

# Estimación de la calidad de imágenes médicas 3D por medio de aprendizaje automático

**Curso:** Ingeniería Informática 2022-2023.

**Autor:** Brian Sena Simons.

**Tutor:** Dr. Pablo Mesejo Santiago.

**Co-Tutor:** Dr. Enrique Bermejo Nieves.

Granada, 1 de septiembre de 2023



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

ETSIIT

Escuela Técnica Superior  
de Ingenierías Informática  
y de Telecomunicación

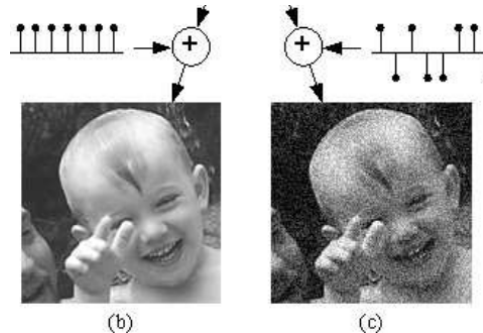


# Índice

- 1 Introducción
  - Contexto
  - Subproblemas
  - Motivación
  - Objetivos
- 2 Estado del arte
  - Búsquedas Scopus
  - Estado del arte IQA
  - Estado del arte PCQA
  - Estado del arte en imágenes médicas
- 3 Materiales y métodos
  - Materiales
  - Métodos
  - Entorno
- 4 Experimentación
  - Protocolo de validación
  - Modelo NR3DQA
  - Modelo VQA-PC
- 5 Conclusiones y trabajos futuros
  - Conclusiones

# Contexto

- **La información visual** es cada vez más importante.
  - Tanto para el entretenimiento como para el ámbito biomédico.
- tarea de medir y cuantificar la calidad perceptual humana de una imagen (IQA).
  - Factores importantes: **contenido, contraste, distorsiones y la percepción humana**

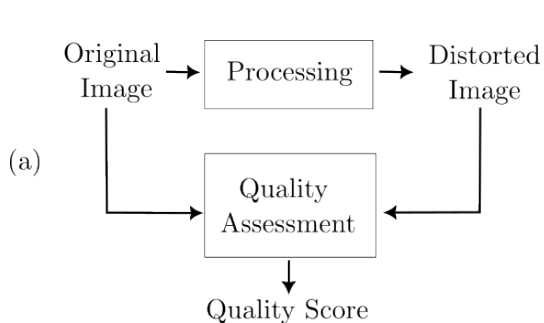
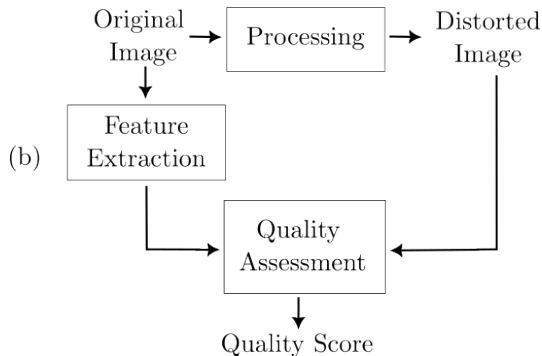


**Figura:** Imágenes distorsionadas equidistantes<sup>1</sup>

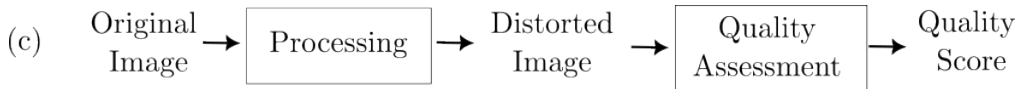
<sup>1</sup>Kalpna Seshadrinathan, Thrasyvoulos Pappas, Robert Safranek, Junqing Chen, Zhou Wang, Hamid Sheikh y Alan Bovik. «Image Quality Assessment». En: *The Essential Guide to Image Processing* (2009), págs. 553-595.

## Subproblemas

## Estimación con referencia

**Figura:** Problema con referencia (FR).**Figura:** Problema con referencia reducida (RR).

# Estimación sin referencia

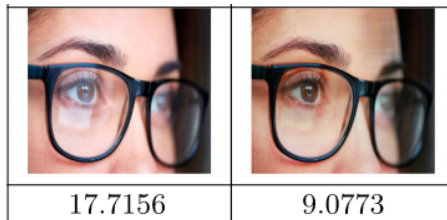


**Figura:** Problema sin referencia (NR).

- 1 El subproblema más **difícil**.
- 2 Debemos disponer de conocimientos sobre:
  - 1 Naturaleza de las imágenes.
  - 2 Efecto de las distorsiones.
- 3 **Este TFG** aborda la estimación, **sin referencia**, de calidad de imágenes médicas 3D.

# Aplicaciones

- 1 **Comparativa** entre algoritmos de compresión.
- 2 **Recuperación** de la información.
- 3 **Evaluar** errores de transmisión.



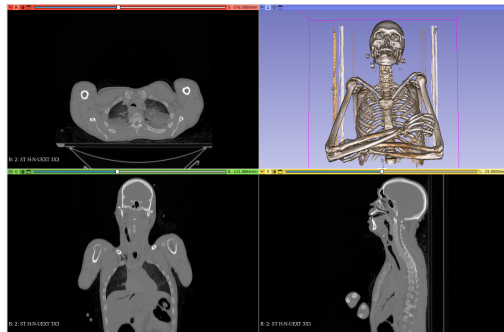
**Figura:** Eliminación de reflejos en imágenes<sup>2</sup> con medida de calidad BRISQUE<sup>3</sup>.

<sup>2</sup>Maimoona Rafiq, Usama Bajwa, Ghulam Gilanie y Waqas Anwar. «Reconstruction of scene using corneal reflection». En: *Multimedia Tools and Applications* 80 (jun. de 2021), págs. 1-17

<sup>3</sup>Anish Mittal, Anush Krishna Moorthy y Alan Conrad Bovik. «No-reference image quality assessment in the spatial domain». En: *IEEE Transactions on Image Processing (TIP)* 21.12 (2012), págs. 4695-4708

# Motivación

- Cada vez **más frecuentemente** se emplean volúmenes tridimensionales.
- No obstante, las distorsiones **afectan al volumen 3D generado**.
- Las contribuciones relativas al IQA en la medicina resulta en:
  - Reducción de costes.
  - Reducción de tiempo de consulta.
  - Mejora de calidad del diagnóstico.

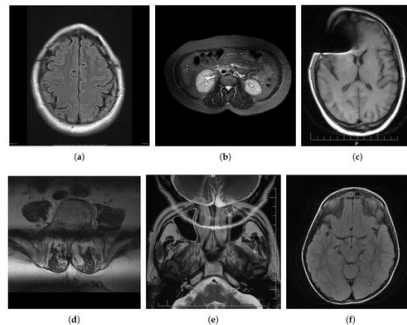


**Figura:** Ejemplo de visualización 3D (Slicer<sup>4</sup>).

<sup>4</sup>Andriy Fedorov et al. «3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network». En: *Magnetic Resonance Imaging* 30.9 (2012), págs. 1323-1341.

# Problemáticas

- El número de métodos propuestos para 3D **decrece sustancialmente**.
- La naturaleza de las imágenes médicas **reduce** la precisión de modelos IQA estándares.
- No hay **ningún** método aplicado **directamente** a imágenes médicas 3D.



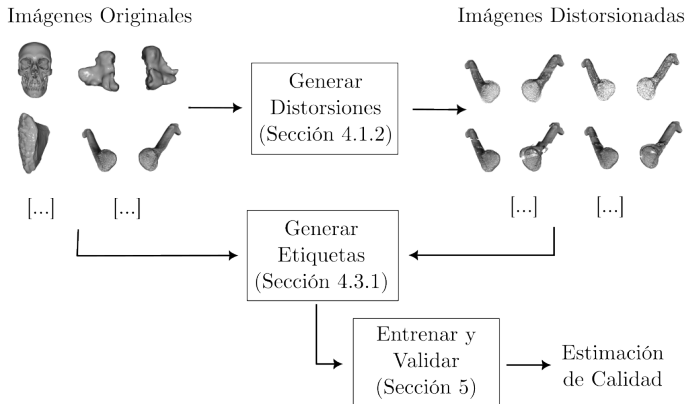
**Figura:** Ejemplo de distorsiones médicas<sup>5</sup>.

<sup>5</sup>Igor Stepien y Mariusz Oszust. «A Brief Survey on No-Reference Image Quality Assessment Methods for Magnetic Resonance Images». En: *Journal of Imaging* 8.6 (2022).

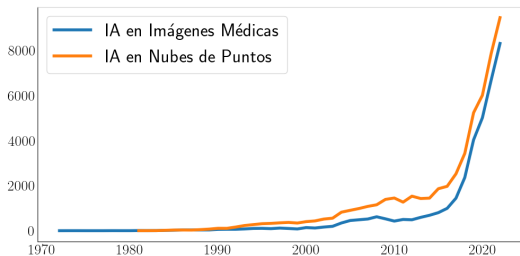


# Objetivos

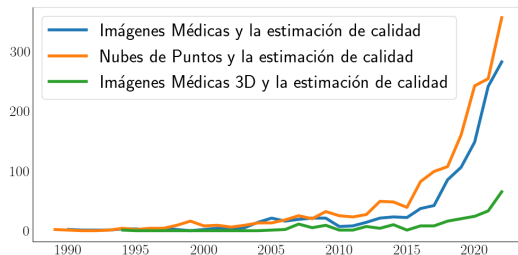
- 1 Estudio exhaustivo del estado del arte.
- 2 Generación de datos sintéticos.
- 3 Validar métodos más prometedores.



# Tendencia Scopus



**Figura:** Aprendizaje automático en medicina (azul) y nubes de puntos (naranja). **Ambos superan los 6000 documentos.**



**Figura:** Estimación de calidad en imágenes médicas (azul), nubes de puntos (naranja) y en imágenes médicas 3D (verde). Esta última, tan solo llega a **60 publicaciones**

## Estado del arte IQA

## Estado del arte FR-IQA

- 1 Están basados en los avances del conocimiento sobre el sistema visual humano (HVS):
- 1 Cuantificación de la señal.
  - 2 La **sensibilidad al contraste**.
  - 3 Hipótesis de percepción a través de: **brillo, contraste y estructuras**.
  - 4 La **saliencia visual**.
  - 5 Empleo de **modelos DL**.

Métrica	LIVE		
	SRCC	PLCC	RMSE
PSNRHVS	0.919	0.903	12.540
UQI	0.894	0.899	11.982
SSIM	0.948	0.845	8.946
VSI	0.952	0.948	8.682
DSS	0.962	0.931	9.961
CD-MMF	<b>0.981</b>	<b>0.980</b>	<b>5.413</b>
WaDIQaM	0.970	<b>0.980</b>	-

**Tabla:** Progreso de las métricas FR conforme avanza los conocimientos del HVS, ML y DL<sup>6</sup>.

<sup>6</sup>Yuzhen Niu, Yini Zhong, Wenzhong Guo, Yiqing Shi y Peikun Chen. «2D and 3D Image Quality Assessment: A Survey of Metrics and Challenges». En: *IEEE Access* 7 (2019), págs. 782-801.

# Estado del arte FR-IQA

- 1 Están basados en los avances del conocimiento sobre el sistema visual humano (HVS):
  - 1 Cuantificación de la señal.
  - 2 La **sensibilidad al contraste**.
  - 3 Hipótesis de percepción a través de: **brillo, contraste y estructuras**.
  - 4 La **saliencia visual**.
  - 5 Empleo de **modelos DL**.

Métrica	LIVE		
	SRCC	PLCC	RMSE
PSNRHVS	0.919	0.903	12.540
UQI	0.894	0.899	11.982
SSIM	0.948	0.845	8.946
VSI	0.952	0.948	8.682
DSS	0.962	0.931	9.961
CD-MMF	<b>0.981</b>	<b>0.980</b>	<b>5.413</b>
WaDIQaM	0.970	<b>0.980</b>	-

**Tabla:** Progreso de las métricas FR conforme avanza los conocimientos del HVS, ML y DL<sup>6</sup>.

<sup>6</sup>Niu, Zhong, Guo, Shi y Chen, «2D and 3D Image Quality Assessment: A Survey of Metrics and Challenges».

# Estado del arte FR-IQA

- 1 Están basados en los avances del conocimiento sobre el sistema visual humano (HVS):
  - 1 Cuantificación de la señal.
  - 2 La **sensibilidad al contraste**.
  - 3 Hipótesis de percepción a través de: **brillo, contraste y estructuras**.
  - 4 La **saliencia visual**.
  - 5 Empleo de **modelos DL**.

Métrica	LIVE		
	SRCC	PLCC	RMSE
PSNRHVS	0.919	0.903	12.540
UQI	0.894	0.899	11.982
<b>SSIM</b>	0.948	0.845	8.946
VSI	0.952	0.948	8.682
DSS	0.962	0.931	9.961
CD-MMF	<b>0.981</b>	<b>0.980</b>	<b>5.413</b>
WaDIQaM	0.970	<b>0.980</b>	-

**Tabla:** Progreso de las métricas FR conforme avanza los conocimientos del HVS, ML y DL<sup>6</sup>.

<sup>6</sup>Niu, Zhong, Guo, Shi y Chen, «2D and 3D Image Quality Assessment: A Survey of Metrics and Challenges».

# Estado del arte FR-IQA

- 1 Están basados en los avances del conocimiento sobre el sistema visual humano (HVS):
  - 1 Cuantificación de la señal.
  - 2 La **sensibilidad al contraste**.
  - 3 Hipótesis de percepción a través de: **brillo, contraste y estructuras**.
  - 4 La **saliencia visual**.
  - 5 Empleo de **modelos DL**.

Métrica	LIVE		
	SRCC	PLCC	RMSE
PSNRHVS	0.919	0.903	12.540
UQI	0.894	0.899	11.982
SSIM	0.948	0.845	8.946
<b>VSI</b>	0.952	0.948	8.682
DSS	0.962	0.931	9.961
CD-MMF	<b>0.981</b>	<b>0.980</b>	<b>5.413</b>
WaDIQaM	0.970	<b>0.980</b>	-

**Tabla:** Progreso de las métricas FR conforme avanza los conocimientos del HVS, ML y DL<sup>6</sup>.

<sup>6</sup>Niu, Zhong, Guo, Shi y Chen, «2D and 3D Image Quality Assessment: A Survey of Metrics and Challenges».

# Estado del arte FR-IQA

- 1 Están basados en los avances del conocimiento sobre el sistema visual humano (HVS):
  - 1 Cuantificación de la señal.
  - 2 La **sensibilidad al contraste**.
  - 3 Hipótesis de percepción a través de: **brillo, contraste y estructuras**.
  - 4 La **saliencia visual**.
  - 5 Empleo de **modelos DL**.

Métrica	LIVE		
	SRCC	PLCC	RMSE
PSNRHVS	0.919	0.903	12.540
UQI	0.894	0.899	11.982
SSIM	0.948	0.845	8.946
VSI	0.952	0.948	8.682
DSS	0.962	0.931	9.961
<b>CD-MMF</b>	<b>0.981</b>	<b>0.980</b>	<b>5.413</b>
WaDIQaM	0.970	<b>0.980</b>	-

**Tabla:** Progreso de las métricas FR conforme avanza los conocimientos del HVS, ML y DL<sup>6</sup>.

<sup>6</sup>Niu, Zhong, Guo, Shi y Chen, «2D and 3D Image Quality Assessment: A Survey of Metrics and Challenges».

# Estado del arte PCQA

- 1 Métodos para casos específicos.
- 2 Extracción de características del vecindario del punto.
  - 1 Características **geométricas**.
  - 2 Características **lumínicas**.
- 3 Métodos genéricos por ML.
- 4 Métodos genéricos por DL.
  - 1 **Proyecciones 2D**.
  - 2 **Interpretación 3D directa**.
  - 3 **Mixto**.

MODELO	STJU-PCQA		WPC	
	PLCC	SRCC	PLCC	SRCC
IT-PCQA	0.58	0.63	0.55	0.54
NR3DQA	0.738	0.714	0.651	0.647
GPA-Net	0.806	0.78	-	-
ResSCNN	0.86	0.81	0.72	0.75
VQA-PC	0.863	0.85	0.797	0.796
MM-PCQA	<b>0.92</b>	<b>0.91</b>	<b>0.83</b>	<b>0.83</b>

**Tabla:** Resumen del estado del arte de modelos NR-PCQA en dos datasets SJTU y WPC.



# Estado del arte PCQA

- 1 Métodos para casos específicos.
- 2 Extracción de características del vecindario del punto.
  - 1 Características **geométricas**.
  - 2 Características **lumínicas**.
- 3 Métodos genéricos por ML.
- 4 Métodos genéricos por DL.
  - 1 **Proyecciones 2D**.
  - 2 **Interpretación 3D directa**.
  - 3 **Mixto**.

MODELO	STJU-PCQA		WPC	
	PLCC	SRCC	PLCC	SRCC
IT-PCQA	0.58	0.63	0.55	0.54
<b>NR3DQA</b>	0.738	0.714	0.651	0.647
GPA-Net	0.806	0.78	-	-
ResSCNN	0.86	0.81	0.72	0.75
VQA-PC	0.863	0.85	0.797	0.796
MM-PCQA	<b>0.92</b>	<b>0.91</b>	<b>0.83</b>	<b>0.83</b>

**Tabla:** Resumen del estado del arte de modelos NR-PCQA en dos datasets SJTU y WPC.

# Estado del arte PCQA

- 1 Métodos para casos específicos.
- 2 Extracción de características del vecindario del punto.
  - 1 Características **geométricas**.
  - 2 Características **lumínicas**.
- 3 Métodos genéricos por ML.
- 4 Métodos genéricos por DL.
  - 1 **Proyecciones 2D**.
  - 2 **Interpretación 3D directa**.
  - 3 **Mixto**.

MODELO	STJU-PCQA		WPC	
	PLCC	SRCC	PLCC	SRCC
IT-PCQA	0.58	0.63	0.55	0.54
<b>NR3DQA</b>	0.738	0.714	0.651	0.647
GPA-Net	0.806	0.78	-	-
ResSCNN	0.86	0.81	0.72	0.75
<b>VQA-PC</b>	0.863	0.85	0.797	0.796
MM-PCQA	<b>0.92</b>	<b>0.91</b>	<b>0.83</b>	<b>0.83</b>

**Tabla:** Resumen del estado del arte de modelos NR-PCQA en dos datasets SJTU y WPC.

## Estado del arte en imágenes médicas

- 1 **No existe** una imagen o representación “**sin distorsión**” en la medicina.
- 2 Los métodos **actuales** utilizan adaptaciones **IQA** para exámenes médicos específicos como **MRI**.
- 3 **No se ha encontrado** nada específico en la literatura sobre métodos aplicados **directamente a reconstrucciones 3D**.

# Datos públicos SJTU

- 1 10 nubes de puntos de referencia.
- 2 7 tipos de **distorsiones**: compresión, ruido al color, ruido geométrico, ruido gaussiano y combinación entre ellas.
- 3 6 niveles de intensidad.
- 4 Total de 420 nubes de puntos.



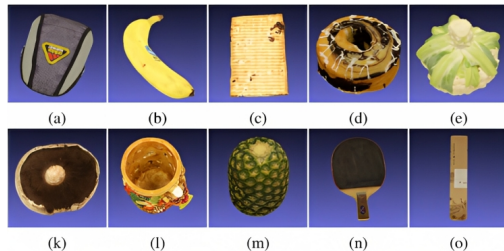
**Figura:** Ejemplo de conjuntos de datos SJTU<sup>7</sup>

<sup>7</sup>Qian Yang, Haichuan Chen, Zhihua Ma, Yue Xu, Rui Tang y Jian Sun. «Predicting the Perceptual Quality of Point Cloud: A 3D-to-2D Projection-Based Exploration». En: *IEEE Transactions on Multimedia* (2020).

## Materiales

## Datos públicos WPC

- 1 25 nubes de puntos de referencia.
- 2 5 tipos de **distorsiones**: sumuestreo, ruido gaussiano, *trisoop*, V-PCC y *octree*.
- 3 Longitud de **intensidades variantes**.
- 4 Total de 741 nubes de puntos.



**Figura:** Ejemplo de conjuntos de datos WPC<sup>8</sup>

<sup>8</sup>Qi Liu, Honglei Su, Zhengfang Duanmu, Wentao Liu y Zhou Wang. «Perceptual Quality Assessment of Colored 3D Point Clouds». En: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (TVCG)* (2022), págs. 1-1.

# Datos públicos LS-PCQA

- 1 104 nubes de puntos de referencia.
- 2 31 tipos de **distorsiones**.
- 3 7 niveles de intensidad.
- 4 Total de 22000 nubes de puntos.

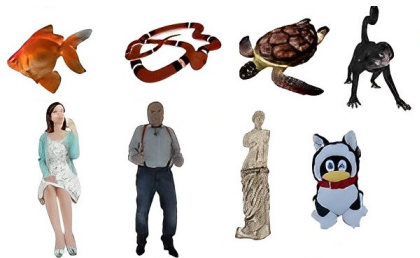
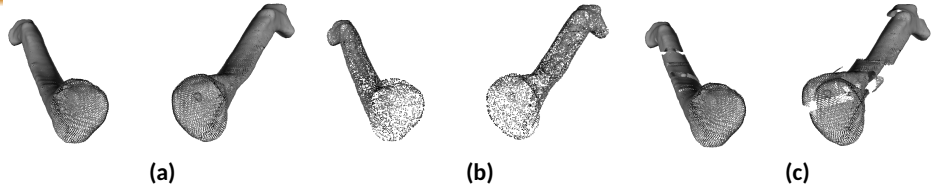


Figura: Ejemplo de conjuntos de datos LS-PCQA<sup>9</sup>

<sup>9</sup>Yipeng Liu, Qi Yang, Yiling Xu y Le Yang. «Point Cloud Quality Assessment: Dataset Construction and Learning-based No-Reference Metric». En: (2022). arXiv: 2012.11895.

## Datos médicos



**Figura:** Ejemplo de distorsiones generadas sobre clavículas, donde (a) es la imagen original, (b) la distorsionada por submuestreo y (c) por movimiento local.

- ❶ **11 nubes de puntos** de referencia.
- ❷ **5 tipos de distorsiones:** submuestreo, compresión, ruido, rotación y movimiento local.
- ❸ **7 niveles** de intensidad para un **total de 385 nubes de puntos**.

# Generación de etiquetas

Distortion	M-p2po	M-p2pl	H-p2po	H-p2pl	PCQM	GraphSIM	MPED
DownSample	<b>0.881</b>	0.626	0.841	0.811	0.524	0.842	0.857
GaussianShifting	0.741	0.718	0.829	<b>0.834</b>	0.816	0.742	0.598
LocalOffset	<b>0.937</b>	0.934	0.770	0.770	0.851	0.906	0.897
LocalRotation	0.819	0.712	<b>0.831</b>	0.734	0.657	0.723	0.742
Octree	0.779	0.788	<b>0.819</b>	0.752	0.676	0.757	0.710

**Tabla:** Tabla de correlación de métricas para generación de etiquetas.<sup>10</sup>.

	Parte I	Parte II
SROCC	0.903	0.879
PLCC	0.911	0.872

**Tabla:** Correlación de métricas sintéticas.<sup>10</sup>.

<sup>9</sup>Liu, Yang, Xu y Yang, «Point Cloud Quality Assessment: Dataset Construction and Learning-based No-Reference Metric».



# Métricas

## Correlación lineal de Pearson

$$PLCC(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}}$$

Evalúa si existe una **relación lineal** entre conjuntos.

## Correlación de orden de rango de Kendall

$$KROCC(x, y) = \frac{C-D}{\frac{1}{2}m(m-1)}$$

Evalúa la **concordancia y discordancia** de relación entre pares.

## Correlación de rangos de Spearman

$$SROCC(x, y) = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}}$$

Evalúa la relación lineal entre los **rankings**.

## Raíz del error cuadrático medio

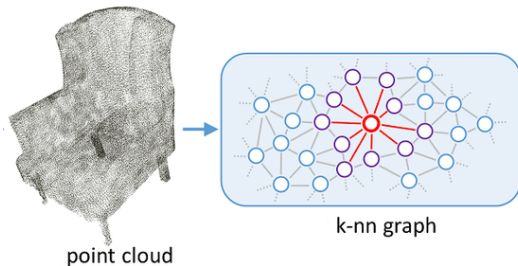
$$RMSE(x, y) = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_i - y_i)^2}$$

Evalúa la **diferencia media** de los pares de valores.

## Métodos

Modelo NR3DQA<sup>10</sup>**1 Extracción independiente del modelo.**

- Anisotropía
- Planaridad
- Esfericidad
- Curvatura
- Linealidad

**2 Descartamos las características lumínicas.****3 Usamos: media, desviación y entropía.**

**Figura:** Extracción de características del vecindario.

<sup>10</sup>Zicheng Zhang, Wei Sun, Xiongkuo Min, Tao Wang, Wei Lu y Guangtao Zhai. «No-Reference Quality Assessment for 3D Colored Point Cloud and Mesh Models». En: *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 32.11 (2022), págs. 7618-7631

## Métodos

Modelo VQA-PC<sup>11</sup>

- 1 Extracción automática de características.
- 2 Extracción **espacial y temporal** de las reconstrucciones.
  - Espacial por fotogramas estáticos de **distintas perspectivas**.
  - Temporal por tratar la **nube como video**.
- 3 Es como un **meta-modelo** de aprendizaje profundo.

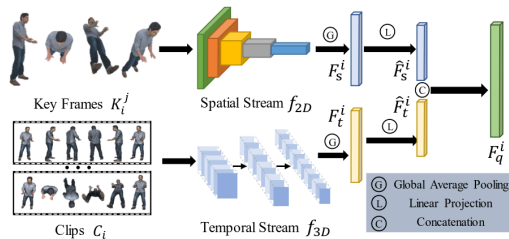


Figura: Estructura del modelo VQA-PC

<sup>11</sup>Zicheng Zhang, Wei Sun, Yucheng Zhu, Xiongkuo Min, Wei Wu, Ying Chen y Guangtao Zhai. «Treating Point Cloud as Moving Camera Videos: A No-Reference Quality Assessment Metric». En: (2022). arXiv: 2208.14085

## Tecnologías utilizadas



## Protocolo de validación

## Protocolo de validación



## Modelo NR3DQA

Modelo NR3DQA<sup>11</sup>

Dataset	PLCC	SROCC	KROCC
SJTU	<b>0.810325</b>	<b>0.777403</b>	<b>0.608302</b>
WPC	0.637953	0.634853	0.463578

**Tabla:** Replicando experimentos de Zhang et al<sup>11</sup>.

Etiqueta Sintética	Modelo	Escalado	PLCC	SROCC
Valor de la métrica	SVM	RobustScaler	0.2017	0.1776
Valor normalizado	KNNRegressor	RobustScaler	0.2671	0.1882
Valor en escala 0-5	DecisionTree	StandardScaler	<b>0.309176</b>	<b>0.196713</b>

**Tabla:** Resultados de prueba preliminar con NR3DQA<sup>11</sup>.

<sup>11</sup>Zhang, Sun, Min, Wang, Lu y Zhai, «No-Reference Quality Assessment for 3D Colored Point Cloud and Mesh Models»

# Modificaciones

- Weinmann et al<sup>12</sup> estudiaron los procesos de:
  - Segmentación.
  - Detección.
  - Clasificación.
- Justifican la importancia de:
  - Omnivarianza.
  - Entropía de los valores singulares.
  - Verticalidad del vecindario.

Dataset	PLCC	SROCC	KROCC
SJTU	<b>0.853709</b>	<b>0.820057</b>	<b>0.649406</b>
WPC	0.642356	0.62917	0.455562
Nuestro	0.344601	0.170793	–

**Tabla:** Resultado de mejoras sobre el método SVM.

<sup>12</sup>Martin Weinmann, Boris Jutzi, Clément Mallet y Michael Weinmann. «Geometric Features and Their Relevance for 3D Point Cloud Classification». En: *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences IV-1/W1* ().

## Modelo VQA-PC

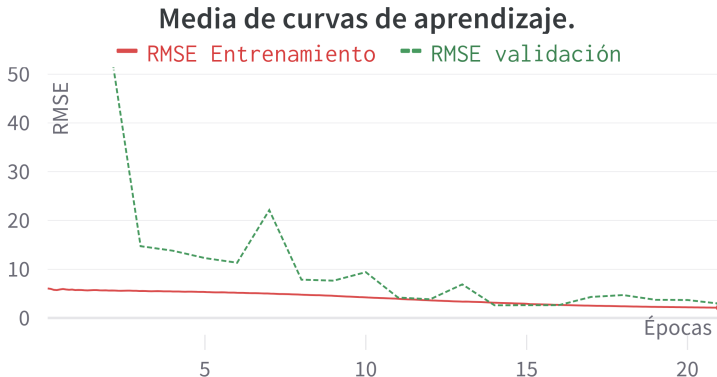
## Experimentos preliminares VQA-PC

Kfold	MSE	SROCC
0	13.9222	0.8995
1	418120.5625	0.8547
2	10.9271	0.9081
3	19.8226	0.9295
4	443.6077	0.8700
5	28.3165	0.9544
6	292.239	0.7675
7	329.0685	0.8833
8	357.0455	0.8647
<b>Promedio</b>	<b>46623.94</b>	<b>0.8813</b>

**Tabla:** Resultados de experimento preliminar.



# Curvas de aprendizaje VQA-PC



**Figura:** Curvas de aprendizaje del test preliminar.

# Modificaciones

- ➊ Abouelaziz et al<sup>13</sup> experimentaron **distintos métodos de fusión de características**.
  - Fusión por **concatenación** (F0).
  - Fusión por **multiplicación** (F1).
  - Fusión por **convolución 1x1** (F2).
  - Fusión por **compact multi-linear pooling** (F3).
- ➋ Experimentamos con todas ellas.
- ➌ Experimentamos con **etiquetas normalizadas o no**.
- ➍ En vez de recortar una selección local, **reescalar la imagen entera**.

---

<sup>13</sup>Ilyass Abouelaziz, Aladine Chetouani, Mohammed El Hassouni, Longin Jan Latecki y Hocine Cherifi. «No-reference mesh visual quality assessment via ensemble of convolutional neural networks and compact multi-linear pooling». En: *Pattern Recognition 100* (2020), pág. 107174.

# Experimentos finales VQA-PC

	Valor medio SROCC			
Modelo	Estándar	Normalizado	Reescalado	Ambos
VQA-PC (SJ TU)	0.7094	<b>0.6235</b>	<b>0.8425</b>	0.7126
VQA-PC F1	<b>0.7305</b>	0.6140	0.8164	0.7291
VQA-PC F2	0.6816	0.5770	0.8057	<b>0.7324</b>
VQA-PC F3	0.7080	0.5671	0.7482	0.7006

**Tabla:** Tabla de resultados iniciales sobre imágenes médicas.

# Resultados Finales

Modelo	SROCC		
	Media	Desviación	Mediana
VQA-PC Fo	0.8325	0.2017	0.9140
VQA-PC F1	0.8242	0.2025	0.9095
VQA-PC F2	<b>0.8757</b>	<b>0.1468</b>	<b>0.9347</b>
VQA-PC F3	0.8071	0.1811	0.8692

**Tabla:** Resultados en imágenes médicas reescaladas con modelos pre-entrenados sobre el conjunto de datos LS-PCQA<sup>10</sup>.

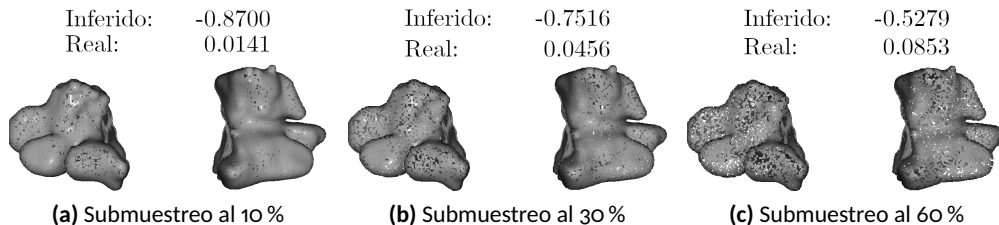
<sup>10</sup>Liu, Yang, Xu y Yang, «Point Cloud Quality Assessment: Dataset Construction and Learning-based No-Reference Metric»

# Conclusiones

- 1 **Primer método** que estima la calidad de reconstrucciones biomédicas 3D.
- 2 Se logra generar un **conjunto de datos médicos sintéticos** para estimación de calidad.
- 3 **Se justifica** el uso de modelos de **aprendizaje profundo experimentalmente**.
- 4 Pese a ser un estudio preliminar, obtenemos una **alta correlación (88 %)**. Indicador de lo prometedora que es esta línea de investigación.

## Conclusiones

## Conclusiones



**Figura:** Ejemplo de correspondencia de pendiente entre valores inferidos (sin normalizar) y los valores reales de las etiquetas.

- 1 Se han completado satisfactoriamente los objetivos planteados.
- 2 Se han abierto puertas a futuras investigaciones.
- 3 [https://github.com/CodeBoy-source/TFG\\_NRPCQA](https://github.com/CodeBoy-source/TFG_NRPCQA)

## Trabajos futuros

- 1 Rehacer el experimento con **etiquetas generadas manualmente**.
- 2 **Para mejorar el meta-modelo**, se podría **permitir la adaptación** del modelo de extracción de características **temporales**.
- 3 Simular distorsiones sobre **imágenes 2D** para obtener datos más **realistas**.
- 4 Explorar **otros métodos** de la literatura.

Dudas, preguntas o comentarios.

## Agradecimientos

# Gracias por su atención.

¿Dudas, preguntas o comentarios?