intervención basado en imágenes, en particular aquellos que describen o hacen referencia a imágenes, así como sus datos asociados, formas de onda o regiones específicas de interés. Esta estructura se define de forma inequívoca e independiente de su contenido. Además del texto sin formato, está presente la capacidad de utilizar contenido codificado o numérico con interoperabilidad semántica. Como cada objeto DICOM tiene su contexto compuesto, se conservan las referencias incrustadas a imágenes u objetos similares.

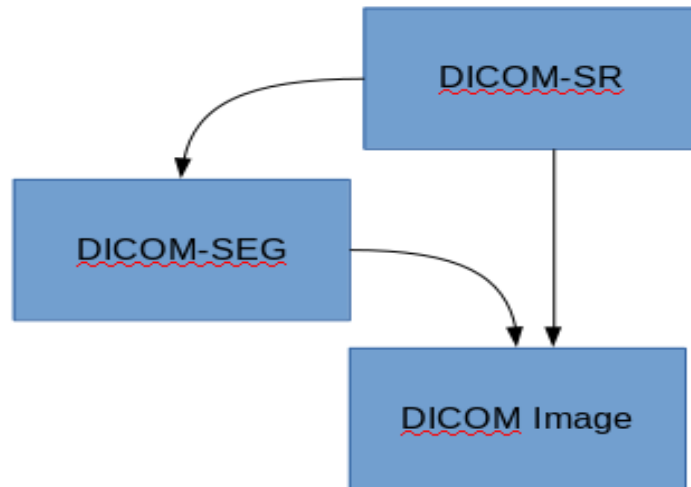
Como cualquier otro objeto DICOM, DICOM-SR dispone de una cabecera y de contenido. En él podemos encontrar información jerarquizada en distintos niveles, donde los elementos de información son de distintos tipos, como texto, valores numéricos, coordenadas espaciales o temporales y las referencias a las imágenes o formas de onda. Los elementos de información se encuentran conectados jerárquicamente en forma de árbol.

**Figura 1: Modelo de información DICOM**



Descargado: [https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-14-Modelo-DICOM-de-informacion-de-la-imagen-Imagen-tomada-y-modificada-de-24\\_fig3\\_318710250](https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-14-Modelo-DICOM-de-informacion-de-la-imagen-Imagen-tomada-y-modificada-de-24_fig3_318710250)

**Figura 2: Descripción general y relación de los objetos DICOM utilizados en este trabajo. Una flecha indica un objeto DICOM referenciado.**



#### 4. Metodología

Se desarrollaron herramientas de software para codificar medición de regiones de interés y plantillas, así como para generar reportes.

##### 4.1 Codificar medición de lesiones e información de estudio.

Aunque el tamaño de las estructuras a menudo se informan utilizando diámetros, para muchas aplicaciones clínicas, incluida la evaluación de tumores, el tamaño se representa mejor en términos de volúmenes (Dachman AH et al., 2001). Por cuanto, se determinó implementar herramientas de segmentación con el fin de automatizar la determinación de volúmenes en la cuantificación.

Este enfoque proporciona una representación más precisa del tamaño de una lesión con una forma o contorno irregular y en la que un cambio de diámetro puede no reflejar un cambio de volumen (Buckler AJ et al., 2010). Existen muchos enfoques para determinar el volumen de lesiones o regiones de interés. El empleo de software especializado para reconocer los bordes de estructuras, por ejemplo, usando componentes conectados basados en umbrales o algoritmos de crecimiento de regiones, para segmentar un órgano o lesión y, por lo tanto, automatizar la determinación de volúmenes (Zhao YR et al., 2013), por ejemplo, al evaluar volumen metabólico tumoral mediante PET (Sridhar et al., 2014).

Además de medir el tamaño de una estructura, un Qi a menudo incluye la medición del valor de los numerosos vóxeles que componen una lesión. Los vóxeles dentro de un área segmentada comprenden regiones de interés (ROI en sus siglas en inglés), y se puede

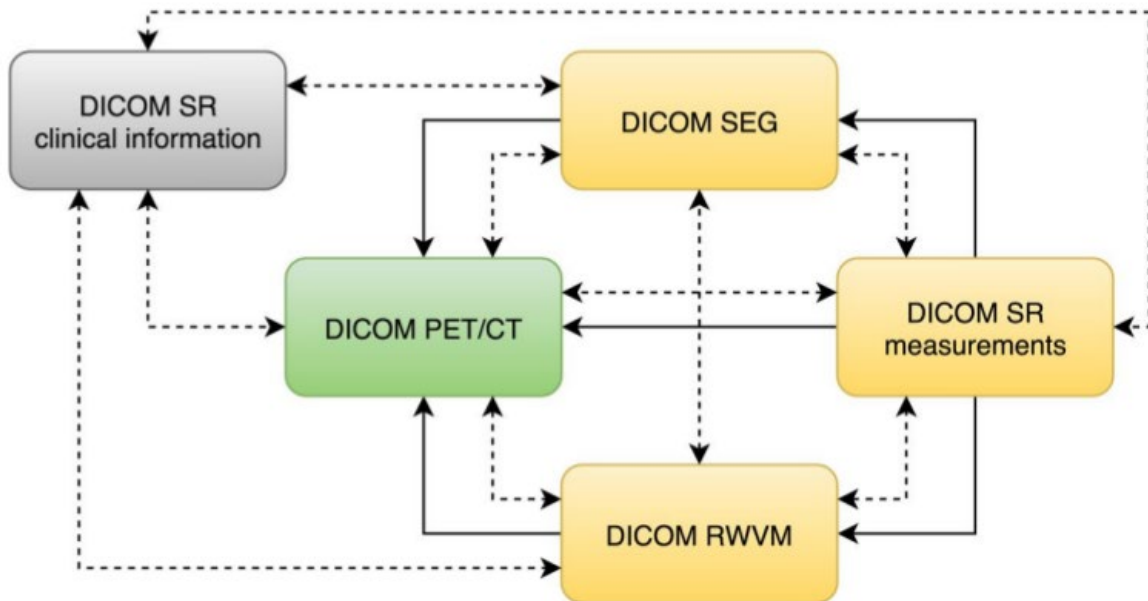
determinar un valor general que representa la distribución o características de los valores de vóxeles dentro del ROI (Kumar et al. ,2012). El valor medio del ROI que puede representar unidad de Hounsfield (HU) o muchas otras medidas basadas en imágenes o la distribución de los valores de vóxel dentro del ROI, incluidos los valores mínimo, mediano y máximo, pueden tener distintas aplicaciones clínicas. Por ejemplo, tanto el valor mínimo de coeficiente de difusión aparente (ADC) (Higano et al. 2006) como el valor de absorción máximo (SUV) (Ohba et al. 2009) pueden ayudar a caracterizar los tumores cerebrales. Los valores de los píxeles dentro del ROI también se pueden ponderar para producir una puntuación basada en el volumen y el carácter, como se hace para la puntuación de calcio coronario (van Velzen JE et al. 2011).

El estándar DICOM proporciona una variedad de objetos que se pueden usar para comunicar información derivada de las imágenes. El objeto DICOM-SEG, requiere que todos los objetos contengan el llamado "contexto compuesto". A nivel del paciente, el contexto compuesto incluye atributos identificativos y descriptivos como el nombre del paciente, número de identificación, edad y sexo. El contexto del estudio incluye la fecha y hora en que comenzó el estudio de imagen, la identificación única del estudio y otra información común a todas las series del estudio. El contexto compuesto permite una indexación coherente y referencias cruzadas de los diversos objetos. Además del contexto compuesto compartido, los objetos DICOM derivados suelen contener referencias explícitas a los objetos "fuente" de los que se derivaron, lo que admite el registro de la procedencia de la derivación del objeto, así como la funcionalidad de la aplicación, como la superposición durante la renderización.

En la figura 3 se muestra un ejemplo de varias relaciones entre los objetos discutidos por (Andriy Fedorov et al., 2016 ). DICOM RWVM, SEG y la medición de los reportes estructurados son objetos derivados. DICOM SR con la información clínica codifica la información sobre el paciente almacenada originalmente en la base de datos relacional. Las líneas continuas denotan una referencia explícita de las instancias de objeto por los objetos derivados (la instancia a la que se hace referencia está apuntada por la flecha). Las flechas bidireccionales discontinuas denotan los identificadores comunes (es decir, contexto compuesto común, p. Ej., A nivel del paciente y del estudio).

La conversión de formatos de investigación a DICOM se basa en los metadatos necesarios para crear un objeto DICOM válido y significativo. El imagis 3.0 hace uso de librerías (por ejemplo, **DCMTK**, **Dcmqi** ) que tienen como objetivo reducir la carga del usuario al proporcionar dichos metadatos. Inevitablemente, algunos de los metadatos no están presentes en los datos de origen y el usuario debe completarlos. Estos atributos se especifican mediante la notación de objetos JavaScript (JSON), formalizada por un esquema JSON definido para los tipos de datos individuales que se admiten.

**Figura 3: Ilustración de las relaciones entre los objetos DICOM**



#### 4.2 Generar plantillas.

Después de codificar y ordenar los valores morfométricos, se crearon plantillas. Las plantillas ofrecen una guía estructural en la construcción de informes. En el ejercicio del análisis cuantitativo los especialistas generan plantillas que contiene la descripción completa de los cambios anatómicos y funcionales. Dejando la posibilidad de que para cada enfermedad, también se definan plantillas de diagnóstico, incluida la información sobre la etiología, patogenia y gravedad que ofrece el examen.

Las distintas plantillas contienen atributos, restricciones y relaciones entre campos, siguiendo la normativa propuesta por el estándar DICOM-SR.

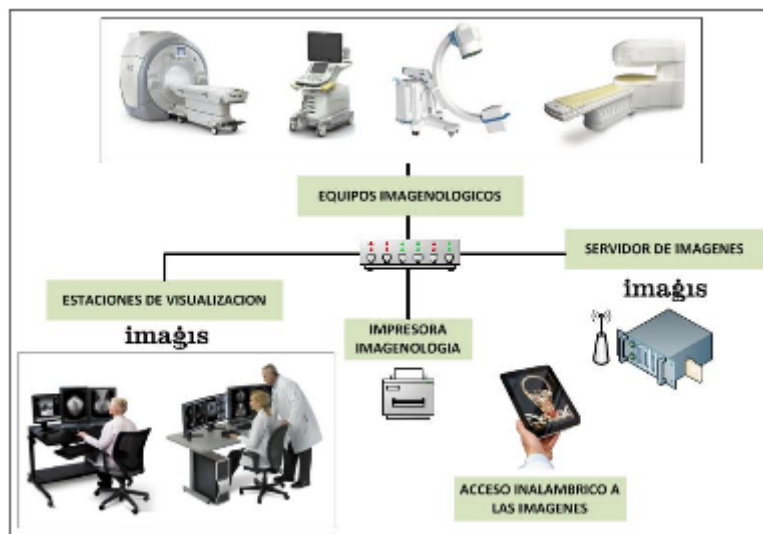
#### 4.3 Reportes

Con base en las plantillas creadas por la metodología descrita anteriormente, podemos generar informes que cubran una gran diversidad de patología radiológica. Cada informe se crea a partir de una plantilla que especifica su estructura.

La información clínica relevante disponible para los sujetos incluidos en un estudio incluye la historia clínica (como el diagnóstico y la patología, la administración de cirugía y radioterapia, y los datos demográficos) y los resultados (fecha de seguimiento y estado, y fecha de muerte, cuando corresponda). Esta información es importante para la interpretación y la reutilización secundaria de la imagen y el conjunto de datos cuantitativos, ya que contiene los puntos finales clínicamente relevantes para la evaluación del rendimiento de biomarcadores y proporciona predictores que se pueden utilizar para el aprendizaje automático.

El módulo de reportes en el iMagis 3.0 es una aplicación que se creó para generar los reportes que permitan el análisis y la comunicación de información numérica o no, en un reporte estructurado de radiología compatible con DICOM. Cada Qi en conjunto con la información clínica aparecerán codificadas en el reporte. Las imágenes se almacenan en formato DICOM. Finalmente, los reportes resultantes se almacenan en una base de datos y luego se utilizan para su representación en diferentes formatos (DICOM, XML, texto) en correspondencia con la arquitectura de red propuesta como se representa en la figura 4.

**Figura 4: Arquitectura de red utilizada para instaurar nuestra solución PACS.**



## 5. Resultados

La funcionalidad de generar reportes se expone a través de la interfaz gráfica de usuario en la plataforma Imagis 3.0. El módulo de reporte admite la anotación de imágenes de referencias y el flujo de trabajo de análisis cuantitativo que permite a un operador cargar una serie de imágenes DICOM, utilizar herramientas de segmentación automatizadas del Imagis 3.0 para definir el volumen de interés, calcular automáticamente el volumen de mediciones basadas en intereses y guardar el resultado de este flujo de trabajo como una colección de objetos DICOM con referencias cruzadas.

El objetivo de esta funcionalidad es simplificar el uso del estándar DICOM para fines de investigación de imágenes cuantitativas con el fin de respaldar la recopilación, el archivo y el intercambio estandarizados de resultados de investigación.

## 6. Conclusiones

Este trabajo ha demostrado que los radiólogos e investigadores pueden ser apoyados en el análisis de estudios con herramientas como el Imagis 3.0 que permitan explotar las



potencialidades que el estándar DICOM da. Se implementó una metodología estructurada de reporte de diagnóstico radiológico, en un ambiente DICOM. Incluye datos de análisis cuantitativo y plantillas que cubren el diagnóstico de la mayor parte de la patología radiológica.

El uso del sistema mencionado salvaguarda el tiempo valioso utilizado para concebir un análisis mediante segmentación o medición y simplifica el flujo de trabajo diario de un radiólogo con respecto a las revisiones y estudio de imágenes médicas.

## 7. Bibliografía

1. Bidgood Jr, W. D., Horii, S. C., Prior, F. W., & Van Syckle, D. E. (1997). Understanding and using DICOM, the data interchange standard for biomedical imaging. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 4(3), 199-212.
2. Buckler, A. J., Mozley, P. D., Schwartz, L., Petrick, N., McNitt-Gray, M., Fenimore, C., ... & Sullivan, D. (2010). Volumetric CT in lung cancer: an example for the qualification of imaging as a biomarker. *Academic radiology*, 17(1), 107-115.
3. Dachman, A. H., MacEneaney, P. M., Adedipe, A., Carlin, M., & Schumm, L. P. (2001). Tumor size on computed tomography scans: is one measurement enough?. *Cancer*, 91(3), 555-560.
4. Fedorov, A., Clunie, D., Ulrich, E., Bauer, C., Wahle, A., Brown, B., ... & Beichel, R. R. (2016). DICOM for quantitative imaging biomarker development: a standards based approach to sharing clinical data and structured PET/CT analysis results in head and neck cancer research. *PeerJ*, 4, e2057.
5. Higano, S., Yun, X., Kumabe, T., Watanabe, M., Mugikura, S., Umetsu, A., ... & Takahashi, S. (2006). Malignant astrocytic tumors: clinical importance of apparent diffusion coefficient in prediction of grade and prognosis. *Radiology*, 241(3), 839-846.
6. Kumar, V., Gu, Y., Basu, S., Berglund, A., Eschrich, S. A., Schabath, M. B., ... & Gillies, R. J. (2012). Radiomics: the process and the challenges. *Magnetic resonance imaging*, 30(9), 1234-1248.
7. Lores, H. B., Muñoz, R. M., Mengana, S. D., Polanco, S. Z., Rubio, R. R., Pujals, A. M., & Berenguer, A. S. RED ORIENTAL DE IMÁGENES MÉDICAS EN CUBA MEDICAL IMAGING NETWORK IN EASTERN CUBA.
8. Ohba, Y., Nomori, H., Shibata, H., Kobayashi, H., Mori, T., Shiraishi, S., & Nakashima, R. (2009). Evaluation of semiquantitative assessments of fluorodeoxyglucose uptake on positron emission tomography scans for the diagnosis of pulmonary malignancies 1 to 3 cm in size. *The Annals of thoracic surgery*, 87(3), 886-891.

9. **Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, I. J., Appleton, G., Axton, M., Baak, A., ... & Mons, B. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific data*, 3(1), 1-9.**

