

# Análisis Cuantitativo del Sistema Inmunitario en Tableau

Gisela Belmonte Cruz

Diego Marrero Ferrera

Noviembre 2025

# Entregables

El análisis completo se encuentra disponible en formato reproducible **.twbx** (Tableau Packaged Workbook), que contiene los datos y visualizaciones del proyecto de forma dinámica, permitiendo su apertura y revisión en Tableau Desktop o Tableau Public.

Además, para evitar pérdidas, se descargó un **PowerPoint** con todas las gráficas creadas y se redactó el **presente informe** con las imágenes de las respectivas visualizaciones y una interpretación científica de los resultados obtenidos.

El trabajo sigue las directrices de la práctica de *Bioinformática: Análisis Cuantitativo del Sistema Inmunitario Humano*, basada en el artículo “*The total mass, number, and distribution of immune cells in the human body*” (Sender et al., PNAS, 2023). El objetivo es comprender cómo los datos cuantitativos permiten caracterizar el sistema inmunitario humano a gran escala y comunicar los resultados de forma visual y reproducible mediante Tableau.

## Marco teórico

El sistema inmunitario humano es un conjunto altamente distribuido de células, tejidos y órganos que trabajan de forma coordinada para proteger el organismo frente a infecciones y agentes extraños. Aunque se han estudiado sus funciones, hasta hace poco no existía una **cuantificación global** del número total de células inmunitarias ni de su masa total.

El estudio de **Sender et al. (PNAS, 2023)** resolvió este vacío mediante la integración de múltiples fuentes experimentales: histología, citometría, imagen multiplex y descomposición metilómica. Los autores estimaron que un individuo de referencia masculino (73 kg) posee aproximadamente:

- **1.8 billones** ( $1.8 \times 10^{12}$ ) **de células inmunitarias**.
- Una masa inmunitaria total de alrededor de **1.2 kg**.
- **Linfocitos**  $\approx 40\%$  del número total y  $15\%$  de la masa.
- **Macrófagos**  $\approx 10\%$  del número, pero casi  $50\%$  de la masa.

Estos resultados permiten una comprensión cuantitativa del sistema inmunitario: los órganos linfoides (médula ósea, bazo, ganglios linfáticos) concentran la mayoría de las células, mientras que otros tejidos (hígado, músculo, piel) también albergan poblaciones relevantes por su gran volumen corporal.

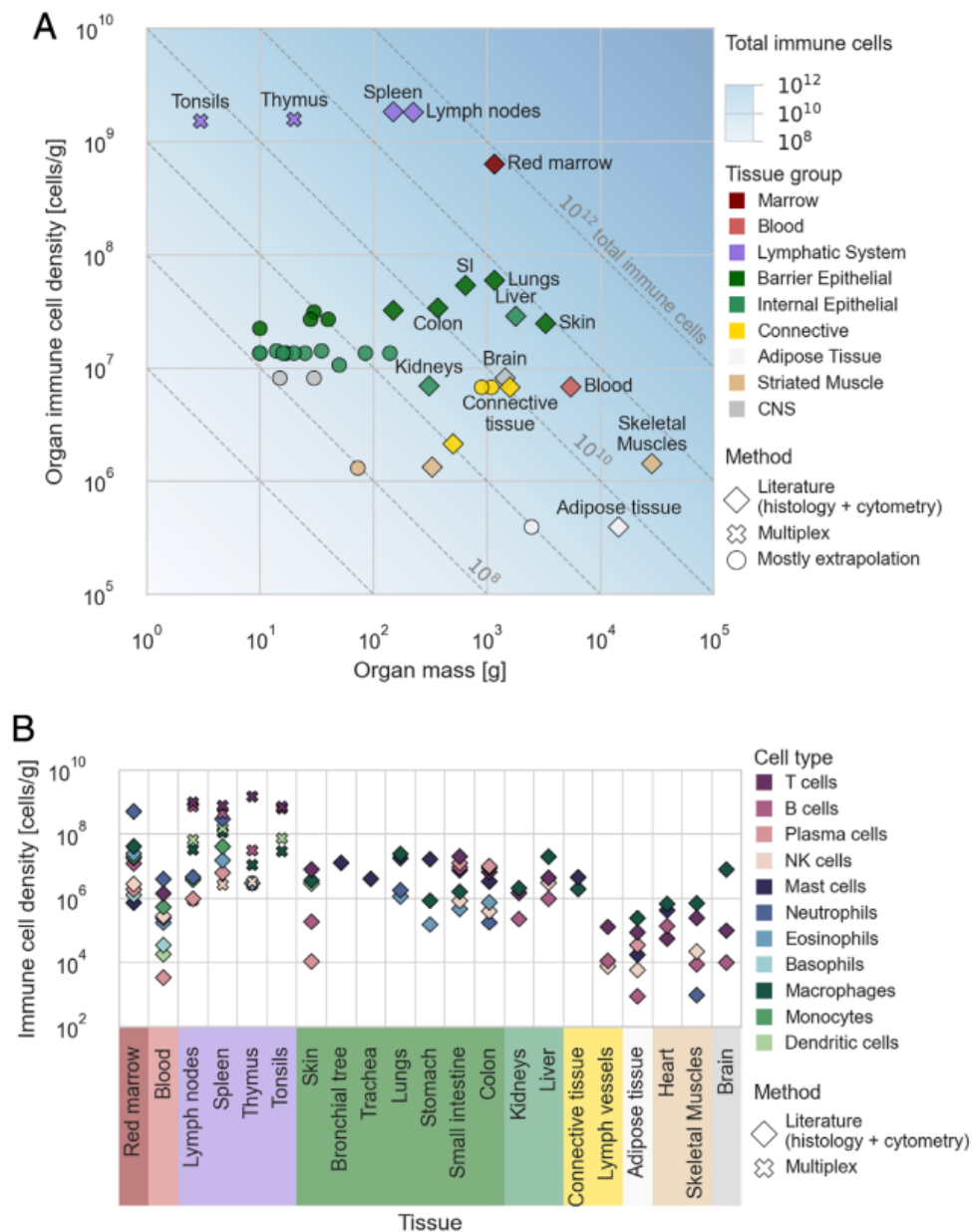


Figura 1: Esquema de los principales órganos y tipos celulares del sistema inmunitario humano.

## Metodología del análisis

Los datos originales del estudio se obtuvieron de los ficheros complementarios del artículo (pnas.2308511120.sd01.xlsx y pnas.2308511120.sd02.xlsx), que recogen las densidades celulares y masas tisulares. Estos datos fueron importados y tratados en **Ta-bleau**, con el objetivo de representar relaciones entre densidad, masa, tipos celulares y órganos.

Las principales tareas realizadas fueron:

- Limpieza y normalización de los valores de masa y densidad por órgano.

- Creación de campos calculados para obtener proporciones relativas y totales.
- Implementación de gráficos logarítmicos para visualizar diferencias de magnitud.
- Construcción de dashboards comparativos (por sexo, edad y tipo celular).

El análisis se realizó sobre tres perspectivas principales:

1. Distribución por órganos y sistemas.
2. Comparativa de masa y densidad por sexo y edad.
3. Análisis de tipos celulares (linfoides vs. mieloides).

## Resultados y visualizaciones

### 1. Densidad y masa por órganos

La siguiente figura presenta la relación entre la **densidad celular** y la **masa total** de los órganos inmunitarios. Se empleó escala logarítmica para facilitar la interpretación de los grandes rangos de variación.

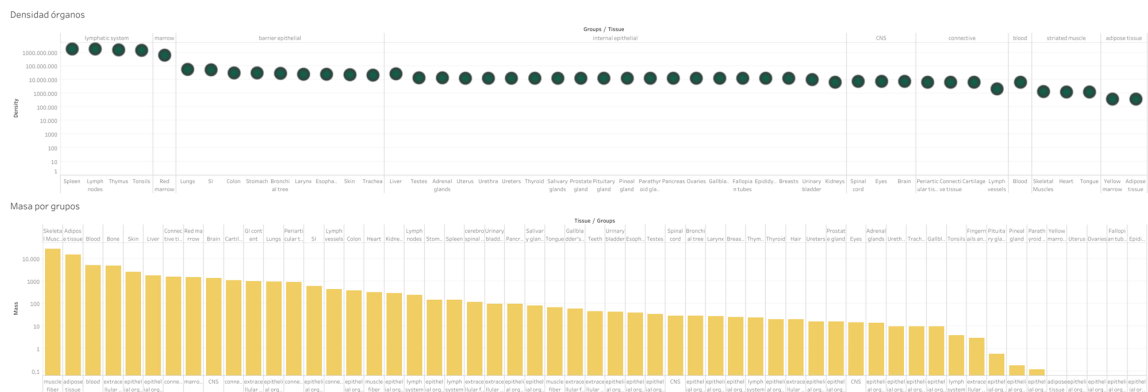


Figura 2: Relación entre densidad y masa en los principales órganos del sistema inmunitario.

Se observa que la **médula ósea** y los **ganglios linfáticos** concentran la mayor densidad y masa inmunitaria, confirmando su papel central. Por el contrario, tejidos como la piel o el epitelio presentan menor densidad pero gran contribución total debido a su extensión corporal.

### 2. Comparativa de masa entre hombres, mujeres y niños

Se generó un dashboard comparando tres poblaciones de referencia (hombre 73 kg, mujer 60 kg, niño 10 años). Las diferencias en masa total son proporcionales al tamaño corporal, pero la estructura relativa del sistema inmunitario se mantiene constante.

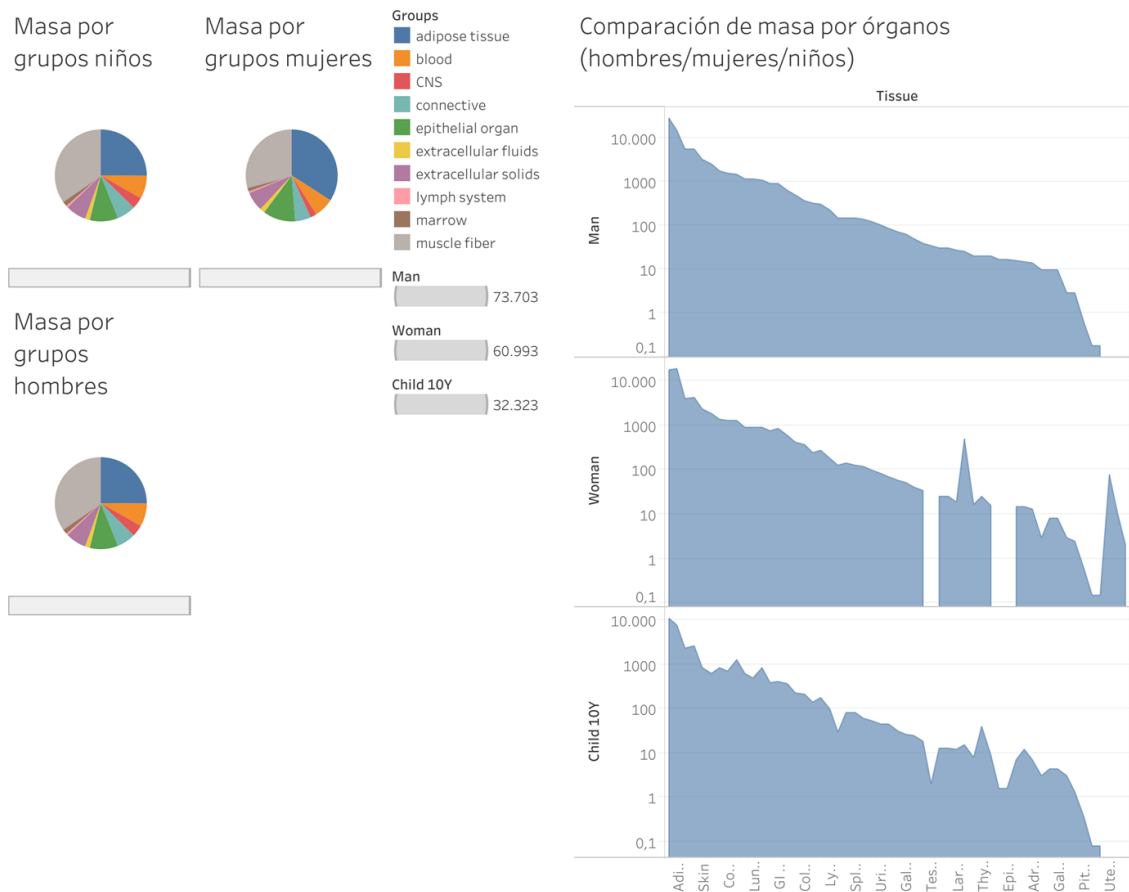


Figura 3: Comparación de masa inmunitaria por sexo y edad.

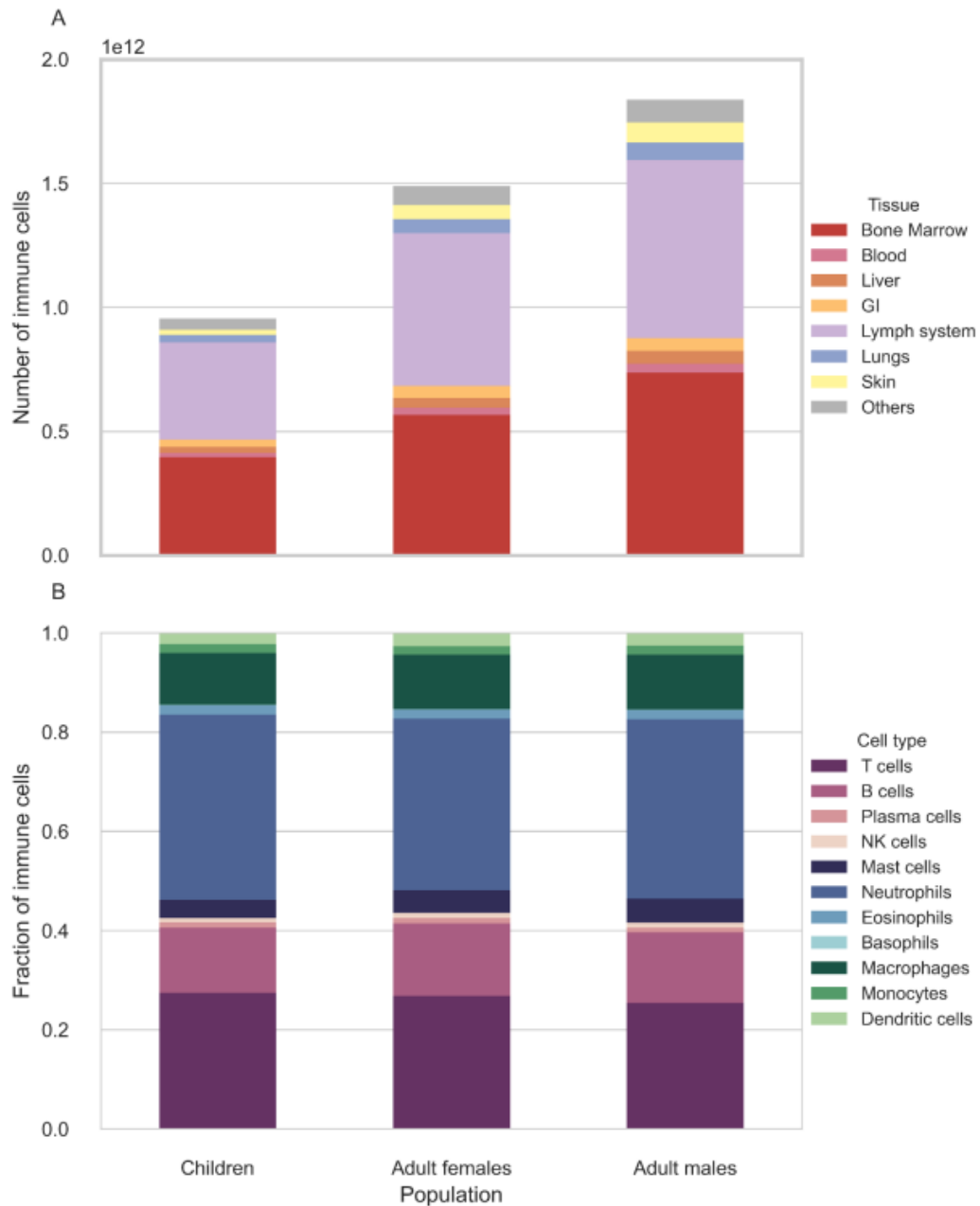


Figura 4: Efectos de edad y sexo en la distribución global de células inmunitarias (adaptado de Sender et al., 2023).

### 3. Análisis de linfocitos y células linfoides

El estudio diferencia entre células **linfoides** (T, B, NK, plasmáticas) y **mieloides** (macrófagos, neutrófilos, monocitos, etc.). Los linfocitos T y B son los más abundantes en número, mientras que los macrófagos dominan en masa total debido a su tamaño.

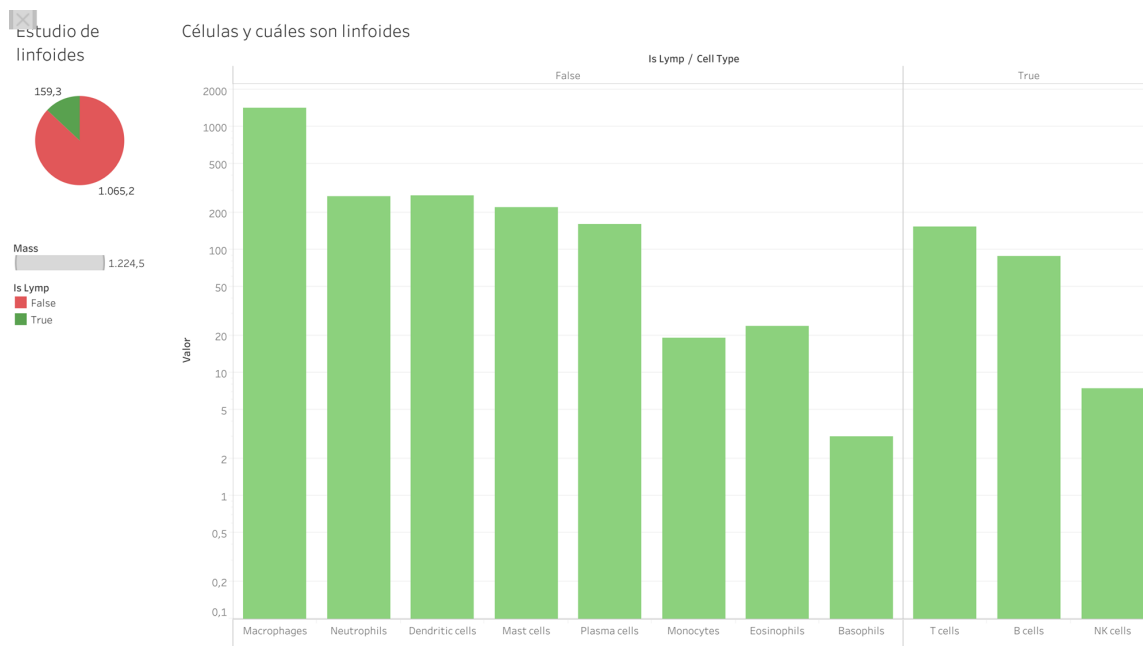


Figura 5: Distribución de células inmunitarias linfoides frente a no linfoides.

#### 4. Masa total por tipo de célula y órgano

La integración de los datos permite visualizar la contribución de cada tipo celular a la masa total por órgano. Los macrófagos destacan como el principal componente en términos de masa (aprox. 600 g), seguidos por neutrófilos y dendríticas.

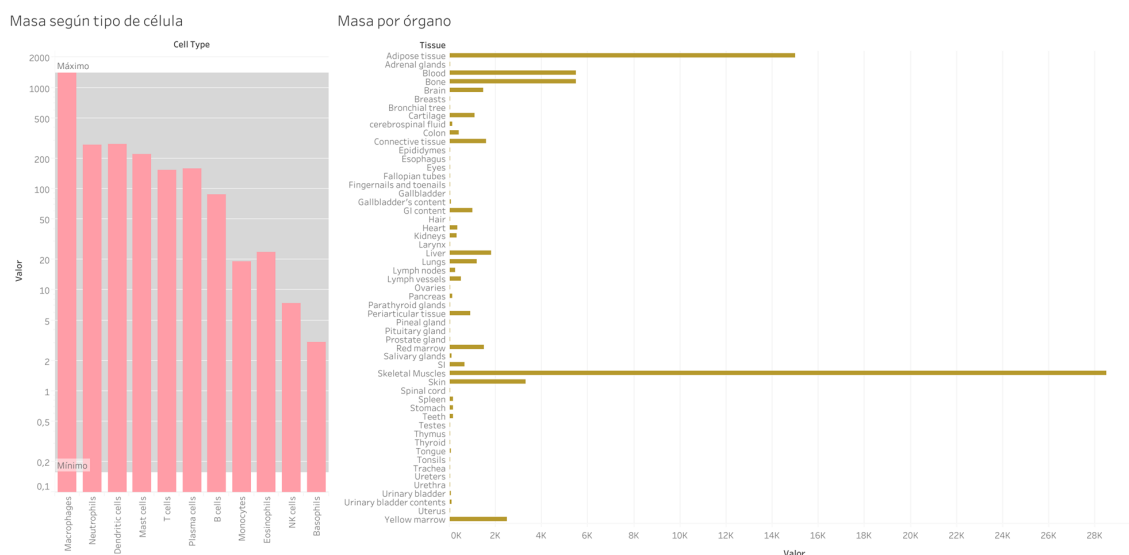


Figura 6: Distribución de la masa inmunitaria por tipo de célula y órgano.

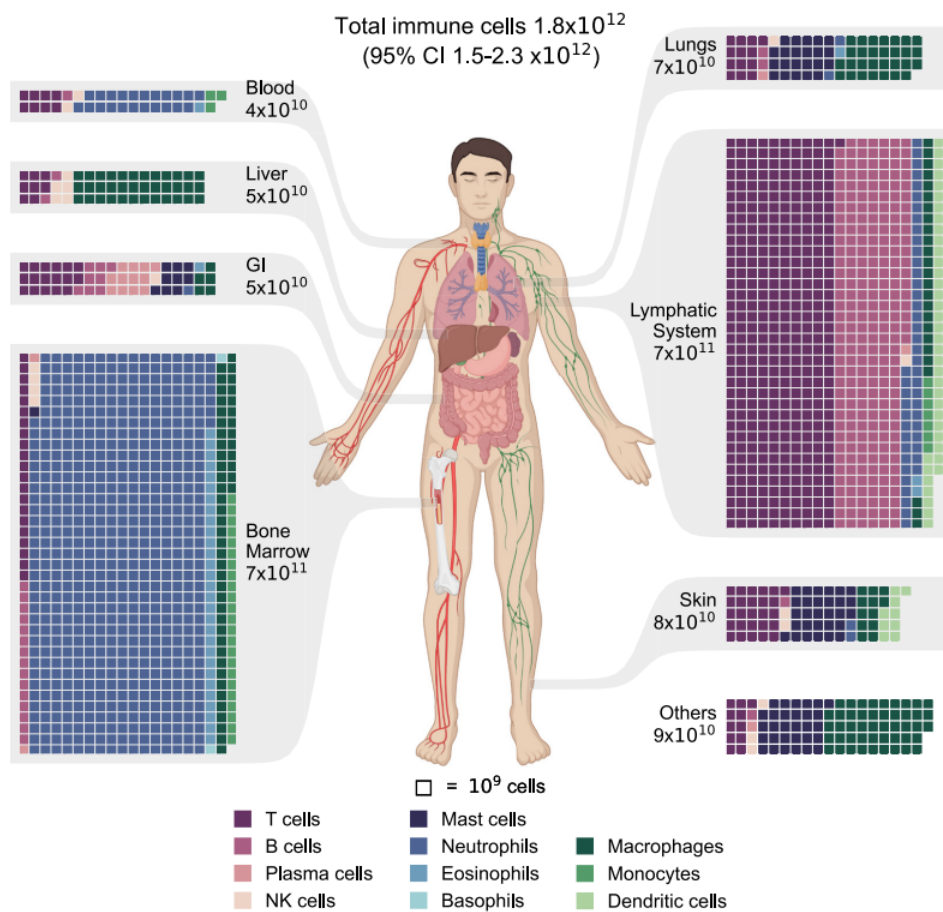


Figura 7: Distribución global de tipos celulares inmunitarios en el cuerpo humano (basado en Sender et al., 2023).

## Discusión y análisis crítico

El análisis confirma las principales conclusiones del trabajo original y aporta una visualización integradora de los datos. Entre las observaciones más relevantes destacan:

- Los **órganos linfoides primarios y secundarios** (médula ósea, bazo, ganglios linfáticos) concentran la mayoría de las células inmunitarias tanto por número como por masa.
- Los **tejidos periféricos** (piel, epitelio intestinal, pulmones) muestran menor densidad, pero actúan como barreras inmunitarias esenciales.
- Los **macrófagos** representan solo el 10 % del total de células, pero su masa equivale a casi la mitad del sistema inmunitario, reflejando su tamaño y capacidad fagocítica.
- Las diferencias entre sexos y edades son **cuantitativas, no estructurales**: el sistema inmunitario mantiene proporciones celulares semejantes pese a la variación corporal.



**Posibles extensiones del análisis.** Siguiendo la propuesta del ejercicio, se podrían plantear escenarios simulados, como el aumento del 20 % de la masa del tejido adiposo (obesidad). Dado que la densidad de macrófagos aumenta proporcionalmente en este tejido, se esperaría una elevación global del 5–10 % en la masa inmunitaria total.

#### **Limitaciones del estudio.**

- Gran parte de los datos originales proviene de modelos animales o estimaciones indirectas.
- La variabilidad interindividual (edad, microbiota, estado inflamatorio, etc.) no está completamente representada ni se ha visto nombrar a simple vista.
- Tableau permite visualización descriptiva, pero no análisis inferencial ni simulaciones cuantitativas detalladas. Son visualizaciones directas en base a los datos que tenemos.

## **Conclusiones**

El trabajo realizado integra los resultados cuantitativos más recientes del sistema inmunitario humano y demuestra la utilidad de las herramientas de visualización científica.

En síntesis:

- El cuerpo humano contiene cerca de  $1.8 \times 10^{12}$  células inmunitarias con una masa aproximada de **1.2 kg**.
- Los **órganos linfoides** son el núcleo funcional del sistema.
- Existen diferencias en masa total entre hombres, mujeres y niños, pero no en estructura relativa.
- Los **macrófagos y linfocitos** son los componentes dominantes, representando la base celular de la inmunidad innata y adaptativa, respectivamente.

Este estudio pone de manifiesto cómo el análisis cuantitativo y la visualización científica con los datos provistos por los papers pueden facilitar la comprensión global de la biología humana.