








## ARTÍCULO DE REVISIÓN

# Aplicación del modelo de Fine-Gray en análisis de riesgos competitivos en trasplantes: Un enfoque práctico

## Application of the Fine-Gray model in competitive risk analysis in transplantation: A practical approach

Andrea Garcia-Lopez, MD, MSc<sup>1</sup> , Santiago Cabas, MD<sup>1</sup> ,  
Andrea Gomez-Montero, MD<sup>1</sup> , Adrián Alfonso Nieves-Rico, MD<sup>2</sup> , Gabriela Barbosa-Villalba<sup>3</sup> ,  
Miguel Ángel Rosales<sup>3</sup> , Fernando Giron-Luque, MD, MHPE<sup>1,4</sup> 

- 1 Departamento de Investigación, Colombiana de Trasplantes, Bogotá, D.C., Colombia.
- 2 Facultad de Medicina, Universidad de los Andes, Bogotá, D.C., Colombia.
- 3 Facultad de Medicina, Universidad de La Sabana, Chía, Colombia.
- 4 Departamento de Cirugía en Trasplantes, Colombiana de Trasplantes, Bogotá, D.C., Colombia.

### Resumen

**Introducción.** Los pacientes trasplantados enfrentan riesgos competitivos, como la muerte, la necesidad de un nuevo trasplante o las complicaciones graves, lo que puede dificultar una evaluación precisa de los desenlaces clínicos. Los métodos de análisis de supervivencia tradicionales, como Kaplan-Meier y el modelo de Cox, suelen sobreestimar la incidencia del evento principal porque no consideran de forma adecuada estos eventos competidores. Para superar esta limitación, el modelo de Fine-Gray ofrece estimaciones de incidencia acumulada más realistas, por lo que resulta especialmente útil en contextos clínicos complejos.

**Métodos.** Se realizó una revisión de la literatura para examinar la aplicación del modelo de Fine-Gray en trasplantes de órganos sólidos. Además, se desarrolló un ejemplo práctico utilizando datos de pacientes con cirrosis hepática para ilustrar su utilidad en la práctica clínica y comparar sus resultados con los de los métodos tradicionales.

**Resultados.** Al incorporar explícitamente los riesgos competitivos, el modelo de Fine-Gray permitió obtener estimaciones más precisas de la incidencia acumulada, facilitó la identificación de factores de riesgo y respaldó un manejo posterior al trasplante más individualizado. En estudios de trasplante renal, hepático y cardíaco, se demostró que ofrece resultados más ajustados que los métodos convencionales, como confirmó nuestro ejemplo práctico.

**Conclusiones.** El modelo de Fine-Gray es una herramienta robusta y práctica para analizar riesgos competitivos en investigación de trasplantes. Genera estimaciones más válidas de la incidencia acumulada y contribuye a tomar decisiones clínicas mejor fundamentadas. Para garantizar resultados confiables, es clave aplicarlo correctamente y contar con muestras de tamaño adecuado.

**Palabras clave:** trasplante de órganos; análisis de supervivencia; modelos estadísticos; incidencia; factores de riesgo.

Fecha de recibido: 16/06/2025 - Fecha de aceptación: 09/07/2025 - Publicación en línea: 02/09/2025

Correspondencia: Andrea Garcia-Lopez, Colombiana de Trasplantes, Avenida Carrera 30 # 47A - 47, Bogotá, D.C., Colombia.

Teléfono: +57 3005024618. Dirección electrónica: [aegarcia@colombianadetrasplantes.com](mailto:aegarcia@colombianadetrasplantes.com)

Citar como: García-López A, Cabas S, Gómez-Montero A, Nieves-Rico AA, Barbosa-Villalba G, Rosales MA, et al. Aplicación del modelo de Fine-Gray en análisis de riesgos competitivos en trasplantes: Un enfoque práctico. Rev Colomb Cir. 2026;41:153-62. <https://doi.org/10.30944/20117582.2964>

Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia Creative Commons - BY-NC-ND <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

## Abstract

**Introduction.** Transplant patients face competing risks, such as death, the need for retransplantation, or serious complications, which can make accurate assessment of clinical outcomes difficult. Traditional survival analysis methods, such as Kaplan-Meier and the Cox model, often overestimate the incidence of the primary event because they fail to adequately account for these competing events. To overcome this limitation, the Fine-Gray model provides more realistic cumulative incidence estimates, making it particularly useful in complex clinical settings.

**Methods.** A literature review was conducted to examine the application of the Fine-Gray model in solid organ transplantation. In addition, a practical example was developed using data from patients with liver cirrhosis to illustrate its usefulness in clinical practice and compare its results with those of traditional methods.

**Results.** By explicitly incorporating competing risks, the Fine-Gray model allowed for more precise estimates of cumulative incidence, facilitated the identification of risk factors, and supported more individualized post-transplant management. In kidney, liver, and heart transplant studies, it was shown to provide more accurate results than conventional methods, as confirmed by our case study.

**Conclusions.** The Fine-Gray model is a robust and practical tool for analyzing competing risks in transplant research. It generates more valid estimates of cumulative incidence and contributes to better-informed clinical decisions. Correct application and adequate sample sizes are key to ensuring reliable results.

**Keywords:** organ transplantation; survival analysis; statistical models; incidence; risk factors.

## Introducción

Los pacientes trasplantados pueden enfrentar eventos como la muerte, la necesidad de un nuevo trasplante o las complicaciones graves, que influyen directamente en su evolución clínica. Estos eventos, conocidos como “riesgos competitivos”, pueden interferir con la observación del desenlace principal que se desea analizar<sup>1,2</sup>. Por ejemplo, si un paciente fallece antes de que se presente la falla del injerto, ya no es posible registrar este evento, lo que limita la evaluación de los resultados. Por ello, es fundamental aplicar métodos que consideren estos escenarios, ya que su presencia impide observar algunos desenlaces de interés<sup>3</sup>.

Entre los riesgos competitivos más frecuentes se encuentran la muerte y las complicaciones mayores<sup>4,5</sup>. Aunque los métodos de análisis estadístico como Kaplan-Meier y el modelo de Cox se utilizan con frecuencia para estudiar la supervivencia, cuando hay múltiples eventos posibles suelen sobreestimar la incidencia real del evento principal, ya que no contemplan de forma adecuada la competencia entre eventos, lo que puede afectar la precisión y la interpretación de los resultados<sup>1,5-7</sup>.

El análisis de riesgos competitivos permite superar estas limitaciones al considerar de manera conjunta todos los eventos que pueden influir en la evolución clínica. Para abordarlos, existen dos enfoques principales: por un lado, el modelo de riesgo específico de causa, que evalúa cómo ciertos factores influyen en la tasa de ocurrencia de un evento en pacientes que aún no han presentado otros eventos; y por otro, el modelo de subdistribución de riesgos, como el de Fine-Gray, que estima la probabilidad acumulada de un evento incorporando los riesgos competitivos y ofreciendo así estimaciones más realistas<sup>3</sup>.

En el contexto del trasplante, el modelo de Fine-Gray resulta especialmente útil para estimar de forma precisa la incidencia de eventos como la pérdida del injerto o la muerte, lo que contribuye a comprender mejor el riesgo y a respaldar decisiones clínicas basadas en datos consistentes<sup>3,8</sup>. Por lo tanto, el objetivo de este artículo fue presentar el modelo de Fine-Gray como una herramienta práctica para analizar riesgos competitivos en estudios de trasplantes y mostrar su aplicación mediante un ejemplo con datos reales de pacientes.

## Descripción del modelo de Fine-Gray

El modelo de Fine-Gray es útil cuando varios eventos pueden presentarse, pero la ocurrencia de uno de ellos cambia la probabilidad de observar los otros; es decir, actúa como riesgo competitivo<sup>1</sup>. En estos casos, los métodos como el de Kaplan-Meier tienden a sobreestimar la incidencia del evento principal porque no consideran de forma adecuada la competencia entre eventos<sup>6</sup>. Aun así, su uso sigue siendo frecuente en estudios clínicos, lo que puede afectar la precisión de los resultados<sup>1,6</sup>.

Para resolver esta limitación, el modelo de Fine-Gray ajusta la probabilidad de que ocurra el evento de interés considerando la influencia de otros riesgos<sup>8</sup>. Además, permite incorporar efectos que varían con el tiempo, lo que lo hace adecuado cuando los riesgos no son proporcionales<sup>1</sup>. A diferencia del modelo de Cox, que se centra en la función de riesgo, Fine-Gray calcula directamente la incidencia acumulada, ofreciendo estimaciones más realistas en contextos clínicos complejos<sup>8</sup>.

En trasplantes, su aplicación mejora la estratificación y el seguimiento de los pacientes, lo que facilita la toma de decisiones más claras en la selección de los donantes y el manejo posterior. También ayuda a identificar quién necesita un control más cercano, optimizando la planificación del cuidado<sup>9</sup>. Una de sus principales ventajas es que estima de forma directa la incidencia acumulada de un evento, incluso cuando existen riesgos competitivos. Esto permite conocer cómo varía la probabilidad de ocurrencia a lo largo del tiempo y comparar los grupos ajustando por variables clínicas, con mayor robustez frente a la censura, lo que refuerza la precisión de los resultados<sup>10</sup>.

## Aplicación en trasplantes

Se realizó una búsqueda no sistemática en PubMed y Google Scholar hasta agosto de 2024, enfocada en los estudios que aplicaran el modelo de Fine-Gray en trasplante de órganos sólidos y que presentaran hallazgos clínicamente relevantes.

En trasplante renal, este modelo ha permitido identificar con mayor precisión factores de riesgo

asociados a la pérdida del injerto y la mortalidad. Pinto-Ramírez J, et al.<sup>5</sup>, lo emplearon considerando la muerte como evento competitivo, lo que mejoró la estimación de riesgos y facilitó personalizar el manejo postrasplante. De forma complementaria, Salesi S, et al.<sup>11</sup>, estimaron que la edad y algunos tipos de cáncer en pacientes con neoplasias tras el trasplante incrementaron el riesgo de pérdida del injerto y de muerte, destacando la importancia de ajustar la inmunosupresión según el perfil de cada paciente.

Este modelo también ha mostrado ventajas frente a los métodos tradicionales, como el de Kaplan-Meier, sobre todo en pacientes con mayor vulnerabilidad, como quienes tienen diabetes o edad avanzada. El Ters M, et al.<sup>12</sup>, señalaron que el método de Fine-Gray ajusta mejor los riesgos y mejora la predicción de la supervivencia del injerto, por lo que recomendaron su uso en estudios de seguimiento a largo plazo, donde otros enfoques tienden a sobreestimar la incidencia de eventos. Además, Truchot A, et al.<sup>13</sup>, confirmaron que ofrece estimaciones más consistentes que el modelo de Cox cuando la muerte es un evento frecuente, especialmente al predecir el fallo del injerto renal. Por su parte, Yoshida T, et al.<sup>14</sup>, también demostraron que permite estimar con mayor precisión la incidencia acumulada de cáncer en pacientes inmunosuprimidos, apoyando los ajustes en la inmunosupresión sin comprometer la supervivencia del injerto.

En trasplante hepático, se ha utilizado para evaluar políticas de asignación y variables clínicas relevantes. Ravaioli M, et al.<sup>15</sup>, estudiaron la asignación de órganos en pacientes con MELD > 30 en Italia, encontrando que aunque se redujo el tiempo de espera para los más graves, el riesgo de pérdida del injerto fue mayor debido a la gravedad de la enfermedad, lo que resalta la necesidad de adaptar las estrategias clínicas a cada contexto. Du AL, et al.<sup>16</sup>, exploraron el impacto del índice de masa corporal (IMC) y observaron que los pacientes con sobrepeso u obesidad leve obtuvieron mejores resultados postoperatorios, como menor mortalidad y estancias hospitalarias más cortas, por lo que sugirieron incluir el IMC en los criterios de selección. Así mismo, Schlansky B, et al.<sup>17</sup>,

mostraron que, aunque los pacientes con obesidad mórbida tienen más riesgo de fallecer en lista de espera, quienes logran trasplantarse presentan buenos resultados de supervivencia, apoyando la revisión de políticas de priorización para garantizar un acceso más equitativo.

En trasplante cardíaco, el modelo se ha aplicado para analizar la supervivencia pretrasplante en pacientes con insuficiencia cardíaca avanzada, considerando como eventos competitivos la muerte y la colocación de dispositivos de asistencia ventricular. Smith KB, et al.<sup>18</sup>, encontraron que los pacientes con menor prioridad en la lista presentaron mayor mortalidad, lo que refuerza la necesidad de optimizar los criterios de asignación. De forma similar, Scrutinio D, et al.<sup>19</sup>, concluyeron que el modelo de Fine-Gray proporciona predicciones más precisas del pronóstico en insuficiencia cardíaca terminal, ofreciendo información valiosa para la toma de decisiones.

### Ejemplo práctico: Análisis de riesgos competitivos en trasplante hepático

Para ejemplificar el uso del modelo de Fine-Gray, se evaluó la incidencia acumulada de muerte y trasplante en pacientes con cirrosis hepática, según recibieran D-penicilamina o placebo. Los

datos provienen del *Cirrhosis Prediction Dataset*, disponible en <https://www.kaggle.com/datasets/><sup>20</sup>, que recopila información clínica relevante para analizar factores asociados a la evolución de estos pacientes. El uso de datos abiertos ya se ha documentado en otros estudios de trasplante<sup>21,22</sup> y ofrece una oportunidad concreta de aprendizaje, pues permite a los lectores explorar, replicar o ajustar el análisis según sus propios contextos. El análisis se realizó en R (Team RC. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2023), versión 4.3.3.

Para ejecutar el análisis completo en R (por ejemplo, usando RStudio), basta copiar y pegar el script de la Figura 1. Este script descarga automáticamente la base de datos desde GitHub y ejecuta todo el análisis en un archivo R Markdown. Los resultados se generan en HTML. Tanto el código como la base de datos pueden consultarse en Zenodo<sup>23</sup>. A continuación, se describe la metodología paso a paso.

#### *Paso 1: Preparación y preprocesamiento de datos.*

Primero se importó la base de datos original, seleccionando únicamente las variables relevan-

```
# Instalar paquetes si faltan
pkgs <- c("downloader", "rmarkdown", "survival", "cmprsk", "Matrix", "car", "caret")
to_install <- pkgs[!sapply(pkgs, requireNamespace, quietly = TRUE)]
if (length(to_install)) install.packages(to_install)

# Cargar librerías
lapply(pkgs, library, character.only = TRUE)

# Descargar y renderizar markdown
markdown_url <- "https://raw.githubusercontent.com/ColTrasplantes/CRA/main/cra.Rmd"
markdown_dest <- tempfile(fileext = ".Rmd")
download.file(markdown_url, markdown_dest)
html_output <- tempfile(fileext = ".html")
rmarkdown::render(markdown_dest, output_file = html_output,
                  output_format = rmarkdown::html_document())

Sys.sleep(2)
browseURL(html_output)
```

**Figura 1.** Script en R para el análisis de riesgos competitivos.

Fuente: Elaboración propia.

tes, como tratamiento, edad, sexo, presencia de hepatomegalia y edema. Luego se realizó un proceso de limpieza y consistencia, transformando las variables categóricas en factores y, cuando fue necesario, imputando valores faltantes mediante la moda. Además, la edad se estandarizó para facilitar la interpretación clínica del modelo. Este preprocesamiento aseguró la calidad y la coherencia necesarias para un análisis estadístico riguroso.

### **Paso 2: Aplicación del modelo de Fine-Gray.**

Una vez preparados los datos, se construyó una matriz de covariables que incluyó tratamiento (D-penicilamina vs. placebo), edad estandarizada, sexo, hepatomegalia y edema. A continuación, los desenlaces clínicos se clasificaron como eventos principales (muerte), eventos competitivos (trasplante) o censura (pacientes que no experimentaron ninguno de los eventos). Posteriormente, se ajustó el modelo de Fine-Gray mediante la función `crr()` del paquete `cmprsk`, permitiendo así estimar adecuadamente la incidencia acumulada de muerte en presencia del trasplante como evento competitivo. Finalmente, se obtuvie-

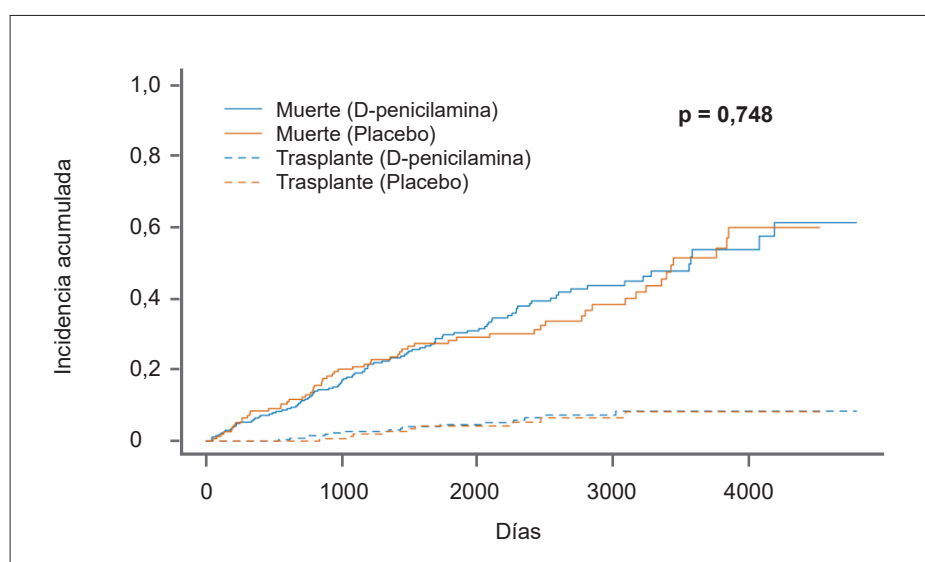
ron las curvas de incidencia acumulada (CIF) con la función `cuminc()` y se evaluó la diferencia entre grupos mediante la prueba de Gray. Los resultados pueden observarse en la Figura 2.

### **Paso 3: Resultados del modelo de Fine-Gray.**

Después de ajustar el modelo, se extrajeron los *subhazard ratios* ajustados (sHR), junto con sus intervalos de confianza al 95 % y los valores p asociados a cada variable clínica incluida. Estos resultados permiten interpretar cómo cada covariable influye sobre la probabilidad acumulada de muerte cuando se considera la presencia del trasplante como un evento competitivo (Tabla 1).

### **Paso 4: Comparación con métodos clásicos de supervivencia.**

Con el objetivo de contrastar el modelo de Fine-Gray con los métodos más tradicionales, se llevó a cabo un análisis mediante curvas de supervivencia de Kaplan-Meier (KM) y curvas de riesgo acumulado Nelson-Aalen (NA) (Figura 3). Ambos enfoques se aplicaron por separado para cada grupo de tratamiento (D-penicilamina y placebo),



**Figura 2.** Curvas de incidencia acumulada (CIF) para muerte y trasplante en pacientes con cirrosis hepática, según el tratamiento recibido (D-penicilamina o placebo).

Fuente: Elaboración propia.

utilizando las funciones correspondientes del paquete *survival*. Asimismo, se compararon los grupos utilizando la prueba *log-rank*.

**Paso 5: Análisis mediante el modelo de riesgos proporcionales de Cox.**

Finalmente, se ajustó un modelo de riesgos proporcionales de Cox considerando únicamente el evento de muerte y la censura (sin considerar el trasplante como evento competitivo). Este análisis complementario permitió observar diferencias metodológicas y resultados que podrían

surgir al no tener en cuenta la existencia de los riesgos competitivos. Para ello, se utilizaron las mismas covariables del modelo de Fine-Gray. Los *hazard ratios* ajustados (HR), intervalos de confianza al 95 % y valores p resultantes se resumen en la Tabla 2.

Al integrar los diferentes enfoques metodológicos, este análisis práctico permite apreciar las ventajas del modelo de Fine-Gray frente a los métodos tradicionales, especialmente en contextos clínicos complejos, como el trasplante hepático, donde múltiples desenlaces compiten

**Tabla 1.** Subhazard ratios (sHR) ajustados del modelo Fine-Gray para muerte.

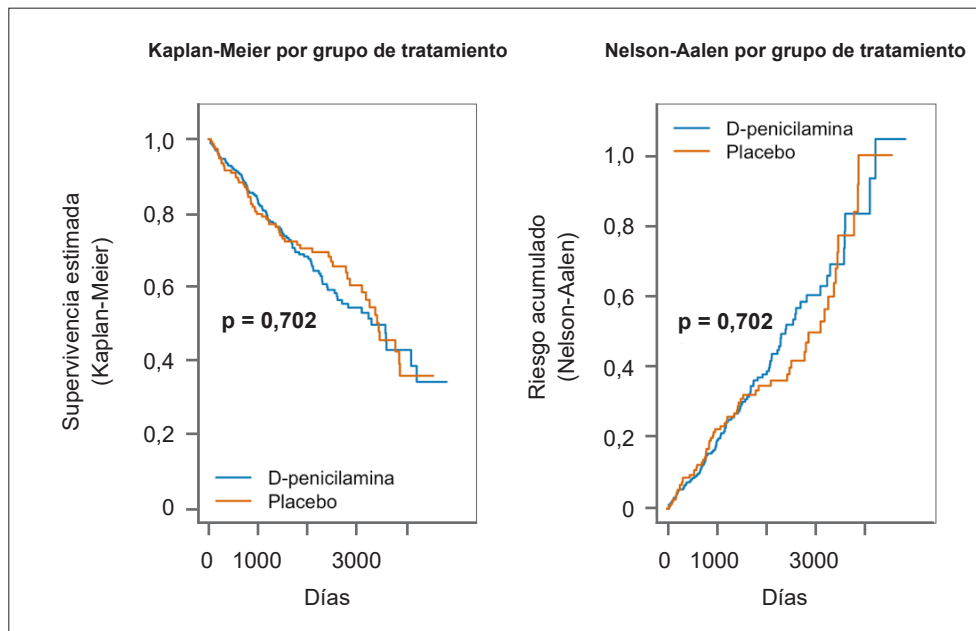
| Variable       | sHR ajustado (IC95%) | Valor p |
|----------------|----------------------|---------|
| Grupo: Placebo | 1,30 (0,93–1,82)     | 0,12    |
| Edad           | 1,43 (1,22–1,68)     | <0,001  |
| Sexo masculino | 1,33 (0,88–2,02)     | 0,17    |
| Hepatomegalia  | 2,36 (1,63–3,42)     | <0,001  |
| Edema          | 2,87 (1,95–4,21)     | <0,001  |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 2.** Hazard ratios (HR) ajustados del modelo de Cox para muerte.

| Variable       | HR ajustado (IC95%) | Valor p |
|----------------|---------------------|---------|
| Grupo: Placebo | 1,32 (0,94–1,84)    | 0,11    |
| Edad           | 1,37 (1,16–1,62)    | <0,001  |
| Sexo masculino | 1,35 (0,87–2,11)    | 0,18    |
| Hepatomegalia  | 2,49 (1,71–3,63)    | <0,001  |
| Edema          | 2,97 (2,08–4,24)    | <0,001  |

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 3.** Curvas de Kaplan-Meier (supervivencia) y Nelson-Aalen (riesgo acumulado) por tratamiento.

Fuente: Elaboración propia.

entre sí. Así, la comparación entre estos modelos no solo mejora la comprensión conceptual, sino que también resalta la importancia de seleccionar el método más apropiado según el objetivo específico del estudio clínico, facilitando la toma de decisiones informadas y ajustadas a la realidad clínica.

## Discusión

### *Beneficios y limitaciones del uso del modelo de Fine-Gray*

El modelo de Fine-Gray se ha consolidado como una herramienta clave para analizar riesgos competitivos, especialmente en trasplante, donde la muerte y el trasplante son eventos que no pueden ocurrir al mismo tiempo. A diferencia de los métodos tradicionales, permite estimar la incidencia acumulada de un evento considerando otros riesgos competidores, lo que brinda una visión más ajustada a la realidad clínica<sup>24,25</sup>. Su principal fortaleza es que ofrece la probabilidad acumulada de ocurrencia a lo largo del tiempo, algo fundamental para priorizar pacientes en lista de espera y planificar su atención<sup>26,27</sup>.

Una ventaja importante es la posibilidad de interpretar de forma clara cómo algunos factores como la edad, el tiempo en diálisis o la presencia de comorbilidades influyen en la probabilidad acumulada de trasplante o muerte. Esto facilita tomar decisiones más individualizadas y optimizar la gestión de los recursos disponibles<sup>24,28</sup>.

No obstante, el modelo también tiene limitaciones. Una de las más relevantes es la interpretación de los coeficientes: a diferencia de otros enfoques, en Fine-Gray estos reflejan su efecto sobre la incidencia acumulada, no sobre la tasa instantánea de ocurrencia, lo que puede dar lugar a confusiones si no se interpreta correctamente<sup>29</sup>. Este punto cobra especial importancia en los pacientes con alto riesgo de morir antes del trasplante.

Además, el modelo asume que los eventos competidores son independientes, cuando en la práctica pueden compartir causas subyacentes o estar correlacionados, lo que puede afectar la precisión de las estimaciones si no se tiene en cuenta

esta relación<sup>24,30</sup>. Por eso, si el objetivo es analizar las causas específicas de un evento, como la muerte antes del trasplante, puede ser preferible usar los modelos de riesgo específico de causa<sup>25,27</sup>.

Desde el punto de vista práctico, es recomendable disponer de un tamaño de muestra adecuado para garantizar resultados robustos. En estudios con pocos pacientes o eventos poco frecuentes, el modelo puede producir estimaciones inestables<sup>28</sup>. Asimismo, su implementación puede exigir mayor capacidad computacional cuando se incluyen muchas variables y varios riesgos competidores<sup>26</sup>.

### *Recomendaciones para los investigadores*

- 1 Usar el modelo de Fine-Gray para estimar el riesgo acumulado en escenarios con eventos competidores. En estudios de trasplante, donde la muerte y el trasplante se excluyen mutuamente, este modelo permite calcular la incidencia acumulada de cada evento de forma más precisa<sup>8,29</sup>.
- 2 Interpretar los coeficientes con cuidado. Los coeficientes reflejan cambios en la probabilidad acumulada, no en la tasa instantánea. Este detalle es clave para no sobrestimar o subestimar efectos, especialmente en pacientes de alto riesgo<sup>25,28</sup>.
- 3 Preferir el modelo de Fine-Gray cuando el objetivo sea predecir riesgo acumulado. Si la meta es ofrecer una herramienta que ayude a estimar la probabilidad de trasplante o muerte, el modelo de Fine-Gray es más adecuado que los modelos de riesgo específico de causa. Sin embargo, si el interés es analizar factores etiológicos, el modelo de riesgo específico de causa puede ser más útil<sup>26,27</sup>.
- 4 Evitar el método de Kaplan-Meier en presencia de riesgos competitivos. En estos contextos, el método de Kaplan-Meier sobrestima la incidencia acumulada al tratar los eventos competidores como censura. El modelo de Fine-Gray corrige este sesgo al incorporarlos correctamente en el análisis<sup>24</sup>.

- 5 Complementar los resultados con curvas CIF. Mostrar las curvas CIF ayuda a visualizar cómo influyen las variables en la probabilidad acumulada, facilitando la interpretación clínica<sup>30</sup>.
- 6 Utilizar métodos de selección de variables cuando corresponda. En modelos con muchas covariables, las técnicas como LASSO permiten identificar los factores más relevantes sin perder precisión, lo que mejora la aplicabilidad del modelo en la práctica clínica<sup>24</sup>.
- 7 Asegurar un número suficiente de eventos primarios por variable. Para obtener estimaciones robustas en los modelos de Fine-Gray, se recomienda contar con al menos 40 a 50 eventos primarios por variable, lo que garantiza mayor precisión y menor sesgo. Esta recomendación se basa en simulaciones rigurosas<sup>31</sup> y puede calcularse formalmente usando fórmulas específicas para riesgos competitivos<sup>32</sup>.

## Conclusión

El modelo de Fine-Gray es una herramienta robusta para analizar riesgos competitivos en trasplante, ya que permite estimar de forma más realista la incidencia acumulada de eventos cuando existen riesgos que compiten, como la muerte antes de la pérdida del injerto. A diferencia de los métodos tradicionales, que suelen sobrestimar la incidencia al no considerar adecuadamente estos escenarios, el modelo de Fine-Gray ajusta las probabilidades de manera coherente con la dinámica clínica, lo que respalda decisiones mejor informadas. Su uso contribuye a optimizar la selección de donantes y a planificar un seguimiento posterior al trasplante más ajustado a cada paciente. Sin embargo, para garantizar resultados sólidos, es clave interpretar sus coeficientes correctamente, disponer de un tamaño de muestra suficiente y considerar la posible relación entre los eventos analizados.

## Cumplimiento de normas éticas

**Consentimiento informado:** Este estudio se llevó a cabo de acuerdo con la Resolución 008430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia, que establece los lineamientos científicos, técnicos y administrativos para la investigación

en salud. Al basarse en el análisis de datos secundarios de acceso público, se clasifica como investigación sin riesgo para los participantes, por lo que no se requiere del diligenciamiento de consentimiento informado.

**Conflictos de interés:** Los autores declararon que no existen conflictos de interés relacionados con este trabajo.

**Uso de Inteligencia Artificial:** Se utilizaron herramientas de inteligencia artificial únicamente como apoyo en la redacción, revisión del manuscrito y optimización del código de análisis. El tratamiento de los datos, la interpretación de los resultados y las conclusiones son responsabilidad exclusiva de los autores.

**Fuentes de financiación:** Este estudio contó con financiación interna de Colombiana de Trasplantes, Bogotá, D.C., Colombia.

## Contribución de los autores:

- Conceptualización del artículo: Andrea García-López, Fernando Girón-Luque.
- Desarrollo metodológico: Santiago Cabas, Andrea Gómez-Montero.
- Análisis estadístico: Andrea García-López.
- Redacción del manuscrito: Andrea García-López, Adrián Alfonso Nieves-Rico, Gabriela Barbosa-Villalba, Miguel Ángel Rosales.
- Revisión crítica del manuscrito: Santiago Cabas, Andrea Gómez-Montero, Adrián Alfonso Nieves-Rico, Gabriela Barbosa-Villalba, Miguel Ángel Rosales, Fernando Girón-Luque.

## Referencias

1. Pintilie M. An introduction to competing risks analysis. *Rev Esp Cardiol (English Edition)*. 2011;64:599-605. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2011.03.016>
2. Alfaro-Villanueva LA, Junior RM, Rangel ÉB, Modelli LG, Viana LA, Cristelli MP, et al. Assessing the influence of graft loss on 4-year patient survival after simultaneous pancreas-kidney transplantation: Kaplan-Meier versus competing risk analysis model. *Clin Transplant*. 2024;38:e15298. <https://doi.org/10.1111/ctr.15298>
3. Austin PC, Lee DS, Fine JP. Introduction to the analysis of survival data in the presence of competing risks. *Circulation*. 2016;133:601-9. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.115.017719>
4. Cusumano C, De Carlis L, Centonze L, Lesourd R, Sandri GBL, Lauterio A, et al. Advanced donor age does not increase risk of hepatocellular carcinoma recurrence after liver transplantation: A retrospective two-centre

- analysis using competing risk analysis. *Transpl Int*. 2021;34:1948-58. <https://doi.org/10.1111/tri.13950>
5. Pinto-Ramirez J, Garcia-Lopez A, Salcedo-Herrera S, Patino-Jaramillo N, Garcia-Lopez J, Barbosa-Salinas J, et al. Risk factors for graft loss and death among kidney transplant recipients: A competing risk analysis. *PLoS One*. 2022;17:e0269990. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269990>
  6. Lacny S, Wilson T, Clement F, Roberts DJ, Faris P, Ghali WA, et al. Kaplan–Meier survival analysis overestimates cumulative incidence of health-related events in competing risk settings: A meta-analysis. *J Clin Epidemiol*. 2018;93:25-35. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2017.10.006>
  7. Llorca J, Delgado-Rodríguez M. Análisis de supervivencia en presencia de riesgos competitivos: Estimadores de la probabilidad de suceso. *Gac Sanit*. 2004;18:391-7. [https://doi.org/10.1016/S0213-9111\(04\)71850-6](https://doi.org/10.1016/S0213-9111(04)71850-6)
  8. Austin PC, Steyerberg EW, Putter H. Fine-Gray subdistribution hazard models to simultaneously estimate the absolute risk of different event types: Cumulative total failure probability may exceed 1. *Stat Med*. 2021;40:4200-12. <https://doi.org/10.1002/sim.9023>
  9. Kaboré R, Haller MC, Harambat J, Heinze G, Leffondré K. Risk prediction models for graft failure in kidney transplantation: A systematic review. *Nephrol Dial Transplant*. 2017;32(suppl\_2):ii68-ii76. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfw405>
  10. Lafuerza-Coronas ME. Análisis de supervivencia. Modelos de riesgos competitivos. Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza. Zaguán - Repositorio Institucional de Documentos; 2021. Fecha de consulta: 3 de septiembre de 2024. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/110360/files/TAZ-TFG-2021-2927.pdf>
  11. Salesi M, Rostami Z, Foroushani AR, Mehrzmay AR, Mohammadi J, Einollahi B, et al. Chronic graft loss and death in patients with post-transplant malignancy in living kidney transplantation: A competing risk analysis. *Nephrourol Mon*. 2014;6:e14302. <https://doi.org/10.5812/numonthly.14302>
  12. El Ters M, Smith BH, Cosio FG, Kremers WK. Competing risk analysis in renal allograft survival: A new perspective to an old problem. *Transplantation*. 2021;105:668-76. <https://doi.org/10.1097/TP.0000000000003285>
  13. Truchot A, Raynaud M, Helanterä I, Aubert O, Kamar N, Legendre C, et al. The impact of competing risks in kidney allograft failure prediction. *J Am Soc Nephrol*. 2025;36:688-701. <https://doi.org/10.1681/ASN.0000000517>
  14. Yoshida T, Matsumura S, Imanaka T, Taniguchi A, Yamana K, Kishikawa H, et al. Malignancy with immunosuppression after renal transplantation: A competing risk analysis. *Transplant Proc*. 2020;52:1775-7. <https://doi.org/10.1016/j.transproceed.2020.02.124>
  15. Ravaoli M, Lai Q, Sessa M, Ghinolfi D, Fallani G, Patrono D, et al. Impact of MELD 30-allocation policy on liver transplant outcomes in Italy. *J Hepatol*. 2022;76:619-27. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2021.10.024>
  16. Du AL, Danforth DJ, Waterman RS, Gabriel RA. Is obesity associated with better liver transplant outcomes? A retrospective study of hospital length of stay and mortality following liver transplantation. *Anesth Analg*. 2022;135:118-27. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000005921>
  17. Schlansky B, Naugler WE, Orloff SL, Enestvedt CK. Higher mortality and survival benefit in obese patients awaiting liver transplantation. *Transplantation*. 2016;100:2648-55. <https://doi.org/10.1097/TP.0000000000001461>
  18. Smith KB, Potters TO, Lopez-Zenarosa G. Pretransplant survival of patients with end-stage heart failure under competing risks. *PLoS One*. 2022;17:e0273100. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273100>
  19. Scrutinio D, Guida P, Passantino A, Ammirati E, Oliva F, Lagioia R, et al. Application of competing risks analysis improved prognostic assessment of patients with decompensated chronic heart failure and reduced left ventricular ejection fraction. *J Clin Epidemiol*. 2018;103:31-9. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2018.07.006>
  20. Soriano F. Cirrhosis prediction dataset. 2021. Fecha de consulta: 3 de septiembre de 2024. Disponible en: <https://www.kaggle.com/datasets/fedesoriano/cirrhosis-prediction-dataset>
  21. Cabas S, García-López A, Gómez-Montero A, Anichiarico-Castillo LA, Sarmiento-Gallego JA, Girón-Luque F. Modelos de predicción en trasplantes: Estado del arte y aplicaciones. *Rev Colomb Cir*. 2025;40:(en prensa). <https://doi.org/10.30944/20117582.2813>
  22. García-López A, Jiménez-Gómez M, Gómez-Montero A, González-Sierra JC, Cabas S, Girón-Luque F. Survival analysis using machine learning in transplantation: A practical introduction. *BMC Med Inform Decis Mak*. 2025;25:141. <https://doi.org/10.1186/s12911-025-02951-7>
  23. ColTrasplantes. ColTrasplantes/CRA: v2.0. Zenodo; 2025. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15792210>
  24. Basak R, Mistry H, Chen RC. Understanding competing risks. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2021;110:636-40. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2021.01.008>
  25. Geskus RB. Competing risks: Aims and methods. *Handbook of statistics*. 2020;43:249-87. <https://doi.org/10.1016/bs.host.2019.11.001>
  26. Dignam JJ, Zhang Q, Kocherginsky M. The use and interpretation of competing risks regression models. *Clin Cancer Res*. 2012;18:2301-8. <https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-11-2097>

27. Geskus RB. Cause-specific cumulative incidence estimation and the fine and gray model under both left truncation and right censoring. *Biometrics*. 2011;67:39-49. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0420.2010.01420.x>
28. Austin PC, Fine JP. Practical recommendations for reporting Fine-Gray model analyses for competing risk data. *Stat Med*. 2017;36:4391-400. <https://doi.org/10.1002/sim.7501>
29. Li C. The Fine-Gray model under interval censored competing risks data. *J Multivar Anal*. 2016;143:327-44. <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2015.10.001>
30. Geskus RB. Competing risks: Concepts, methods, and software. *Annu Rev Stat Appl*. 2024;11:227-54. <https://doi.org/10.1146/annurev-statistics-040522-094556>
31. Austin PC, Allignol A, Fine JP. The number of primary events per variable affects estimation of the subdistribution hazard competing risks model. *J Clin Epidemiol*. 2017;83:75-84. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2016.11.017>
32. Latouche A, Porcher R, Chevret S. Sample size formula for proportional hazards modelling of competing risks. *Stat Med*. 2004;23:3263-74. <https://doi.org/10.1002/sim.1915>