

**Programación Digital  
Avanzada**

---

**SEDE:** FRAY BENTOS

---



**INGENIERÍA  
BIOMÉDICA**

---

**Nombre del trabajo:** Tutoría: Procesamiento de  
Imágenes Termográficas

---

**Alumnos:** Gabriel Ferrer

**Docentes:** MSc. Bioing. BALDEZZARI Lucas

**Período:** 29 de Agosto 2025

## Introducción

En este trabajo integrador, analizamos imágenes termográficas para evaluar la radiodermitis en pacientes con cáncer de mama tratadas con radioterapia. Las imágenes, proporcionadas por el Bioing. Maximiliano Ernst.

El objetivo principal del trabajo es estudiar la evolución de la temperatura en regiones específicas de las mamas irradiadas versus no irradiadas en pacientes sometidas a tratamiento de radioterapia por cáncer de mama. Esto se logra mediante el procesamiento de imágenes termográficas almacenadas como matrices de temperaturas en archivos Excel, divididas en cuadrantes y subcuadrantes. Se analizan alteraciones térmicas asociadas a la radiodermitis, una complicación cutánea común en radioterapia, que implica inflamación y cambios en la piel debido a la irradiación. Se usó Python para procesar estas imágenes.

## Metodología y Métodos

### Estructura de Clases y Funciones Implementadas

Se implementó una clase principal llamada `ImagenTermo`, que encapsula todas las operaciones necesarias para cargar, procesar y visualizar imágenes termográficas. Esta clase es el núcleo del programa y no requiere clases adicionales, ya que las operaciones complementarias se manejan mediante funciones independientes. A continuación, se describe su estructura y la función de cada método:

- **Atributos de Instancia:**

- `data`: Un array de NumPy que almacena la matriz de temperaturas de la imagen termográfica (forma esperada: 120x160 píxeles).
- `dose`: Un entero que representa la dosis de radiación en cGy, extraído automáticamente del nombre del archivo o asignado manualmente.

- **Métodos Principales:**

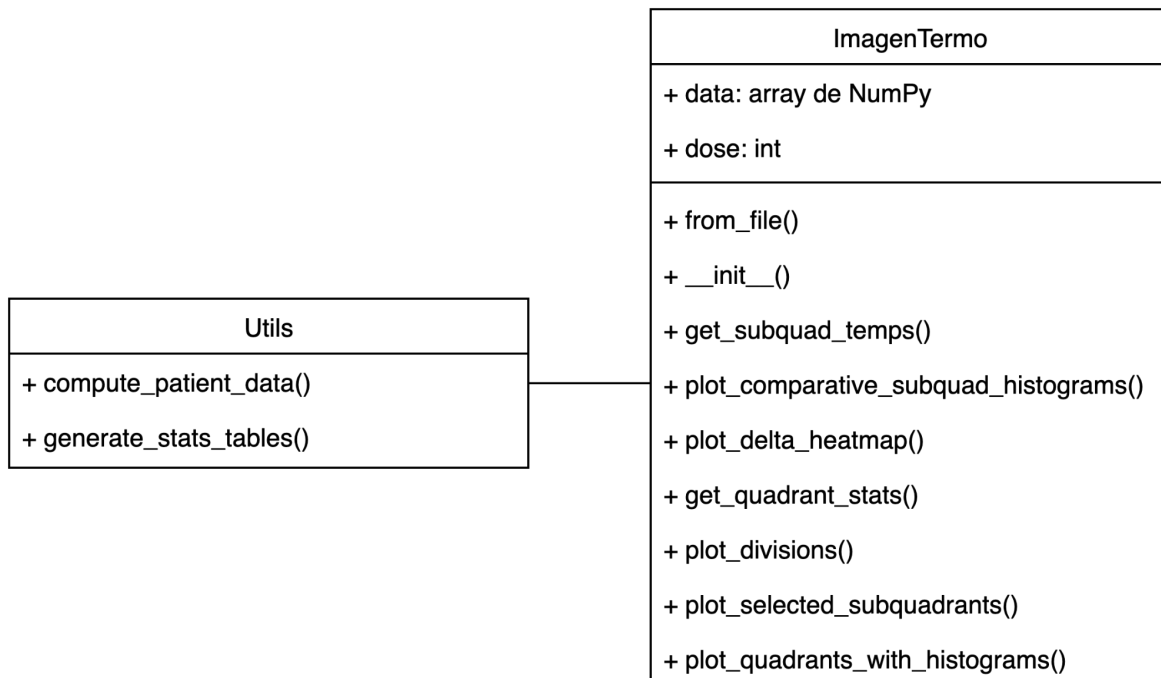
- `from_file` (método de clase): Carga la imagen desde archivos XLSX, CSV o NPY, parsea la dosis del nombre del archivo (asumiendo formato como "Imagen\_#.xlsx") y retorna una instancia de la clase.
- `__init__` (constructor): Valida y asigna los datos y la dosis.
- `get_subquad_temps`: Extrae temperaturas por encima de un umbral (por defecto 29°C) de un subcuadrante específico, diferenciando entre cuadrantes "no\_irradiado" (izquierda) e "irradiado" (derecha).
- `get_quadrant_stats`: Calcula estadísticas (máximo, mínimo, media, desviación estándar, varianza y mediana) para temperaturas filtradas en los subcuadrantes de interés (2.1, 2.2, 2.3, 3.1, 3.2, 3.3) de un cuadrante dado.
- `plot_divisions`: Grafica la imagen dividida en 3 filas x 8 columnas (4 por cuadrante), con etiquetas como "CNir1.1" y líneas de rejilla.

- `plot_selected_subquadrants`: Similar al anterior, pero destaca con rectángulos amarillos los subcuadrantes de interés.
- `plot_quadrants_with_histograms`: Muestra cada cuadrante con su imagen termográfica (colormap 'hot'), histograma de temperaturas >29°C e imprime las estadísticas.
- `plot_comparative_subquad_histograms`: Genera histogramas comparativos (verde para no irradiado, rojo para irradiado) para los subcuadrantes de interés.
- `plot_delta_heatmap`: Crea un mapa de calor de diferencias (deltas) de medias entre subcuadrantes correspondientes, con anotaciones y barra de color.

Además, se crearon dos funciones independientes:

- `compute_patient_data`: Procesa una lista de archivos de un paciente, calcula estadísticas por dosis y retorna un DataFrame con columnas como 'Paciente', 'Dosis', etc.
- `generate_stats_tables`: Combina datos de múltiples pacientes, genera y imprime tablas A (mama irradiada), B (mama no irradiada), C (combinada) y D (pivote de deltas por paciente y dosis).

## Diagrama de Clases y Relaciones



El diagrama se centra en una clase principal llamada **ImagenTermo** que maneja todo lo relacionado con una imagen individual, como atributos para almacenar los datos en un array de NumPy y la dosis de radiación como entero, junto con métodos para cargar archivos

(from\_file), inicializar (init), extraer temperaturas de subcuadrantes (get\_subquad\_temps), generar histogramas comparativos (plot\_comparative\_subquad\_histograms), mapas de calor de deltas (plot\_delta\_heatmap), calcular estadísticas de cuadrantes (get\_quadrant\_stats), y visualizar divisiones o subcuadrantes seleccionados (plot\_divisions, plot\_selected\_subquadrants, plot\_quadrants\_with\_histograms); esta clase es independiente y se enfoca en obtener datos de temperaturas por encima de 29°C y visualizaciones gráficas con Matplotlib. Por otro lado, hay un componente "Utils" que agrupa funciones utilitarias independientes, como compute\_patient\_data para procesar múltiples archivos de un paciente y generar un DataFrame con estadísticas ordenadas por dosis, y generate\_stats\_tables para combinar datos de varios pacientes y producir tablas resumidas (A, B, C y D), la relación entre ellos es de asociación simple, donde las funciones de "Utils" crean instancias temporales de ImagenTermo para cargar y analizar imágenes, sin herencia o composición. En uso práctico, se empieza con ImagenTermo para tareas individuales como cargar una imagen y generar plots específicos, mientras que "Utils" se emplea para análisis, como procesar listas de archivos de pacientes para obtener tablas.

## Procedimiento General

1. Cargar imágenes de pacientes.
2. Dividir en cuadrantes (izquierda: no irradiado, derecha: irradiado, asumiendo simetría).
3. Filtrar subcuadrantes de interés y temperaturas >29°C para evitar ruido ambiental.
4. Generar datos estadísticos y tablas.
5. Crear gráficas para visualización.
6. Analizar diferencias (deltas) para inferir efectos de la irradiación.

El umbral de 29°C se basa en la consigna implícita para enfocarse en temperaturas corporales relevantes. Se asume que las imágenes son de 120x160 píxeles, con subcuadrantes de 40x20.

## Resultados

Los resultados se obtuvieron procesando archivos de ejemplo para dos pacientes (Paciente 1: 'Imagen\_#.xlsx', Paciente 2: 'Imagen2\_#.xlsx', donde # es la dosis).

## Tablas Generadas

- **Tabla A (Mama Irradiada):** Registra por paciente y dosis: Temp media, Var, std, max, min:

**Tabla A – Mama irradiada:**

Paciente	Dosis	Temp media	Var	std	max	min
1	0	32.955100	0.660887	0.812950	35.104202	29.000198
1	1000	33.007094	0.433884	0.658699	34.599747	29.067459
1	2000	33.572641	0.612135	0.782390	35.793655	29.000198
1	3000	33.613018	0.487599	0.698283	35.154633	29.084259
1	4000	33.874535	0.505685	0.711115	35.406891	29.067459
1	5000	35.065269	0.683751	0.826892	36.583954	29.000198
2	0	33.208464	0.601463	0.775540	34.986496	29.067459
2	1000	32.654971	0.459267	0.677693	34.515671	29.117905
2	2000	32.135596	0.438706	0.662349	34.246613	29.067459
2	3000	32.883609	0.494014	0.702862	34.414780	29.000198
2	4000	33.617298	0.532292	0.729583	35.188263	29.000198
2	5000	32.946551	0.347501	0.589492	34.330704	29.000198

- **Tabla B (Mama No Irradiada):** Similar a A, pero para el cuadrante no irradiado. Muestra temperaturas estables o con variaciones menores.

**Tabla B – Mama no irradiada:**

Paciente	Dosis	Temp media	Var	std	max	min
1	0	31.873146	0.874483	0.935138	34.431580	29.000198
1	1000	31.057502	0.671671	0.819555	33.321762	29.000198
1	2000	31.666985	1.028091	1.013948	34.650192	29.000198
1	3000	31.262754	0.864136	0.929589	33.607635	29.033829
1	4000	31.861349	0.687952	0.829429	34.095276	29.033829
1	5000	32.819759	0.755291	0.869075	34.902420	29.033829
2	0	32.790746	0.863207	0.929089	35.121017	29.000198
2	1000	32.137345	0.669011	0.817931	34.431580	29.033829
2	2000	31.492549	0.724072	0.850924	34.162537	29.000198
2	3000	32.098456	0.636459	0.797784	34.263443	29.000198
2	4000	32.656367	0.668976	0.817910	34.818344	29.033829
2	5000	31.859414	0.677959	0.823383	34.212982	29.000198

- **Tabla C (Estadísticas Totales):** Combina A y B en un DataFrame amplio, permitiendo comparación directa.

Tabla C – Estadísticas totales:											
Paciente	Dosis	Temp media (irr)	Var (irr)	std (irr)	max (irr)	min (irr)	Temp media (non)	Var (non)	std (non)	max (non)	min (non)
1	0	32.955100	0.660887	0.812950	35.104202	29.000198	31.873146	0.874483	0.935138	34.431580	29.000198
1	1000	33.007094	0.433884	0.658699	34.599747	29.067459	31.057502	0.671671	0.819555	33.321762	29.000198
1	2000	33.572641	0.612135	0.782390	35.793655	29.000198	31.666985	1.028091	1.013948	34.650192	29.000198
1	3000	33.613018	0.487599	0.698283	35.154633	29.084259	31.262754	0.864136	0.929589	33.607635	29.033829
1	4000	33.874535	0.505685	0.711115	35.406891	29.067459	31.861349	0.687952	0.829429	34.095276	29.033829
1	5000	35.065269	0.683751	0.826892	36.583954	29.000198	32.819759	0.755291	0.869075	34.902420	29.033829
2	0	33.208464	0.601463	0.775540	34.986496	29.067459	32.790746	0.863207	0.929089	35.121017	29.000198
2	1000	32.654971	0.459267	0.677693	34.515671	29.117905	32.137345	0.669011	0.817931	34.431580	29.033829
2	2000	32.135596	0.438706	0.662349	34.246613	29.067459	31.492549	0.724072	0.850924	34.162537	29.000198
2	3000	32.883609	0.494014	0.702862	34.414780	29.000198	32.098456	0.636459	0.797784	34.263443	29.000198
2	4000	33.617298	0.532292	0.729583	35.188263	29.000198	32.656367	0.668976	0.817910	34.818344	29.033829
2	5000	32.946551	0.347501	0.589492	34.330704	29.000198	31.859414	0.677959	0.823383	34.212982	29.000198

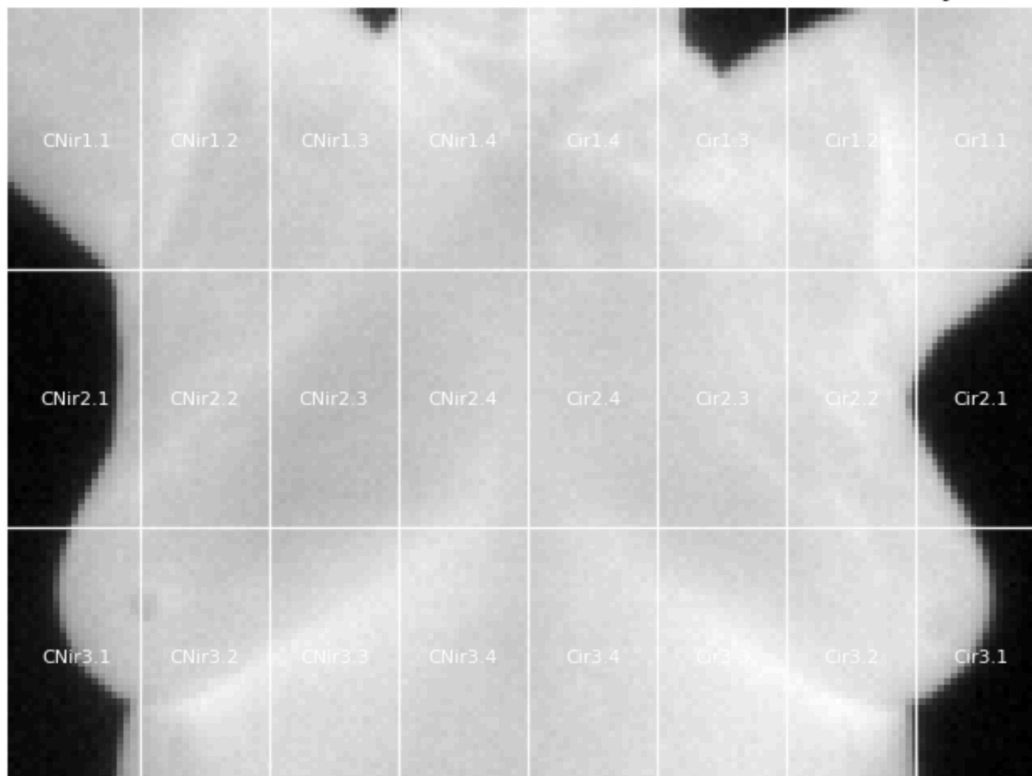
- **Tabla D (Deltas de Temperaturas Medias):** Pivote con pacientes en filas y dosis en columnas, valores = media\_irr - media\_non:

Tabla D – Diferencia (delta) de temperaturas medias:						
Dosis	0	1000	2000	3000	4000	5000
Paciente						
1	1.081954	1.949591	1.905657	2.350263	2.013186	2.245509
2	0.417719	0.517626	0.643047	0.785152	0.960931	1.087137

## Gráficas e imágenes obtenidas

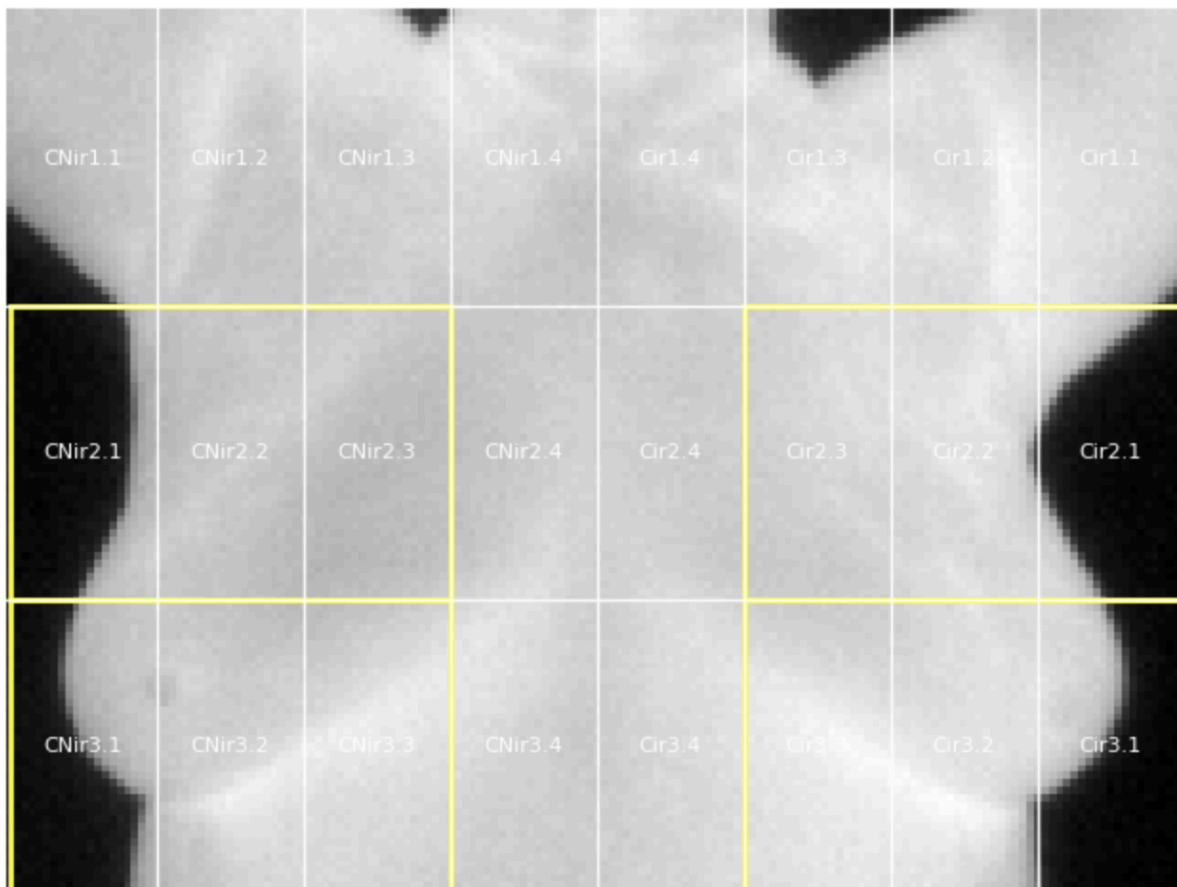
- **División en Subcuadrantes:** Imagen gris con rejilla y etiquetas (CNir/Cir), mostrando 12 subcuadrantes por cuadrante.

Subcuadrantes obtenidos de la división de los cuadrantes no irradiados y irradiados.

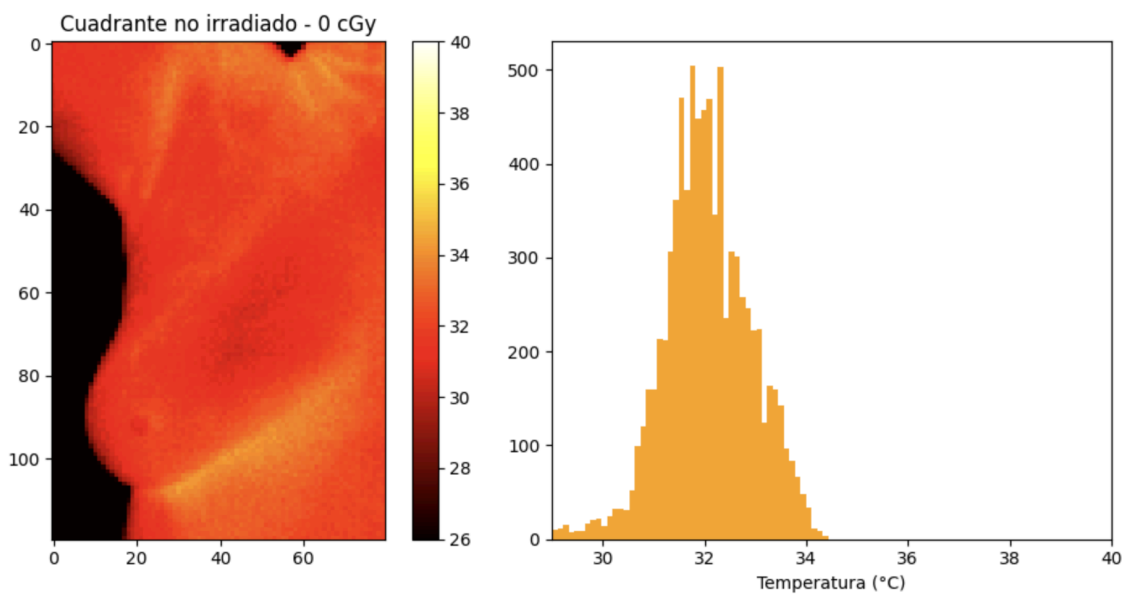


- **Subcuadrantes de Interés:** Similar, con rectángulos amarillos destacando filas 2 y 3, columnas .1-.3.

### Subcuadrantes de interés.



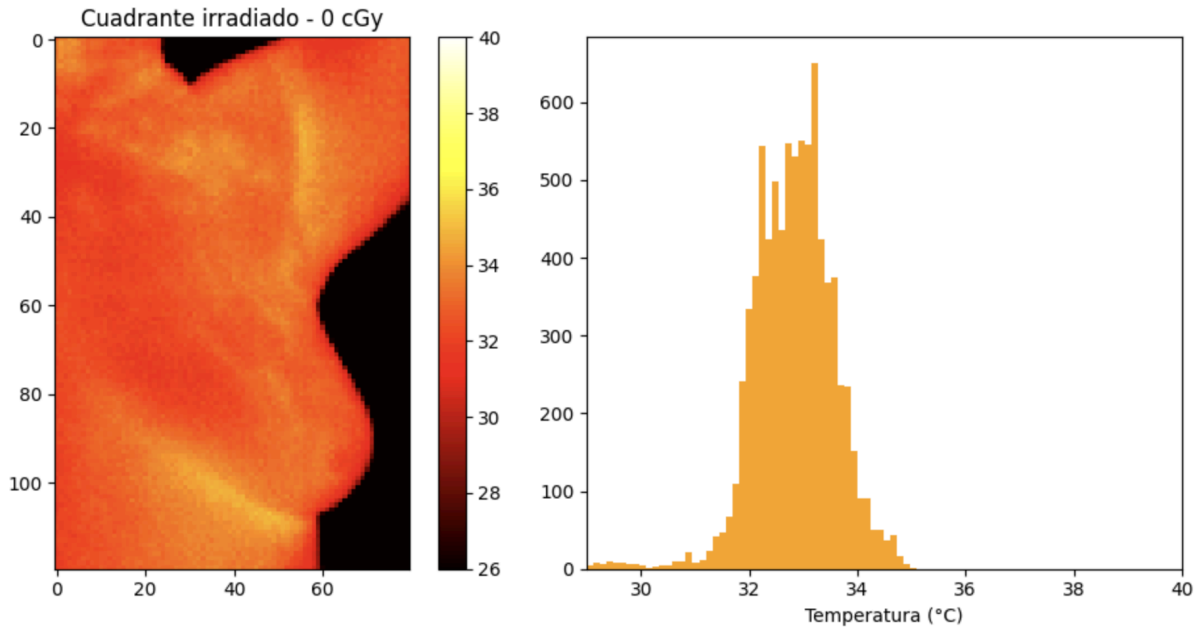
- **Cuadrantes con Histogramas:** Dos figuras: una por cuadrante, con imagen termográfica (colormap hot, rango 26-40°C), histograma (>29°C) e impresión de estadísticas.



```

Estadísticas para el cuadrante no irradiado (>29°C):
max: 34.4315795898438
min: 29.0001983642578
mean: 31.87314595755059
std: 0.9351381357940951
var: 0.874483330164554
median: 31.7411041259766

```

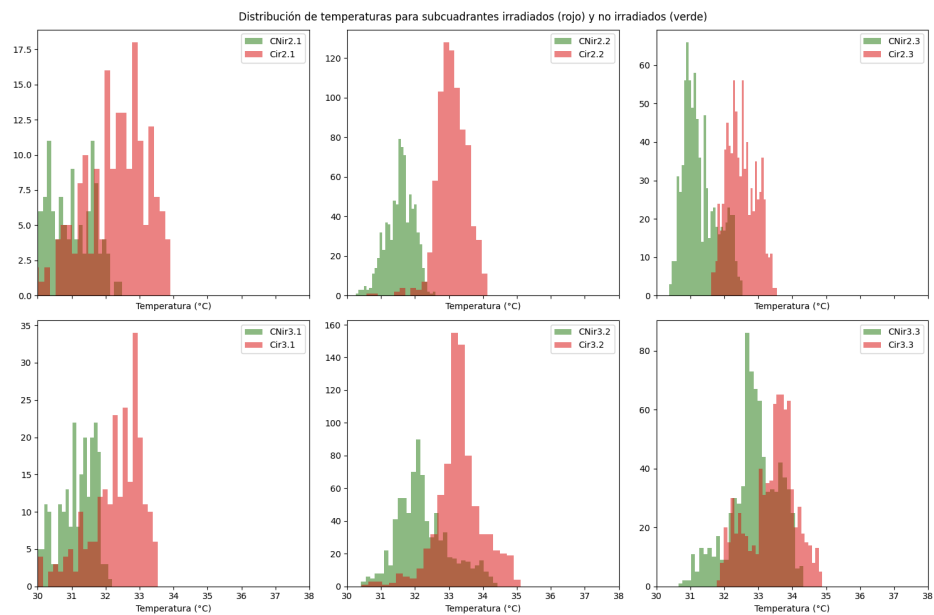


```

Estadísticas para el cuadrante irradiado (>29°C):
max: 35.1042022705078
min: 29.0001983642578
mean: 32.955099606389496
std: 0.8129496306791194
var: 0.6608871020213166
median: 33.0190887451172

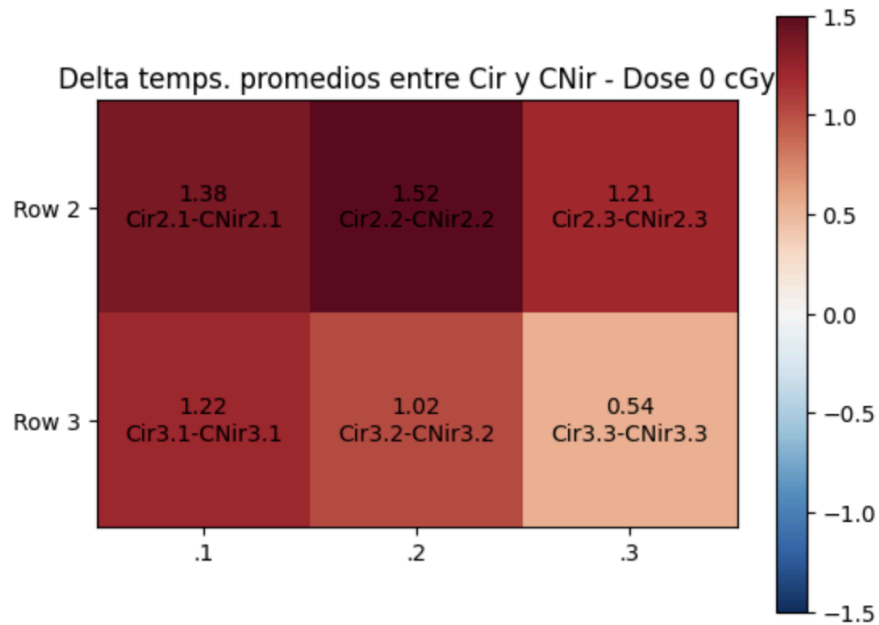
```

- **Histogramas Comparativos:** 6 subgráficos (2x3) con distribuciones superpuestas (verde/rojo) para subcuadrantes de interés.



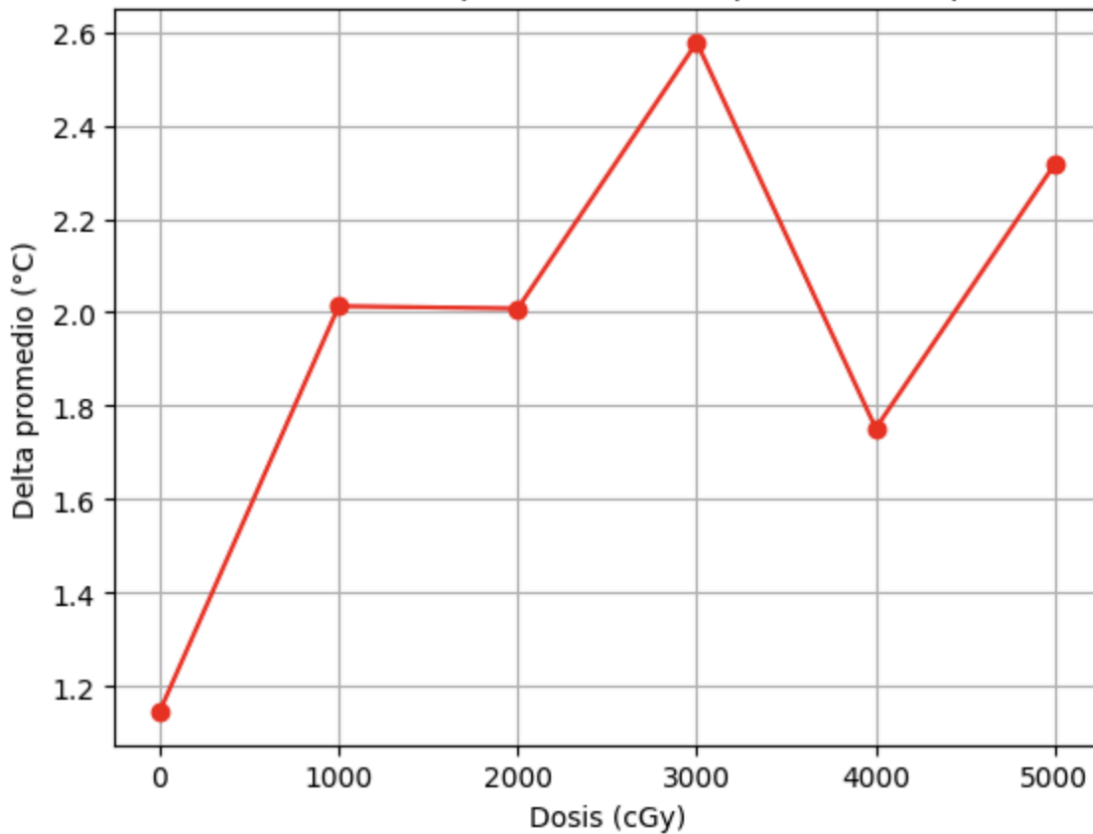


- **Mapa de Calor de Deltas:** Matriz 2x3 con deltas por subcuadrante, colormap RdBu\_r (-1.5 a 1.5), anotaciones y barra de color.



- **Evolución de Deltas:** Línea roja con marcadores, x=Dosis, y=Delta promedio, mostrando aumento progresivo.

Evolución del delta de temperatura con respecto al tiempo de las dosis



## **Análisis de los Resultados**

Los resultados indican un aumento gradual en la temperatura media del cuadrante irradiado con el incremento de la dosis, mientras que el no irradiado permanece estable. El desvío estándar y varianza son mayores en el irradiado.

Los histogramas comparativos muestran tendencias hacia temperaturas más altas en subcuadrantes irradiados. El mapa de calor de deltas resalta variaciones por subcuadrantes: mayores en fila 3. La evolución de deltas confirma una correlación positiva con la dosis.

## **Conclusiones**

El procesamiento implementado permite evaluar no invasivamente la radiodermatitis mediante termografía, detectando aumentos térmicos proporcionales a la dosis de radioterapia. Las mamas irradiadas muestran hipertermia progresiva, útil para monitoreo clínico y reducción de recurrencia en cáncer de mama. La clase ThermographicImage es robusta y extensible, cumpliendo los objetivos. Futuras mejoras: integración de aprendizaje automático para segmentación automática o análisis longitudinal con más datos. Este trabajo resalta el potencial de la programación en bioingeniería para insights clínicos.

## **Referencias**

[1] L. Baldezzari, "Tutoría: Procesamiento de Imágenes Termográficas," Programación Avanzada, Ing. Biomédica, UTEC Fray Bentos, Uruguay, 2025.