

# Desempeño estudiantil

Gastón Barcelo, Tisiana Franco, Agustín Macció

## Introducción:

Como estudiantes, sabemos por experiencia propia lo difícil que puede ser mantener un buen rendimiento académico y equilibrar los factores personales, familiares y sociales que influyen en él. Esta experiencia nos motivó a investigar más a fondo qué elementos concretos pueden impactar en las calificaciones de los estudiantes de secundaria, utilizando el conjunto de datos disponible en el portal **UCI Machine Learning Repository**.

El [dataset](#) recopila información (durante el año lectivo 2005/2006) detallada sobre el rendimiento de alumnos de dos escuelas secundarias en Portugal, considerando diversas variables. El archivo original se divide en dos partes: una que contiene datos de la asignatura de Matemáticas y otra de Lengua Portuguesa. En este estudio, nos enfocaremos únicamente en el análisis del desempeño en Matemáticas.

A partir de este caso específico, buscamos identificar posibles relaciones entre características personales, familiares y escolares y las calificaciones finales, sin la intención de generalizar los resultados más allá de este contexto particular. Para ello, se emplearán técnicas de análisis exploratorio de datos y se construirá un modelo estadístico que permita predecir la nota final de los estudiantes. Finalmente, se desarrollará una aplicación Shiny para presentar de manera interactiva los resultados más relevantes.

Esperamos que este trabajo sirva como un ejemplo de la aplicación de herramientas de ciencia de datos en el ámbito educativo y como un punto de partida para reflexionar sobre factores que podrían ser significativos en contextos similares.

## Datos:

Rows: 395

Columns: 33

```
$ school    <chr> "GP", "GP", "GP", "GP", "GP", "GP", "GP", "GP", "GP", "GP", "~
$ sex       <chr> "F", "F", "F", "F", "F", "M", "M", "F", "M", "M", "F", "F", "~
$ age       <dbl> 18, 17, 15, 15, 16, 16, 16, 17, 15, 15, 15, 15, 15, 15, ~
$ address   <chr> "U", "U", "U", "U", "U", "U", "U", "U", "U", "U", "U", "U", "~
$ famsize   <chr> "GT3", "GT3", "LE3", "GT3", "GT3", "LE3", "LE3", "GT3", "LE~
$ Pstatus   <chr> "A", "T", "T", "T", "T", "T", "T", "A", "A", "T", "T", "T", "~
$ Medu      <dbl> 4, 1, 1, 4, 3, 4, 2, 4, 3, 3, 4, 2, 4, 4, 2, 4, 4, 3, 3, 4, ~
$ Fedu      <dbl> 4, 1, 1, 2, 3, 3, 2, 4, 2, 4, 4, 1, 4, 3, 2, 4, 4, 3, 2, 3, ~
$ Mjob      <chr> "at_home", "at_home", "at_home", "health", "other", "servic~
$ Fjob      <chr> "teacher", "other", "other", "services", "other", "other", ~
$ reason    <chr> "course", "course", "other", "home", "home", "reputation", ~
$ guardian  <chr> "mother", "father", "mother", "mother", "father", "mother", ~
$ traveltime <dbl> 2, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 3, 1, 2, 1, 1, 1, 3, 1, 1, ~
$ studytime <dbl> 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 1, 2, 3, 1, 3, 2, 1, 1, ~
$ failures  <dbl> 0, 0, 3, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 3, 0, ~
$ schoolsup  <chr> "yes", "no", "yes", "no", "no", "no", "no", "yes", "no", "n~
$ famsup     <chr> "no", "yes", "no", "yes", "yes", "yes", "no", "yes", "yes", ~
$ paid       <chr> "no", "no", "yes", "yes", "yes", "yes", "no", "no", "yes", ~
$ activities <chr> "no", "no", "no", "yes", "no", "yes", "no", "no", "no", "ye~
$ nursery   <chr> "yes", "no", "yes", "yes", "yes", "yes", "yes", "yes", "yes~
$ higher     <chr> "yes", "yes", "yes", "yes", "yes", "yes", "yes", "yes", "ye~
$ internet   <chr> "no", "yes", "yes", "yes", "no", "yes", "yes", "no", "yes", ~
$ romantic  <chr> "no", "no", "no", "yes", "no", "no", "no", "no", "no", "no"~
$ famrel     <dbl> 4, 5, 4, 3, 4, 5, 4, 4, 4, 5, 3, 5, 4, 5, 4, 4, 3, 5, 5, 3, ~
$ freetime  <dbl> 3, 3, 3, 2, 3, 4, 4, 1, 2, 5, 3, 2, 3, 4, 5, 4, 2, 3, 5, 1, ~
$ goout      <dbl> 4, 3, 2, 2, 2, 2, 4, 4, 2, 1, 3, 2, 3, 3, 2, 4, 3, 2, 5, 3, ~
$ Dalc       <dbl> 1, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, ~
$ Walc       <dbl> 1, 1, 3, 1, 2, 2, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 3, 2, 1, 2, 2, 1, 4, 3, ~
$ health     <dbl> 3, 3, 3, 5, 5, 5, 3, 1, 1, 5, 2, 4, 5, 3, 3, 2, 2, 4, 5, 5, ~
$ absences  <dbl> 6, 4, 10, 2, 4, 10, 0, 6, 0, 0, 0, 4, 2, 2, 0, 4, 6, 4, 16, ~
$ G1         <dbl> 5, 5, 7, 15, 6, 15, 12, 6, 16, 14, 10, 10, 14, 10, 14, 14, ~
$ G2         <dbl> 6, 5, 8, 14, 10, 15, 12, 5, 18, 15, 8, 12, 14, 10, 16, 14, ~
$ G3         <dbl> 6, 6, 10, 15, 10, 15, 11, 6, 19, 15, 9, 12, 14, 11, 16, 14, ~
```

El dataset utilizado como ya mencionamos procede de **UCI Machine Learning Repository** (repositorio de datos abiertos internacional).

El archivo seleccionado corresponde a información recopilada en dos escuelas secundarias portuguesas, específicamente sobre estudiantes de la asignatura de Matemáticas. El dataset con-

tiene un total de **395 observaciones**, cada una correspondiente a un estudiante individual.

En total se incluyen **33 variables**, que abarcan características académicas, personales, familiares y sociales. Entre ellas se encuentran variables como:

Información demográfica: edad, género, si vive en lugar urbano o rural.

Contexto familiar: nivel educacional de los padres, categoría laboral de los padres, relación familiar.

Aspectos académicos: tiempo de estudio, inasistencias, notas parciales y finales.

Variables socioeconómicas: actividades extracurriculares, apoyo educativo, comportamiento de consumo de alcohol, entre otras.

Esta cantidad de variables ofrece la posibilidad de investigar varios factores los cuales pueden tener influencia en el comportamiento escolar y facilita el uso de técnicas de análisis exploratorio y modelado estadístico.

La variable **G3** es la nota final anual. Mientras que **G1** y **G2** corresponden a las notas de primer y segundo período respectivamente.

Para el mejor entendimiento de las variables de calificaciones recién mencionadas dejamos una breve explicación del funcionamiento del sistema de evaluación en estas escuelas portuguesas:

Se adoptan calificaciones de 0 a 20 de escala, donde se requiere 10 de calificación mínima para aprobar. El cierre del curso académico se califica a través de tres momentos a lo largo del año escolar, dados por las variables **G1**, **G2** y **G3**, correspondientes a calificación del primer período, del segundo período y a la calificación del cierre del curso, correspondientemente.

Es importante mencionar que, una calificación final de 0 podría reflejar que el estudiante no se presentó a clase o a evaluaciones clave. Sin embargo, el dataset no aclara si existe una regla administrativa de 0 en caso de inasistencia o abandono del curso..

## Análisis Exploratorio:

El objetivo de este análisis exploratorio es determinar si las variables que, en un primer momento, seleccionamos por considerarlas explicativas de la nota final (G3), realmente cumplen con esa función.

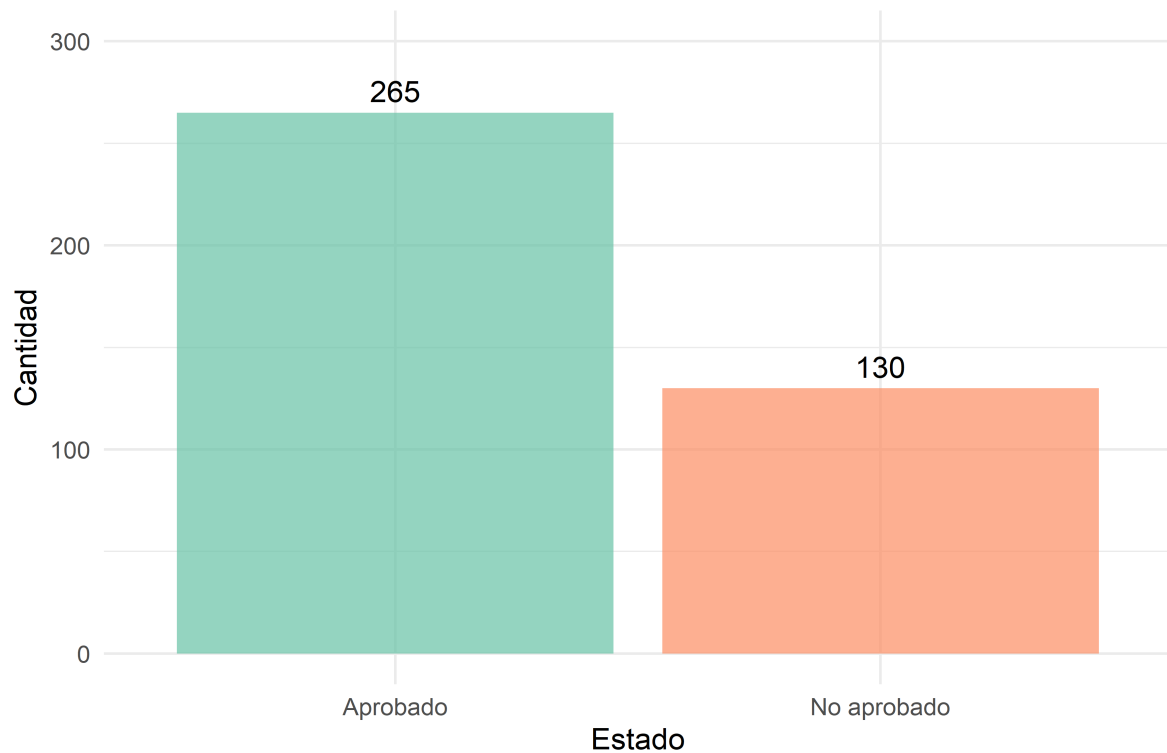


Figura 1: Estudiantes aprobados vs no aprobados.

Este gráfico de barras compara la cantidad de estudiantes que aprobaron con los que no aprobaron, según la nota final (G3). Aunque hay una mayoría que logra aprobar, **un 33% aproximadamente no lo logra** (130 de 395 estudiantes en total).

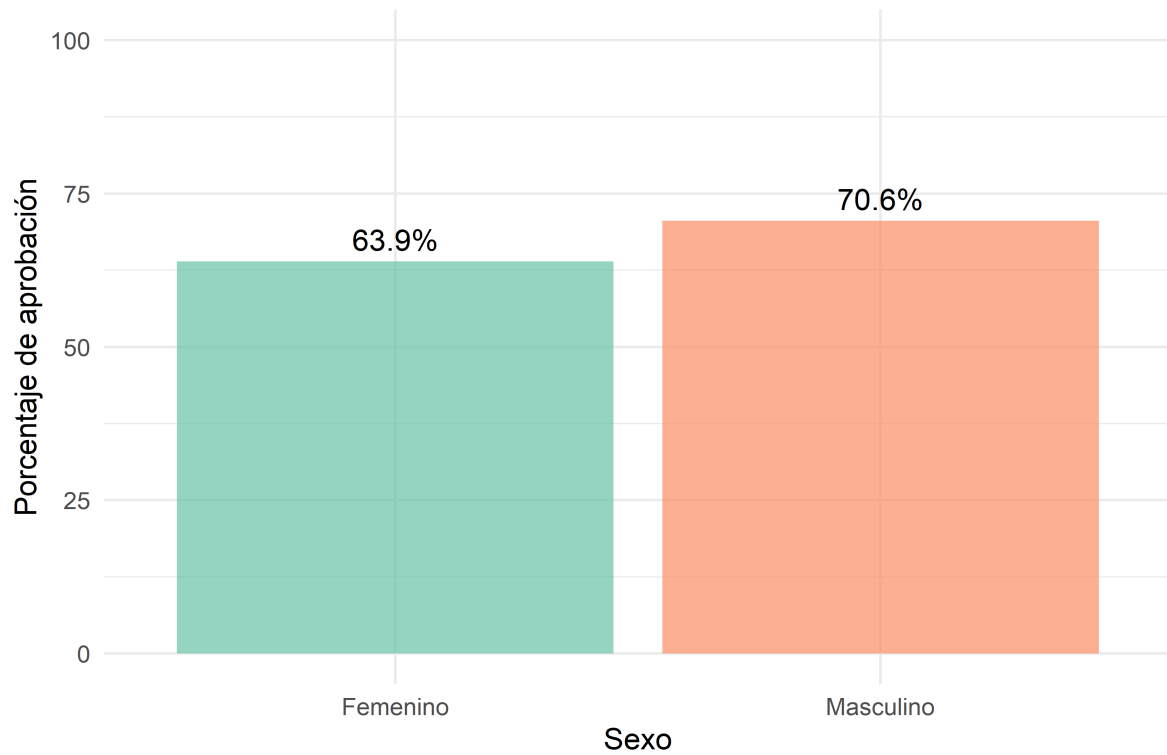


Figura 2: Gráfico de barras porcentaje de aprobación según sexo.

Esta visualización muestra el porcentaje de estudiantes aprobados según su sexo: femenino o masculino.

En este grupo de datos, los estudiantes masculinos tienen una tasa de aprobación más alta que las estudiantes femeninas.

**70.6%** de los estudiantes masculinos aprueban, mientras que **63.9%** de las estudiantes femeninas aprueban.

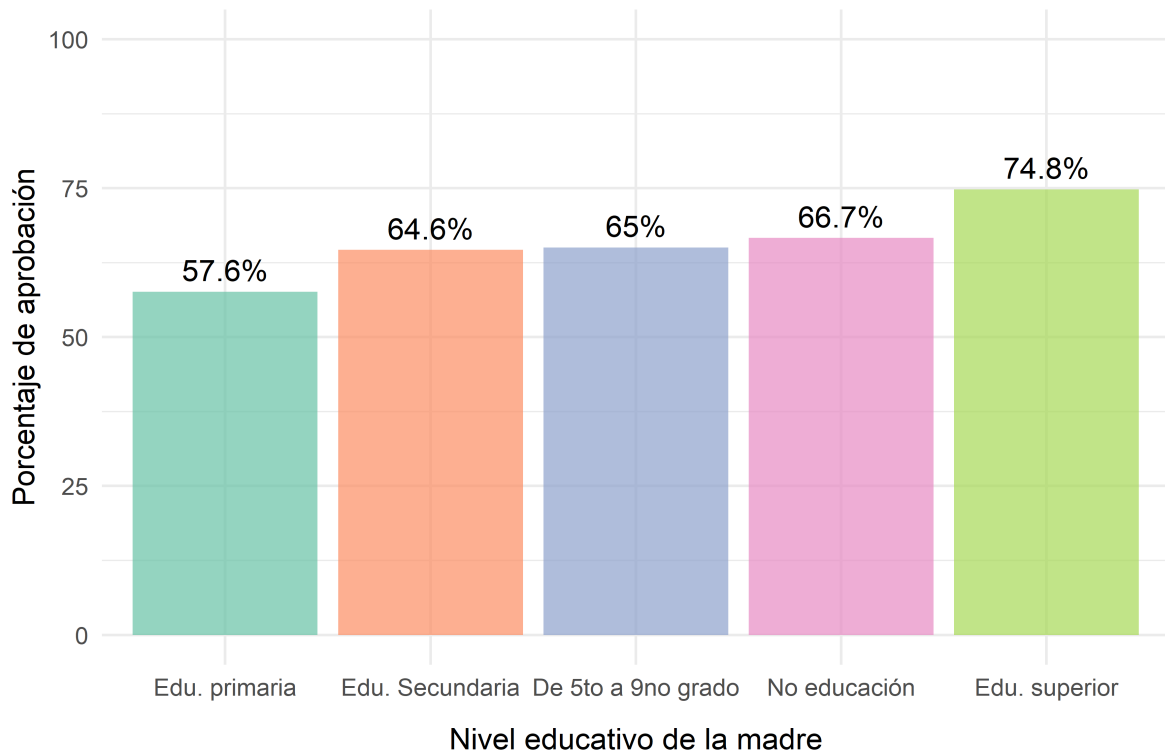


Figura 3: Gráfico de barras porcentaje de aprobación según educación de la madre.

Compara el porcentaje de estudiantes que aprueban (nota final suficiente) en función del nivel educativo alcanzado por la madre.

- Los hijos de madres con educación superior tienen la tasa de aprobación más alta (**74.8%**).
- Los hijos de madres con educación primaria presentan la tasa más baja (**57.6%**).
- Entre medias, los niveles de secundaria, 5to a 9no grado, y sin educación rondan entre **64% y 67%**, sin una diferencia notoria.
- Llama la atención que el grupo “sin educación” (**66.7%**) no es el más bajo: supera a primaria y se parece a secundaria y 5to-9no grado.

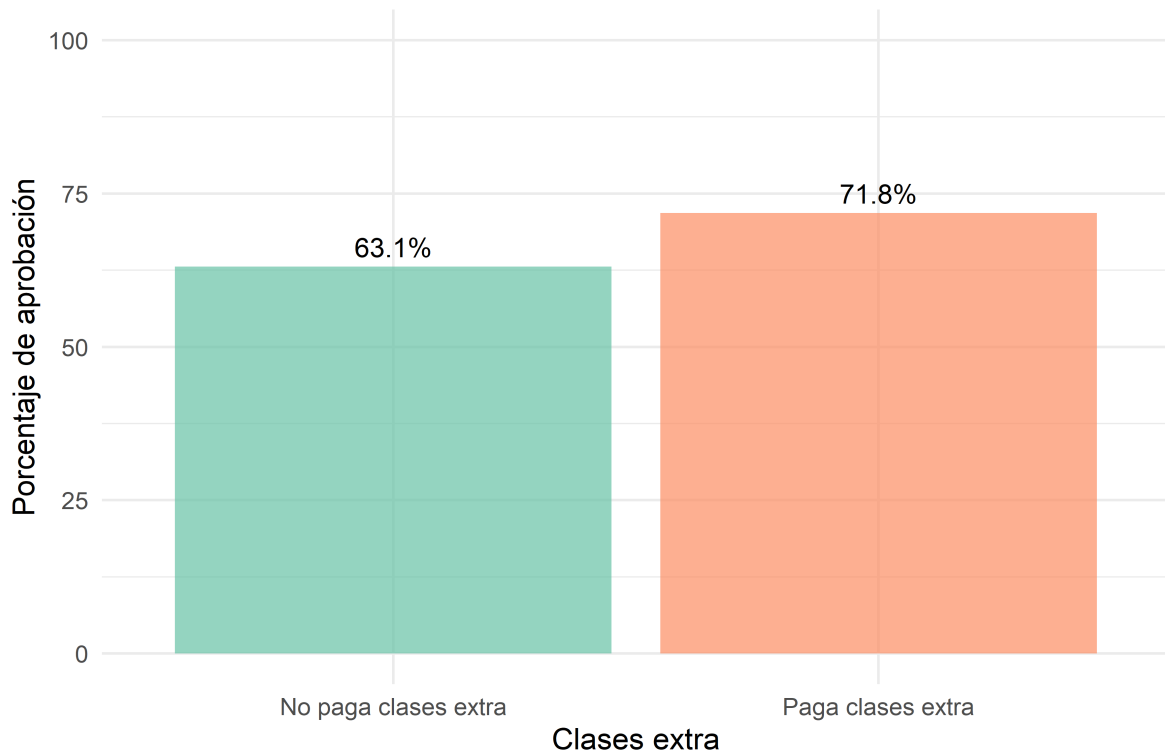


Figura 4: Gráfico de barras porcentaje de aprobación según si toma clases extra pagas.

Aquí podemos visualizar la tasa de aprobación de estudiantes según si **pagan clases extra** o no.

- Los estudiantes que pagan clases extra tienen una tasa de aprobación de **71.8%**.
- Los que no pagan clases extra tienen una tasa de aprobación de **63.1%**.

Los estudiantes que reciben clases extra tienen más probabilidades de aprobar que quienes no lo hacen. Este resultado respalda la idea de que el refuerzo académico adicional (clases particulares o tutorías) tiene un impacto positivo en el rendimiento escolar.

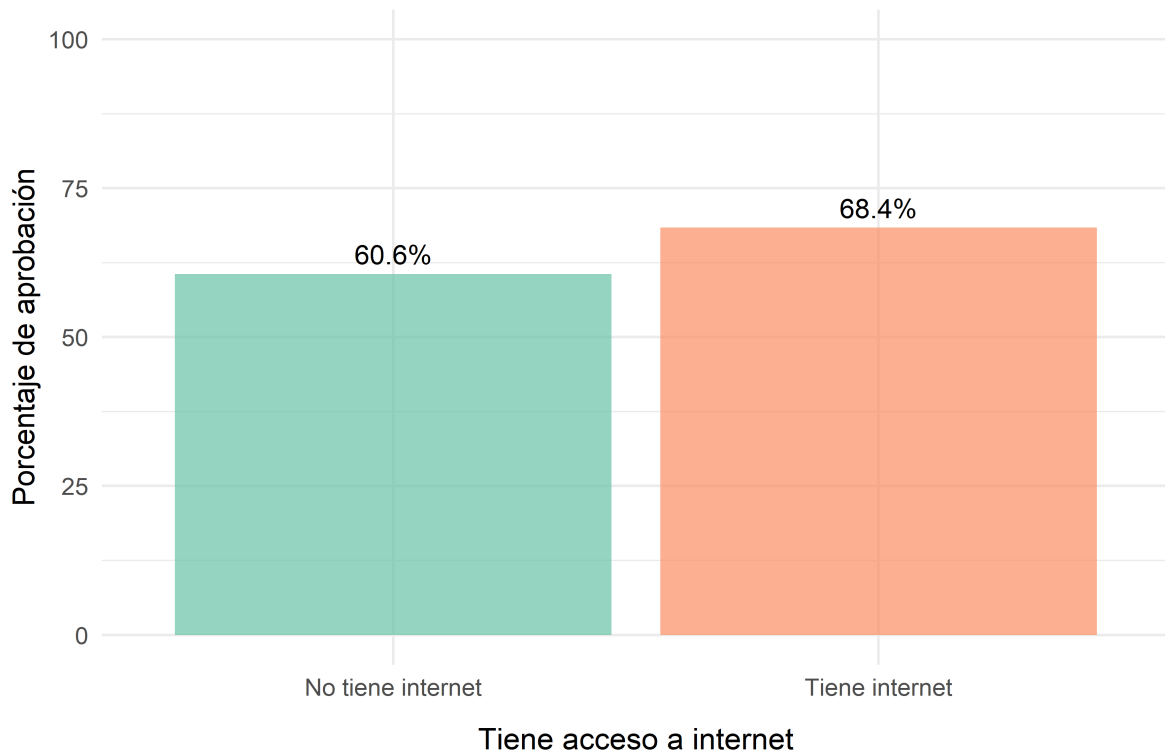


Figura 5: Gráfico de barras porcentaje de aprobación según si tiene acceso a internet.

Este gráfico compara la tasa de aprobación de estudiantes con acceso a internet en casa frente a aquellos que no tienen acceso.

- Los estudiantes con internet tienen una tasa de aprobación de **68.4%**.
- Los estudiantes sin internet tienen una tasa de aprobación de **60.6%**.

Esto concluye a que tener acceso a internet, al menos en esta investigación, está asociado a una mayor probabilidad de aprobar, la diferencia es de **7.8** puntos porcentuales.



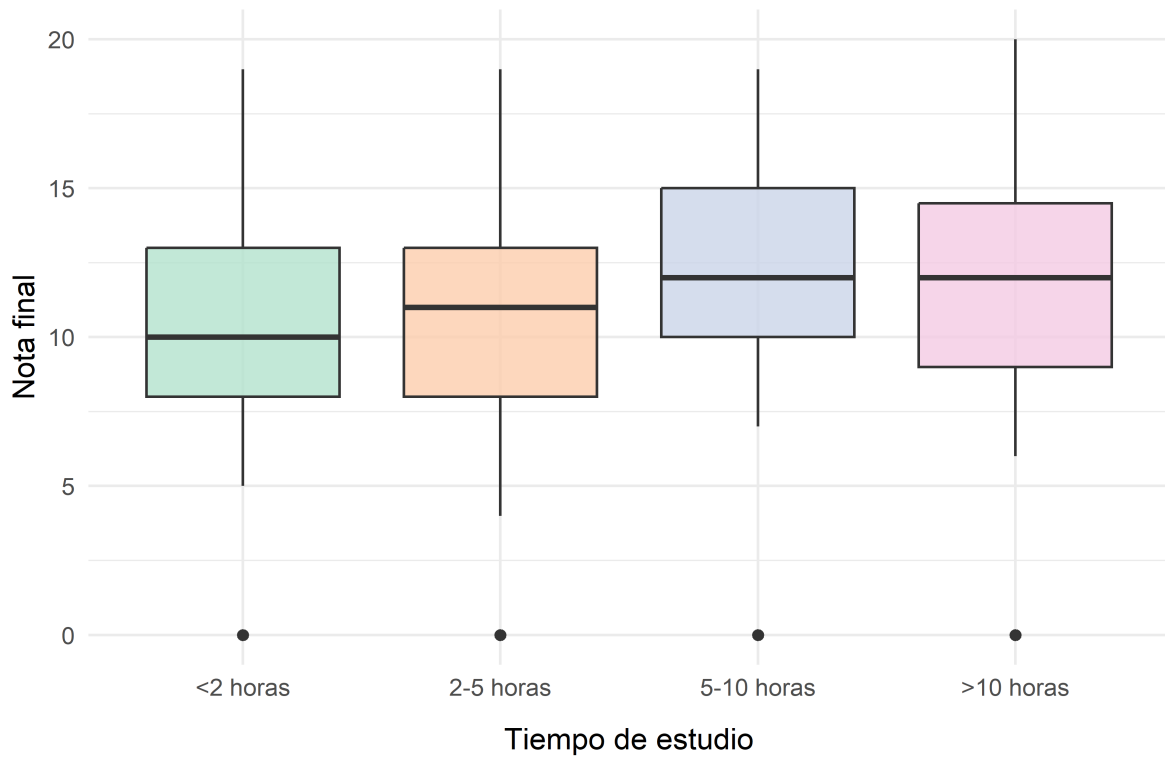


Figura 6: Box plot de nota final según tiempo de estudio.

Más horas de estudio tienden a relacionarse con mejores calificaciones finales, especialmente hasta el rango de 5-10 horas semanales. Estudiar más de 10 horas no garantiza mejores resultados, lo que sugiere que otros factores (como la calidad del estudio, apoyo docente o factores personales) también juegan un papel importante. Además, en todos los grupos hay alta variabilidad y valores bajos (0), lo que reafirma esa sugerencia.

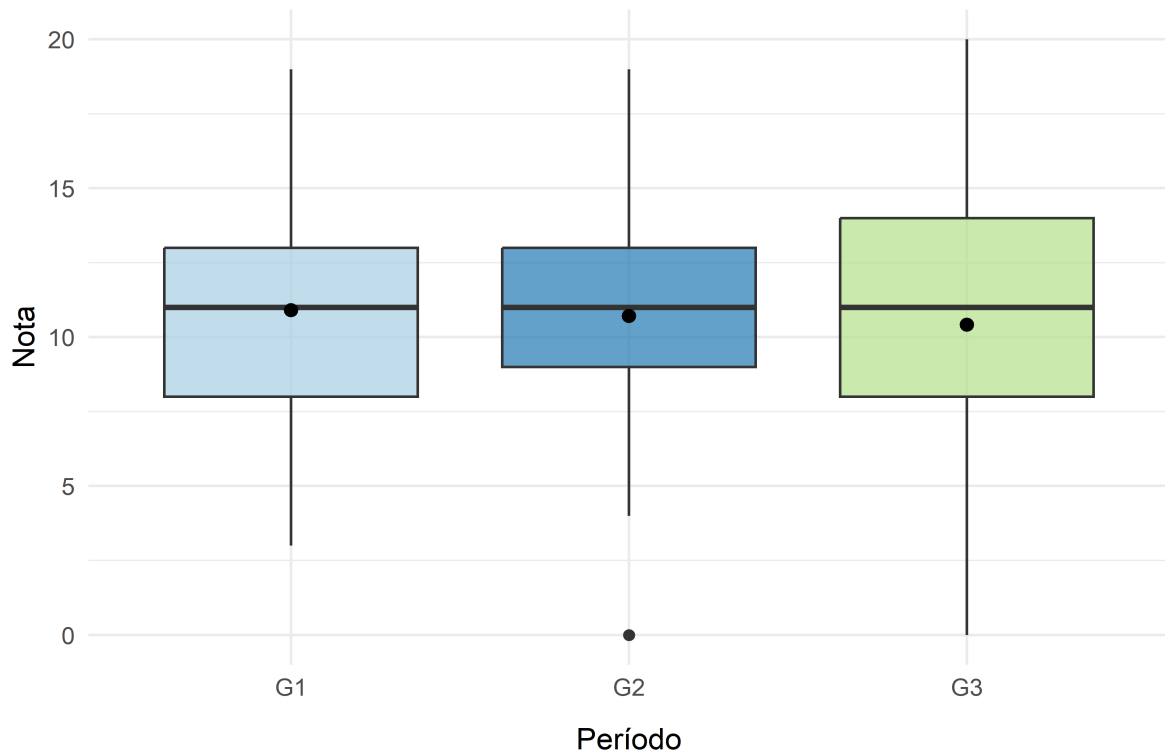


Figura 7: Box plot de calificación por periodo.

Al observar la primera gráfica, vemos que la mediana y la distribución de las calificaciones de G1, G2 y G3 son bastante similares. Es decir, como grupo, los estudiantes no muestran un cambio drástico (ni mejora ni empeora fuertemente) a lo largo del año escolar. Por lo que las notas del primer y segundo periodo (G1 y G2) pueden predecir bastante bien la nota final (G3).

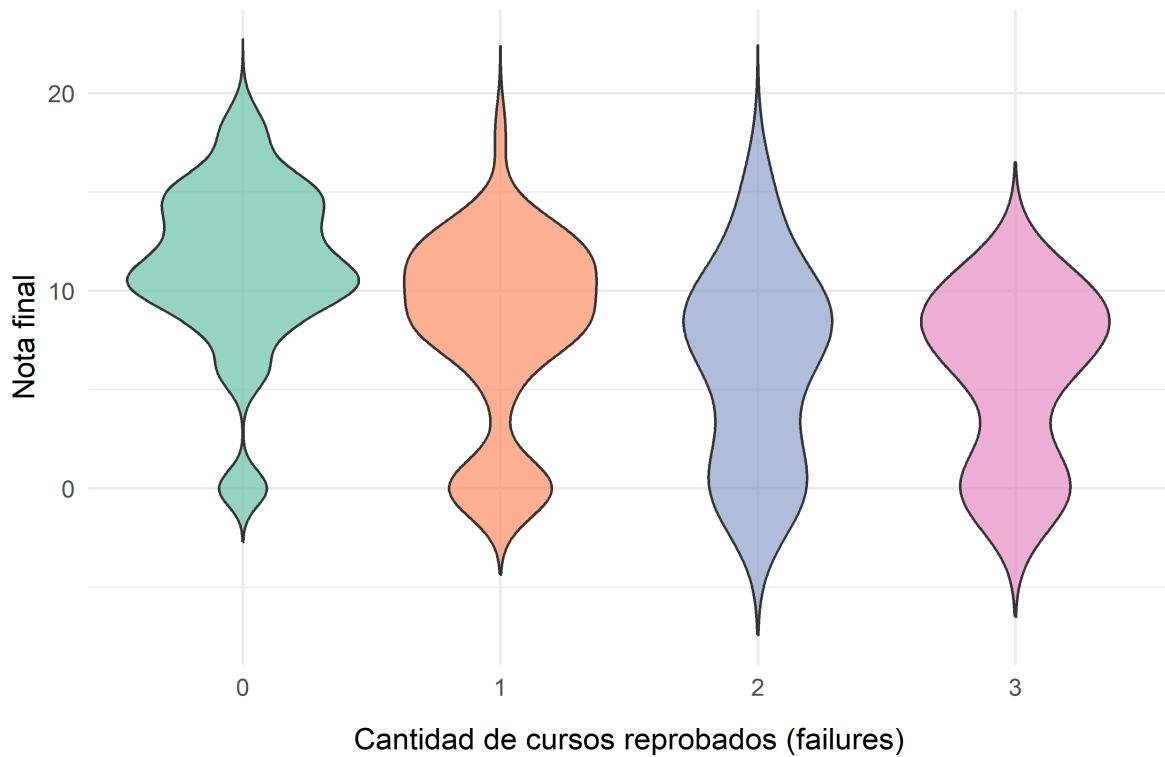


Figura 8: Violin plot de nota final según cantidad de cursos reprobados.

En este grafico de violin podemos observar conclusiones claras: A medida que aumenta la cantidad de cursos reprobados (failures), la distribución de la nota final (G3) tiende a bajar.

Los estudiantes sin cursos desaprobados (**failures** = 0) presentan una concentración de notas finales más alta, con la mayoría de los valores agrupados entre 10 y 15 puntos, lo que indica un buen desempeño general.

Para las puntuaciones de **failure** = 2 o 3, la distribución es mucho más dispersa y se extiende hacia notas muy bajas, llegando incluso a acumularse en valores cercanos a 0, lo que muestra una alta probabilidad de no aprobar.

El gráfico confirma el resultado esperado: no aprobar cursos anteriores es un buen predictor de bajo rendimiento final.

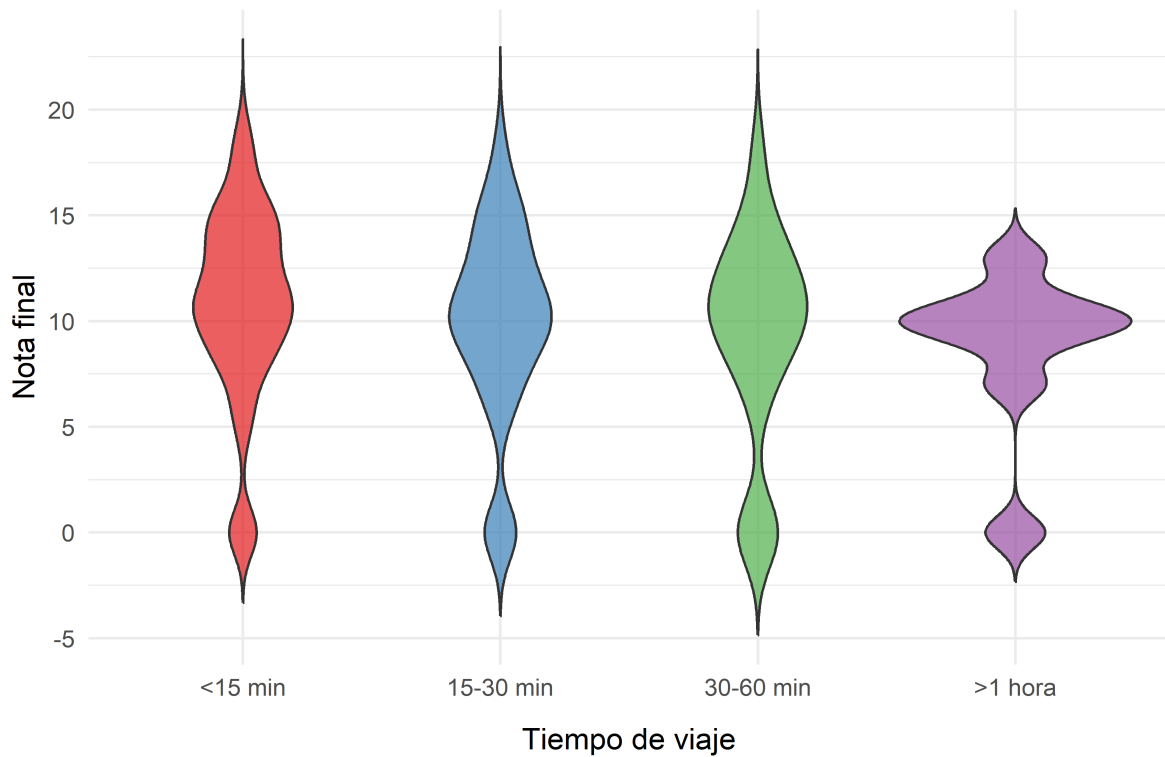


Figura 9: Violin plot de nota final según tiempo de viaje.

Los estudiantes con tiempos de viaje menores a 15 minutos, entre 15-30 minutos y entre 30-60 minutos presentan distribuciones de notas relativamente amplias y centradas alrededor de la media (aproximadamente entre 10 y 12). Esto significa que estos tiempos de viaje no se relacionan de forma fuerte o directa con grandes diferencias en el rendimiento académico.

Los estudiantes con tiempos de viaje mayores a 1 hora muestran una distribución más estrecha y concentrada en torno a notas cercanas a 10, con menor dispersión y una leve tendencia a agruparse en calificaciones más bajas que los grupos con viajes más cortos. Esto podría indicar que los tiempos de viaje muy largos se asocian con un rendimiento algo más bajo o con menor variabilidad (menos probabilidad de alcanzar notas muy altas).

Los grupos con trayectos cortos (<15 min) o medianos (15-60 min) presentan distribuciones más amplias en las notas altas (15-20). Esto podría sugerir que estudiantes con trayectos más cortos pueden llegar a tener mayores posibilidades de obtener calificaciones más altas, quizás porque les queda más tiempo para estudiar o porque el trayecto es menos agotador y están más descansados en clase.

Estas conclusiones nos generó una nueva pregunta; ¿Más tiempo de viaje es indicador de mayor cantidad de faltas?

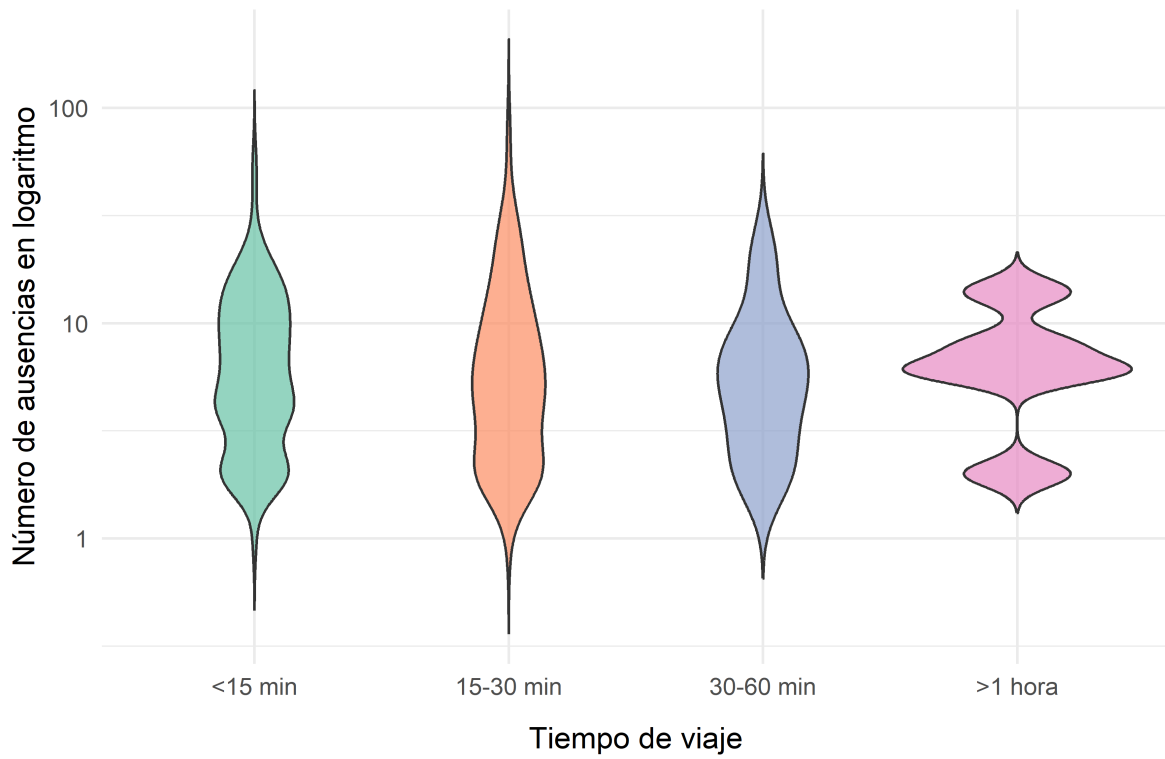


Figura 10: Violin plot de ausencias (escala log) según tiempo de viaje.

El gráfico de violín nos da la distribución del número de ausentes (escalada logarítmicamente) con el tiempo de viaje del estudiante en cuatro intervalos: menos de 15 minutos, entre 15–30 minutos, entre 30–60 minutos y más de 1 hora. A gran escala se observa que quienes residen a mayor distancia (>1 hora) tienden a acumular más ausencias con una distribución concentrada en valores más altos, también parece haber mas densidad en la parte superior del violín, indicando que hay más individuos con altas ausencias en este intervalo, mientras quienes viven a poca distancia (<15 min) suelen tener menos ausencias y presentan menor dispersión. Los intervalos intermedios (15–30 min y entre 30–60 min) muestran mayor variabilidad, lo que sugiere que hay otros factores que influyen en el ausentismo. En conclusión, se identifica una relación positiva entre mayor tiempo de viaje y mayor tendencia a acumular ausencias, si bien este patrón sugiere que el tiempo de viaje podría estar asociado con mayores niveles de ausentismo, otros factores pueden influir y la relación no es necesariamente causal.

### Relación entre G1, G2 y G3:

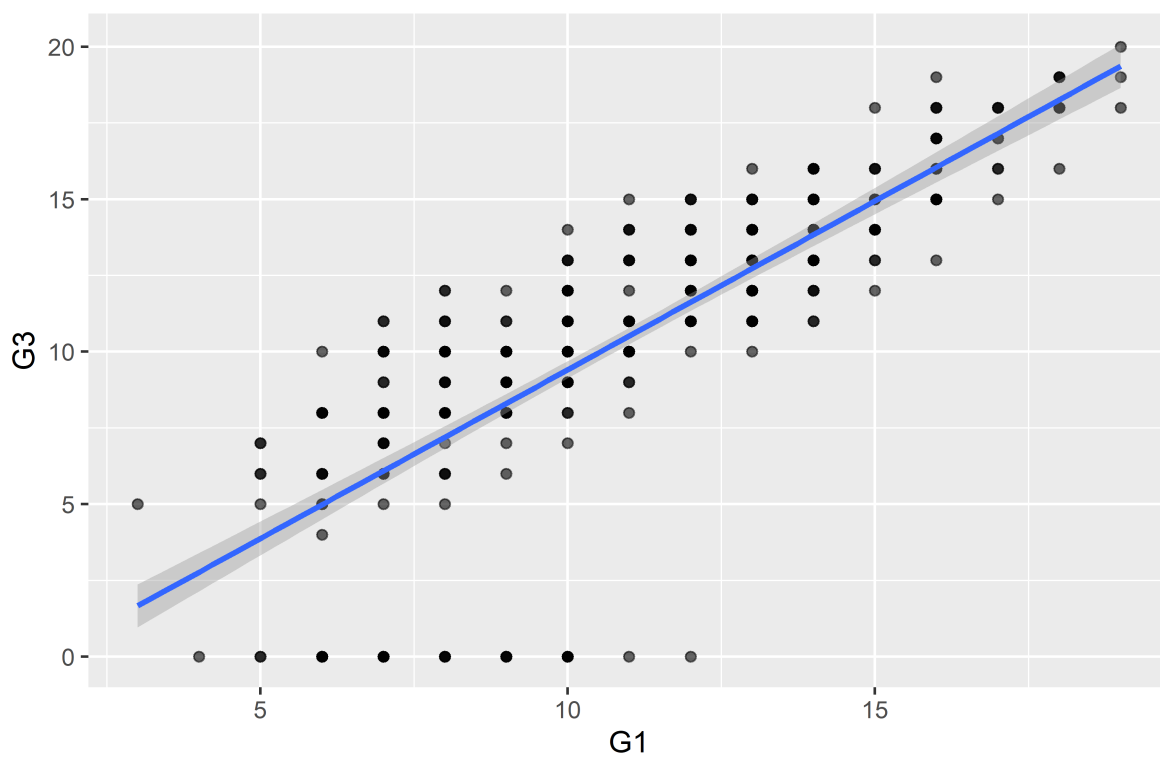


Figura 11: Relación entre G1 y G3.

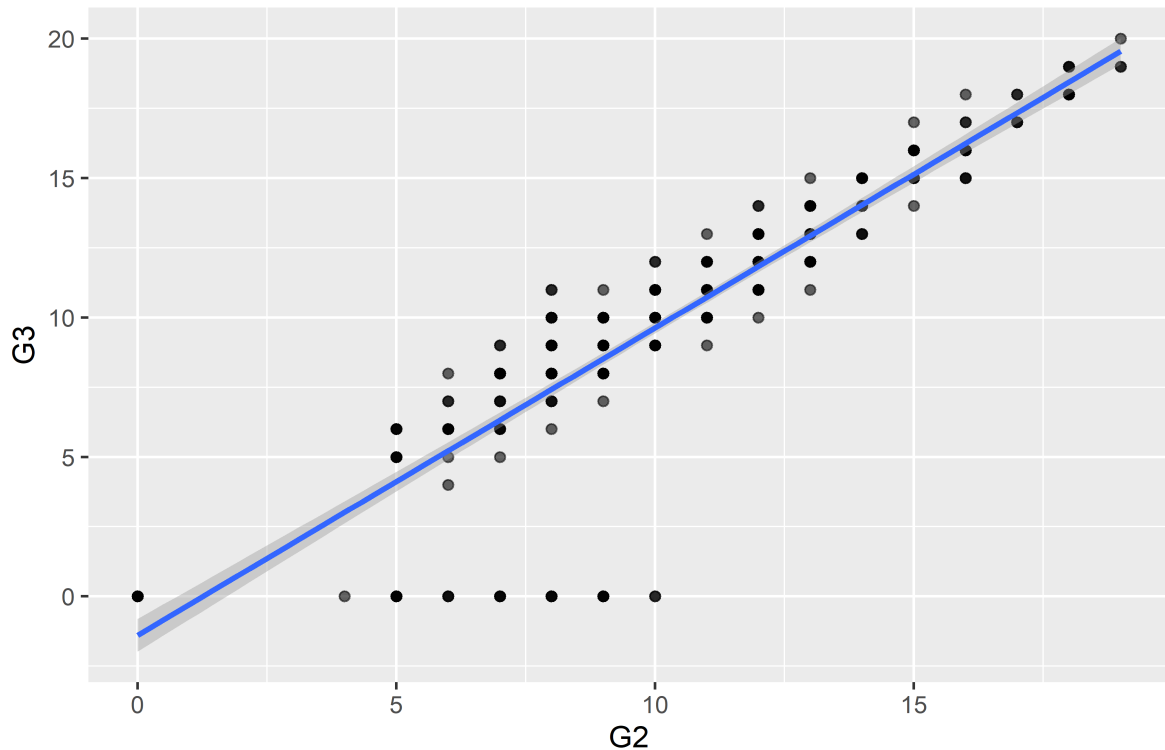


Figura 12: Relación entre G2 y G3.

#### JUSTIFICACION DE POR QUE SACAMOS G1 Y G2 DE VARIABLES PREDICTORAS:

En la **figura 11**, se observa una relación lineal positiva clara entre la primera calificación parcial (G1) y la calificación final (G3), lo que **confirma que el rendimiento inicial de los estudiantes es un buen predictor de su rendimiento final**. La baja dispersión alrededor de la línea de tendencia refuerza la idea de que G1 es una variable fuertemente predictiva. Lo mismo ocurre con G2.

Por este motivo, se decidió **construir modelos sin G1 y G2** como variables explicativas y luego incluirlas para comparar.

Al excluir estas variables obligaremos al modelo a explicar G3 usando variables externas (familiares, personales, contexto).

Esta idea está respaldada en la misma página del dataset que dice: [It is more difficult to predict G3 without G2 and G1, but such prediction is much more useful.](#)

## Modelo:

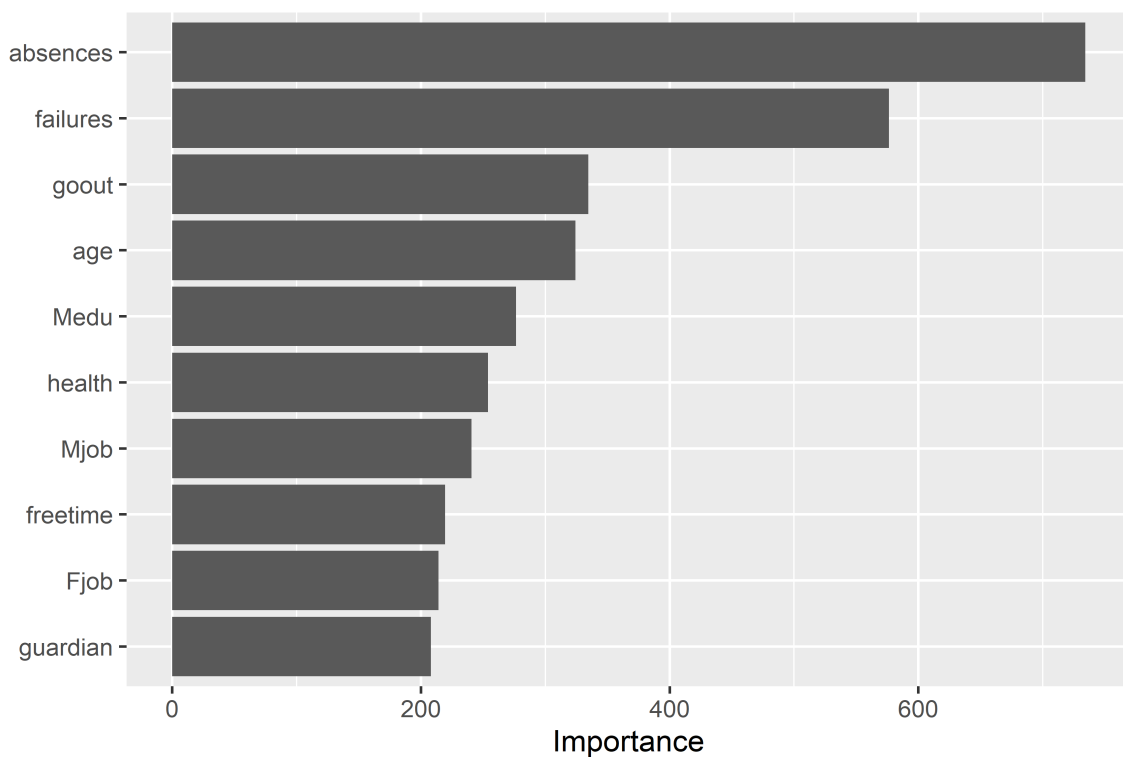
El modelo elegido es Random Forest ya que nos parece un excelente modelo predictor. En este contexto usaremos una cantidad de 1000 árboles. No realizamos ningún podado.

En un primer paso haremos un split con 80% para train y 20% para test, luego crearemos el modelo y lo entrenaremos con los datos del train, para en un ultimo paso predecir sobre los datos del test y hacer las metricas correspondientes.

Como ya mencionamos anteriormente, nuestra variable objetivo o de respuesta  $\sim y \sim$  es la nota final (G3).

Para este primer modelo, usaremos como variables predictoras todas menos G1 y G2.

### Random forest de regresión (sin tomar G1 y G2)





A continuación un pantallazo de la tabla de predicción:

Tabla 1: Predicciones del modelo

G3	Predicción
6	10.763526
10	10.815750
19	12.646481
14	12.496596
16	8.657742
11	11.966206

Y las métricas correspondientes:

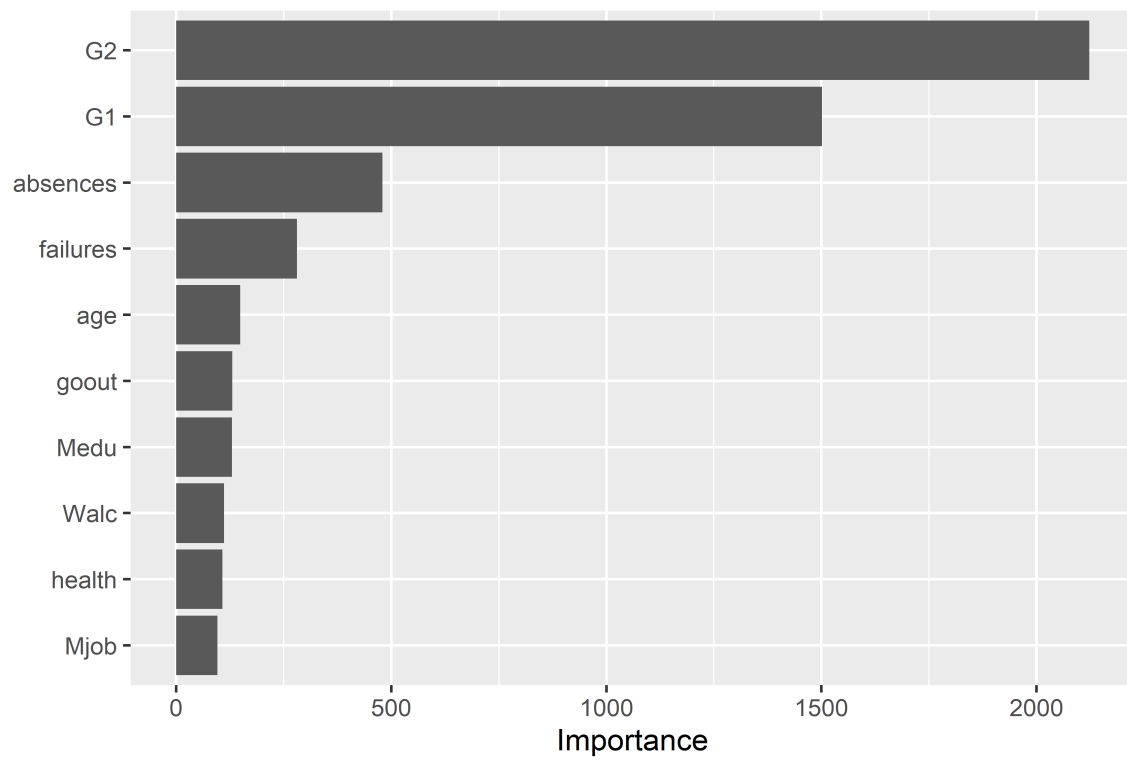
Tabla 2: Métricas del modelo

Métrica	Valor
rmse	4.0500226
rsq	0.1762332
mae	3.0096618

El  $R^2$  obtenido en el conjunto de testeo fue de aproximadamente 0.18, lo que confirma que, sin considerar **G1** y **G2**, la capacidad predictiva de las demás variables no es muy buena. Este resultado coincide con el comentario de la página original del dataset, que señala que la nota final (**G3**) depende en gran parte de los parciales anteriores.

### Random forest de regresión (tomando G1 y G2)

Ahora contrastaremos agregando G1 y G2 como variables predictoras.



Aquí un pantallazo de la tabla de predicción:

Tabla 3: Predicciones del modelo

G3	Predicción
6	6.370141
10	8.951040
19	15.967933
14	13.923508
16	13.596450
11	11.546358

Y las métricas correspondientes:

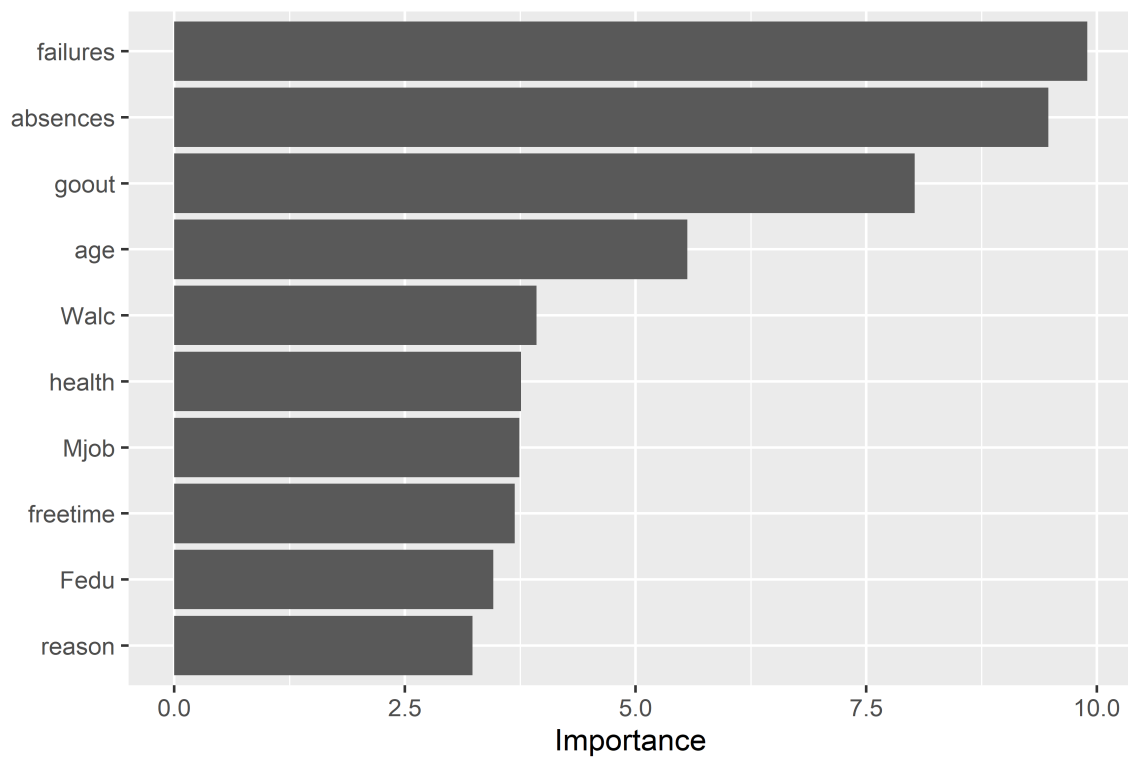
Tabla 4: Métricas del modelo

Métrica	Valor
rmse	2.1167530
rsq	0.8146957
mae	1.4691312

El incremento del  $R^2$  de 0.176 a 0.815 muestra claramente que **G1** y **G2** concentran casi todo el poder predictivo del modelo. Sin ellas, las variables restantes no logran predecir la nota final (**G3**) de forma adecuada.

Para indagar un poco más, crearemos otro modelo de random forest pero **ajustando nuestra variable G3 de una numerica de 0-20 a una categorica de no aprobado (<10 puntos) y aprobado ( $\geq 10$  puntos)** y nuestro modelo pasará ahora a un random forest de clasificación.

#### Random forest de clasificación (sin tomar G1 y G2)



A continuación un pantallazo de la tabla de predicción:

Tabla 5: Predicciones del modelo

Estado	Predicción
No aprobado	Aprobado
Aprobado	Aprobado
Aprobado	Aprobado
No aprobado	Aprobado
Aprobado	Aprobado
Aprobado	Aprobado

Y las métricas correspondientes:

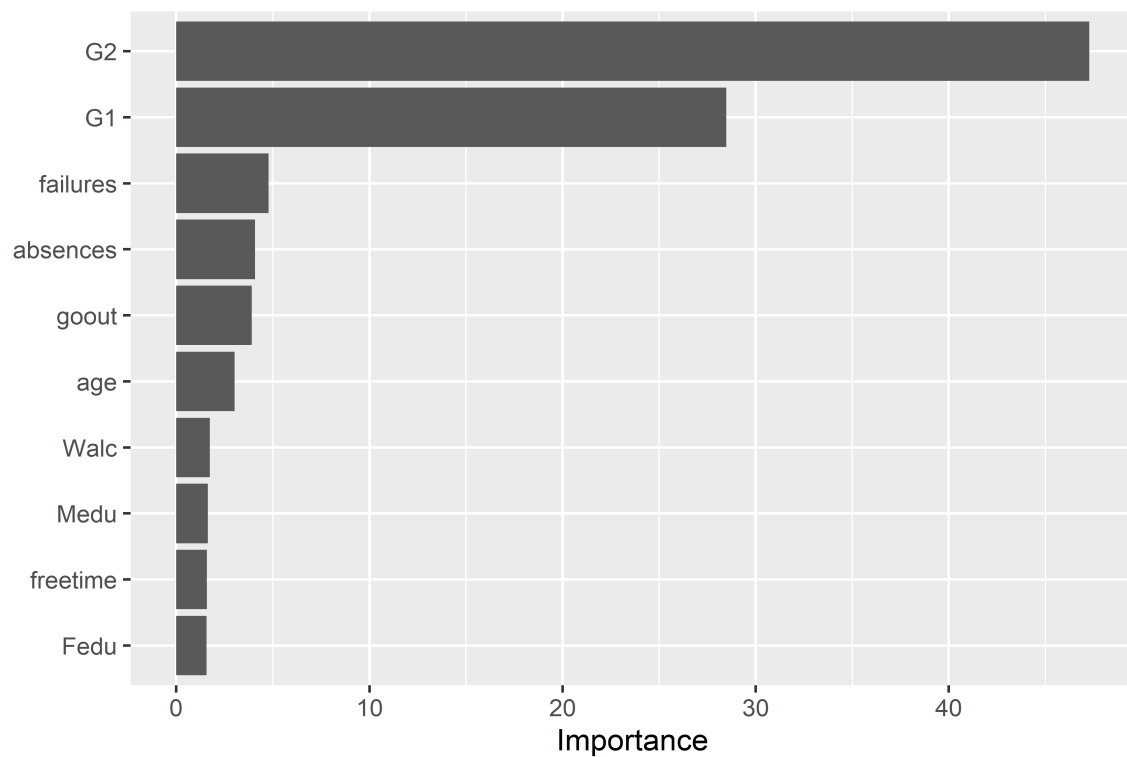
Tabla 6: Métricas del modelo

Métrica	Valor
accuracy	0.7341772
kap	0.2603656

Se observa una gran mejora en el rendimiento del modelo, alcanzando una precisión del 73 %. Al transformar el problema en uno de clasificación binaria (Aprobado/No aprobado), el modelo logra una capacidad predictiva considerablemente mejor (aproximadamente 7 de cada 10 son predecidas correctamente).

Ahora consideraremos también a G1 y G2 pero manteniendo la variable de respuesta siendo binaria (aprobado/no aprobado).

### Random forest de clasificación (tomando G1 y G2)



A continuación un pantallazo de la tabla de predicción:

Tabla 7: Predicciones del modelo

Estado	Predicción
No aprobado	No aprobado
Aprobado	Aprobado
Aprobado	Aprobado
No aprobado	Aprobado
Aprobado	Aprobado
Aprobado	Aprobado

Y las métricas correspondientes:

Tabla 8: Métricas del modelo

Métrica	Valor
accuracy	0.8987342
kap	0.7750890

Vemos que el modelo mejora notablemente una vez más, alcanzando una precisión del 90% y estimando correctamente aproximadamente 9 de cada 10 casos.

### Conclusión:

Hay algo que se observa de forma consistente en todos los modelos: las variables más importantes para predecir la nota final, sin considerar **G1** y **G2**, son principalmente:

- **failures**: número de cursos reprobados previamente (valores de 0, 1, 2, 3 o 4; donde 4 indica cuatro o más cursos reprobados).
- **absences**: número de inasistencias registradas (de 0 a 93).
- **goout** y **age**: estas variables suelen intercambiarse en el ranking de importancia según el modelo. **goout** indica la frecuencia de salidas con amigos (de 1 = muy baja a 5 = muy alta), mientras que **age** corresponde a la edad del estudiante (de 15 a 22 años).

### Aplicación Shiny:

Para complementar el análisis, se diseñó una aplicación Shiny que permite visualizar los principales resultados del análisis exploratorio de forma interactiva. La aplicación organiza la información en tres pestañas: la primera muestra gráficos de barras, la segunda contiene boxplots y la tercera presenta gráficos de violín, todo esto para brindar una perspectiva más detallada de la distribución de las variables.

El código de la app shiny se encuentra en el repositorio como «app» [y aquí está el link](#).

## Comentarios finales:

### **Relación entre calificaciones parciales y finales:**

En primer lugar, confirmamos que las calificaciones parciales (G1 y G2) explican gran parte del rendimiento final (G3). El desempeño del estudiante al inicio y a mitad de año es un indicador fuerte de la nota final. Esto se refleja en la diferencia de R2 sin G1 y G2, el modelo apenas alcanza un R2 de 0.18 mientras que al incluirlas sube a 0.81, lo que demuestra su gran peso explicativo.

### **Factores de apoyo académico y contexto familiar:**

Detectamos que ciertas variables como pagar clases particulares, tener acceso a internet en casa y el nivel educativo de la madre están asociadas a una mayor probabilidad de aprobación. Por ejemplo, los estudiantes que reciben clases extra tienen una tasa de aprobación del 71,8% frente al 63,1% de quienes no lo hacen. De forma similar, quienes cuentan con internet presentan mejores resultados (68,4% frente a 60,6%) y los hijos de madres con educación superior superan claramente a aquellos con madres con nivel primario (74,8% frente a 57,6%).

### **Historial académico y desempeño:**

El número de cursos reprobados previamente resulta ser un fuerte indicador de bajo rendimiento final. A mayor cantidad de asignaturas desaprobadas, menor es la probabilidad de obtener una nota suficiente.

### **Factores logísticos:**

El tiempo de viaje hasta la escuela también muestra cierta relación indirecta: quienes recorren más de una hora tienden a tener más faltas y rendimientos algo más bajos. Los estudiantes con trayectos más cortos suelen tener mejor desempeño y menor ausentismo, probablemente por disponer de más tiempo para estudiar y llegar menos fatigados.

### **Mejora del modelo al usar clasificación binaria:**

Cambiar el enfoque a un modelo de clasificación (aprobado/no aprobado) permitió mejorar la precisión. Sin G1 y G2, la precisión alcanzó un 73%, mientras que al incluirlas se elevó a un 90%, lo que vuelve a reforzar su relevancia.

## **Posibles líneas de trabajo futuras:**

**Analizar la calidad del estudio:** profundizar en cómo influyen no solo las horas de estudio, sino la forma en que se organiza y la calidad del apoyo recibido.

**Incluir variables complementarias:** incorporar nuevos factores como características del entorno escolar por ejemplo la calidad docente, infraestructura, recursos. También aspectos psicológicos como motivación, estrés del estudiante.

**Realizar estudios más extensos en el tiempo:** seguir a los MISMOs estudiantes a lo largo de varios años o en otras varias materias para observar la evolución del rendimiento (en este caso, contábamos con datos de otra asignatura que era lengua portuguesa, pero no era posible

identificar a los mismos estudiantes en ambas materias, por lo que no se pudo relacionar la información individual de cada uno entre asignaturas).

## **Paquetes utilizados:**

Wickham, Hadley. 2023. Tidyverse: Easily Install and Load the Tidyverse.

Wickham, Hadley. 2023. Ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics.

Allaire, J. J., et al. 2023. Here: A Simpler Way to Find Your Files.

Wickham, Hadley, and Jennifer Bryan. 2023. Readxl: Read Excel Files.

Wickham, Hadley. 2023. Forcats: Tools for Working with Categorical Variables (Factors).

Xie, Yihui. 2023. Knitr: A General-Purpose Package for Dynamic Report Generation in R.

Neuwirth, Erich. 2022. RColorBrewer: ColorBrewer Palettes.

Kuhn, Max, and Hadley Wickham. 2023. Rsample: General Resampling Infrastructure.

Kuhn, Max, and Hadley Wickham. 2023. Tidymodels: Easily Install and Load the Tidymodels Packages.

Wright, Marvin N., and Andreas Ziegler. 2023. Ranger: A Fast Implementation of Random Forests.

Greenwell, Brandon M., and Bradley C. Boehmke. 2023. Vip: Variable Importance Plots.