

Generación automática de exámenes de problemas de resolución numérica en materias de ciencia e ingeniería mediante R y LaTeX

Egea Larrosa, Jose Alberto; Doval Miñarro, Marta. Universidad Politécnica de Cartagena

Resumen

En este trabajo presentamos una metodología para la generación automática de exámenes de resolución numérica haciendo uso de las herramientas de software libre R y LaTeX. El diseño de diferentes modelos de examen en los que los grados de libertad no fijados varían así como la recopilación de datos de distintos casos de estudio, hace posible múltiples combinaciones de exámenes que pueden ser preparados usando plantillas diseñadas por el usuario y obteniendo al mismo tiempo las soluciones, lo cual permite agilizar también el tiempo de corrección. Este proceso está siendo probado en exámenes reales de diversos niveles de Estadística y ha comenzado a experimentarse en otras áreas como la ingeniería química.

Introducción

La necesidad de evaluación individual del alumnado hace que el proceso de preparación y corrección de exámenes sea una tarea fundamental y de gran dedicación en el trabajo del profesorado. Más aún si cabe en el contexto del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), donde se promueven las actividades de evaluación continua. Muchas de estas actividades consisten en exámenes parciales durante el semestre / año, con lo cual el trabajo de preparación y corrección por parte del profesor ha aumentado considerablemente desde la entrada en dicho espacio.

El uso de las nuevas tecnologías permite mejorar la eficiencia del proceso de preparación de diversas actividades de formación y evaluación (Canós Darós, 2009). Algunas de estas herramientas pueden ser usadas al mismo tiempo como específicas para el aprendizaje de los contenidos de ciertas materias, y como apoyo al profesor para preparar y corregir exámenes. En concreto, la herramienta R (R Core Team, 2013) como programa de estadística y lenguaje de programación permite, por un lado, servir como software de prácticas en diversas asignaturas de estadística y de programación, y por otro, gracias a algunos de sus paquetes disponibles, como editor de texto que permita formular y resolver problemas numéricos de distinta índole. En concreto, el paquete *knitr* (Xie, 2015) conecta las capacidades de cálculo de R con el procesador LaTeX (Lamport, 1986) para generar documentos en PDF donde se ejecutan una serie de cálculos que pueden ser variados en función de los datos de entrada para la creación de nuevos exámenes y su corrección, con mínimo trabajo por parte del profesor. La combinación de herramientas similares ha sido utilizada por diversos autores para la realización de otras tareas afines, como la elaboración de exámenes

con respuestas aleatorizadas (Gómez et al., 2013) o la generación automática mediante paquetes específicos de LaTeX (Grün y Zeileis, 2009)

Marco teórico

La preparación de exámenes en estadística y otras disciplinas matemáticas, científicas o de ingeniería, es una tarea que consume mucho tiempo dada la cantidad de cálculos que requieren. Muchos de estos cálculos, especialmente en el caso de asignaturas relacionadas con la estadística, son realizados con R por parte del profesor. Asimismo, LaTeX es un procesador de textos cada vez más usado en la comunidad educativa, siendo ya todo un referente en el ámbito de la investigación y de las publicaciones científicas. Estando estas herramientas disponibles y existiendo formas de combinarlas, su uso conjunto puede ser una excelente solución que permita ahorrar tiempo en la tarea de preparación de exámenes. Una pequeña descripción de las herramientas se presenta a continuación:

LaTeX: Este software es completamente libre y está disponible para la práctica totalidad de sistemas operativos. Requiere un software auxiliar para poder visualizar los documentos creados en PDF (Adobe Acrobat o similar). También necesita un editor de textos. Existen multitud de ellos. En este trabajo se usa Textstudio (www.textstudio.org/), que también es libre. De entre las ventajas que ofrece LaTeX frente a otros procesadores de textos, como Microsoft Word, podemos destacar:

- Es libre y gratuito.
- Está disponible para cualquier sistema operativo.
- Los archivos de LaTeX están codificados en ASCII y son portables a cualquier otro ordenador sin que se produzcan cambios inesperados.
- Puede elegirse el editor de texto que se desee (incluso el bloc de notas).
- La inserción de ecuaciones matemáticas es especialmente potente y robusta.
- El estilo de documento es fácilmente modificable para adaptarse al formato de un congreso, revista, etc. El usuario puede crear sus propios formatos.
- La inserción de tablas y figuras está muy sistematizada, produciendo documentos con apariencia muy profesional.
- Las referencias a ecuaciones, tablas, figuras, bibliografía, etc. están automatizadas y se actualizan cuando se produce algún cambio, evitando así errores en las mismas y ahorrando la tediosa tarea de comprobar si las referencias insertadas se corresponden con el objeto referenciado.

R: Es un software libre para computación estadística y gráficos, que además posee su propio lenguaje de programación. También puede ser usado en diferentes sistemas operativos. Al tratarse de un software "Open Source", los usuarios han ido creando diferentes librerías para multitud de aplicaciones. Estas librerías pueden ser usadas directamente o modificadas por otros usuarios para hacerlas aplicables a sus problemas concretos. La calidad de las librerías generadas por los usuarios viene asegurada mediante el repositorio CRAN (*The Comprehensive R Archive Network*,

<https://cran.r-project.org/>), que sirve de filtro para la publicación de dichas librerías (o "paquetes" en el contexto de R).

knitr es un paquete de R que permite la integración de código R en documentos de LaTeX. El objetivo del paquete es crear "documentos dinámicos" que se pueden actualizar automáticamente cuando se cambian los datos de entrada o el tipo de análisis realizado (<http://yihui.name/knitr/>). Al combinar las capacidades de R con LaTeX se obtienen los beneficios de ambas plataformas. Además, el ahorro de tiempo es aún mayor porque no es necesario copiar o insertar números, tablas o gráficos en el documento. La impresión es directamente realizada por *knitr*. La ventaja principal y que justifica este trabajo, es que no se debe repetir el proceso para crear diferentes versiones de examen.

Metodología

El método que se ha seguido para la elaboración de diferentes versiones de examen difiere en función de si la prueba consta de problemas de resolución numérica o se trata de aplicación del software. En el primer caso se exige al alumno que realice y justifique los cálculos realizados, mientras que en el segundo se extrae el resultado final del ordenador, siendo la tarea principal del alumno saber cómo se llega a dicho resultado mediante los comandos o menús correspondientes del programa, y sobre todo saber interpretar dichos resultados. En el primer caso, por tanto, el trabajo de impresión por parte del alumno (y del profesor al elaborar la versión corregida del examen) es mucho mayor.

Para exámenes de problemas, se debe hacer una selección de todas las variables existentes, programar secciones de definición de variables proporcionadas por el enunciado y otras de definición de variables que deben ser calculadas por el alumno. El número total de variables en todos los problemas es el mismo. La diferencia estriba en cuáles son las que se dan al alumno y cuáles deben ser calculadas. Habrá una serie de variables que ni siquiera aparezcan en el problema pero que sí estarán presentes en nuestra plantilla, ya que se trata de un modelo global para cualquier tipo de examen. El uso de unas variables u otras se realiza mostrando u omitiendo (mediante el símbolo de comentario propio del lenguaje) líneas de código R para que aparezca o no posteriormente en el documento. La adición por parte del usuario es mínima aunque necesaria. Por ejemplo, si en un examen se analizan datos de climatología y en otros datos agrícolas, en la interpretación de resultados habrá que escribir términos relacionados con uno u otro campo, y esto requiere una mínima intervención del profesor.

En exámenes de prácticas el proceso es aún más sencillo, porque simplemente hay que llamar a las funciones de R que realizan los cálculos que se preguntan. La variación en estos exámenes viene del nombre de los datos que se cargan y, como en el caso anterior, la redacción de conclusiones.

En ambos casos el proceso se realiza mediante la introducción de "trozos" (o *chunks* en inglés) de código R en un documento especial de LaTeX con extensión *.rnw* que puede ser interpretado por compiladores de LaTeX gracias al paquete *knitr*. Un ejemplo de

cómo se inserta uno de estos *trozos* de código en el documento LaTeX se esquematiza a continuación:

```
\documentclass[a4paper]{article}
\begin{document}

<<options>>=
Código R
@

\end{document}
```

Como puede verse en el cuadro superior, encontramos en rojo la estructura básica de los comandos de R que se introducen en el esquema de documento de LaTeX (definido por los comandos encima y debajo del texto en rojo). Se pueden especificar diferentes opciones, como por ejemplo que se muestren en el documento los comandos invocados para ejecutar los cálculos (algo habitual en los exámenes de prácticas corregidos para que el alumno vea cuáles son los comandos a utilizar), que se ejecuten cálculos pero no se muestre el código, o incluso que se muestre código de prueba pero que no se ejecute nada (caso típico del proceso de cargar datos en los que los nombres de las carpetas contenedoras pueden diferir entre usuarios y se escribe un comando genérico para que el usuario entienda que debe cargar un fichero determinado sin especificar la ubicación).

Con el uso de los "trozos" de código de R se puede automatizar la tarea de cálculo. Usando unas líneas u otras del código se pueden diseñar muchos tipos de examen distintos. Por último, la posibilidad de cargar cualquier conjunto de datos hace que el número de combinaciones de exámenes que se pueden crear sea enorme, facilitándose al mismo tiempo la tarea de preparación y evitando la repetición de problemas en diferentes convocatorias.

Resultados

Los resultados obtenidos aplicando esta metodología han sido la obtención de diferentes modelos de examen en las últimas convocatorias de la asignatura Ampliación de Estadística del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales por la Universidad Politécnica de Cartagena. Actualmente se está adaptando la misma a problemas numéricos en el ámbito de la docencia en ingeniería química. En la Figura 1 se muestran ejemplos de exámenes resueltos de Ampliación de Estadística (tanto de la parte de problemas como de la parte práctica) usando los métodos citados en este trabajo.

Figura 1. Ejemplos de soluciones de exámenes. Izquierda: problemas; derecha: prácticas

<p style="text-align: center;">Solución examen problemas. Ampliación de Estadística</p> <p style="text-align: center;">Septiembre 2015</p> <p>Problema 1</p> <p>Apartado a): Plantear el modelo de regresión lineal</p> $Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \epsilon$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $Y \sim N(\mu, \sigma^2)$ es la variable respuesta: El rendimiento de la reacción química. • x_1 y x_2 son las variables explicativas, Concentración y Temperatura. • β_i, $i = 0, 1, 2$ son las estimaciones de los coeficientes de regresión. • $\epsilon \sim N(0, \sigma^2)$ es el término de error o residuo. <p>Hipótesis:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Normalidad: Los residuos siguen una distribución normal (de media cero). • Homocedasticidad u homogeneidad de varianzas: Los residuos mantienen una varianza constante. • Independencia: Los residuos (y por tanto las medidas) no están correlacionados. • También podemos añadir la hipótesis de linealidad, que dice que la variable respuesta debe tener una relación lineal con las explicativas. <p>Apartado b): Estimación de la varianza y de R^2</p> <p>Calculamos la estimación de la varianza como $\sigma^2 = \frac{SSE}{n-p} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}$</p> <p>En primer lugar debemos calcular los valores ajustados, que vendrán dados por $\hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{1,i} + \hat{\beta}_2 x_{2,i}$. Es decir, sustituimos los valores de los $x_{1,i}$ y $x_{2,i}$ en la ecuación del modelo y obtenemos:</p> $\hat{Y} = (67.5, 59.9, 52.3, 44.8, 68.9, 61.4, 53.8, 46.2, 69.5, 62, 54.4, 46.8)$ <p>Por tanto:</p> $\hat{\sigma}^2 = \frac{(69.2 - 67.5)^2 + (55.4 - 59.9)^2 + \dots + (49.2 - 46.8)^2}{12 - 3} = \frac{309.6}{9} = 34.4$ <p style="text-align: center;">1</p>	<p style="text-align: center;">Solución examen práctico. Ampliación de Estadística</p> <p style="text-align: center;">Septiembre 2015</p> <p>Problema 1</p> <p>Cargamos los datos. Los nombres de las variables están en el archivo. El carácter decimal es un punto y los campos están separados por espacios en blanco. Llamamos "rend" al conjunto de datos.</p> <pre>rend <- read.table("../rendimiento.txt", header = TRUE) rend</pre> <pre>## R C T ## 1 69.2 0.175 31.250 ## 2 55.4 0.175 34.375 ## 3 45.6 0.175 37.500 ## 4 56.7 0.175 40.625 ## 5 71.2 0.300 31.250 ## 6 60.0 0.300 34.375 ## 7 47.7 0.300 37.500 ## 8 45.7 0.300 40.625 ## 9 75.6 0.350 31.250 ## 10 62.1 0.350 34.375 ## 11 51.0 0.350 37.500 ## 12 49.2 0.350 40.625</pre> <p>Apartado a): Influencia de variables</p> <p>Analizando los coeficientes de correlación entre las variables explicativas y la explicada veremos cuál tiene mayor influencia.</p> <pre>mat_cor<-cor(rend[,c("T","C","R")], use="complete") mat_cor</pre> <pre>## T C R ## T 1.0000000 0.0000000 -0.85352568 ## C 0.0000000 1.0000000 0.08790984 ## R -0.8535257 0.08790984 1.00000000</pre> <p>Claramente la temperatura (T) tiene mucha más influencia que la concentración (C) sobre el rendimiento (R), ya que los coeficientes de correlación T-R y C-R son, respectivamente, -0.8535257 y 0.0879098. Es decir, la temperatura tiene mucha más influencia (relación negativa) sobre el rendimiento que la concentración.</p> <p style="text-align: center;">1</p>
---	---

Conclusiones

El número de exámenes y pruebas de evaluación a realizar en enseñanzas universitarias se ha visto incrementado considerablemente con la entrada del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES). Por tanto, el tiempo que el profesor dedica a esta tarea, teniendo en cuenta la necesidad de encontrar nuevos enunciados o problemas, de realizar los cálculos de resolución y de proporcionar versiones resueltas de los exámenes, se ha incrementado considerablemente. Con objeto de reducir ese tiempo y automatizar el proceso de forma eficiente, se propone la integración de R y LaTeX mediante la herramienta *knitr* para la creación de informes dinámicos que permitan crear plantillas para tener distintos modelos de examen aplicables a distintos conjuntos de datos de forma rápida y sencilla. La potencia de las herramientas involucradas en el cálculo y procesamiento de textos, así como la versatilidad y flexibilidad de las mismas, hacen que el profesor pueda crear gran cantidad de exámenes diferentes y sus versiones resueltas de manera ágil y sin error en los cálculos. Además, la gratuidad de dichas herramientas hacen que la metodología propuesta sea accesible a todo el mundo.

Se ha probado el método propuesto a diferentes convocatorias de la asignatura Ampliación de Estadística en la titulación del Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales de la Universidad Politécnica de Cartagena, generando así distintas versiones de examen, tanto de problemas como de prácticas, de forma rápida y eficaz.

Actualmente se está usando el método con materias docentes relacionadas con la Ingeniería Química, y como trabajo futuro se piensa en utilizar este método para crear preguntas tipo test o de respuesta corta de manera aleatorizada, disminuyendo así la posibilidad de copia por parte del alumno.

Referencias

- Ministros responsables de la Educación Superior de los países que participan en el proceso de Bolonia (2007). *Hacia el Espacio Europeo de Educación Superior: respondiendo a los retos de un mundo globalizado*. Comunicado de Londres. http://www.uoc.edu/portal/_resources/CA/documents/la_universitat/eees/2007_London_Communique_Spanish.pdf
- Canós Darós, L. (2009) *El uso de las nuevas tecnologías aplicadas a la educación superior*. XVII Jornadas ASEPUMA – V Encuentro Internacional Rect@ Vol Actas_17 Issue 1: 612
- R Core Team (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- Xie, Y. (2015) *Dynamic Documents with R and knitr*. 2nd edition. Chapman and Hall/CRC. ISBN 978-1498716963
- Lamport, L. (1986). *LaTeX: A Document Preparation System*. Addison-Wesley. ISBN 0-201-15790-X
- Gómez, D.S., et al. (2013) *Random exams using Sweave*. En: Proceedings of INTED2013 Conference: 4-6 Marzo 2013, Valencia. ISBN 978-84-616-2661-8
- Grün B, Zeileis A (2009) *Automatic Generation of Exams in R*. Journal of Statistical Software, 29(10), 1–14. <http://www.jstatsoft.org/v29/i10/>