

Synergy Vision

Introducción al análisis funcional y a la teoría de la medida



Índice general

Índice de cuadros	XI
Índice de figuras	XIII
Prefacio	XV
Información sobre los programas y convenciones	XVI
Acerca del Autor	XIX
1. Introducción	1
2. Conjuntos	3
2.1. Operaciones	3
2.2. Relaciones	3
2.3. Funciones	3
2.4. Cardinalidad	3
3. Sistema numérico real y complejo	5
3.1. Introducción	5
3.2. Propiedades algebraicas de \mathbb{R}	5
3.3. Estructura de orden de \mathbb{R}	5
3.4. Propiedades de completitud de \mathbb{R}	5
3.5. Inducción matemática	5
3.6. Espacios euclídeos	5
4. Estructuras algebraicas	7
4.1. Semigrupos y grupos	7
4.2. Espacios vectoriales	7
4.3. Transformaciones lineales	7
4.4. Espacios vectoriales cocientes	7
4.5. Álgebras	7

5. Sucesiones numéricas	9
5.1. Límite de una sucesión	9
5.2. Sucesiones monótonas	9
5.3. Subsucesiones y sucesiones de Cauchy	9
5.4. Límites inferior y superior	9
6. Sucesiones y series	11
6.1. Límite de una función	11
6.2. Límites inferior y superior	11
6.3. Funciones continuas	11
6.4. Propiedades de las funciones continuas	11
6.5. Continuidad uniforme	11
7. Diferenciación	13
7.1. Definición y ejemplos	13
7.2. El teorema del valor medio	13
7.3. Funciones convexas	13
7.4. Funciones inversas	13
7.5. Regla de L'Hospital	13
7.6. Teorema de Taylor en \mathbb{R}	13
7.7. Método de Newton	13
8. Integración de Riemann	15
8.1. Integral de Riemann-Darboux	16
8.2. Propiedades de la integral	16
8.3. Evaluación de la integral	16
8.4. Fórmula de Stirling	16
8.5. Teoremas del valor medio, versión integral	16
8.6. Estimación de la integral	16
8.7. Integrales impropias	16
8.8. La integrabilidad según Riemann	16
8.9. Funciones a variación acotada	16
8.10. La integral de Riemann-Stieltjes	16
9. Series numéricas infinitas	17
9.1. Definición y ejemplos	17
9.2. Series con términos no-negativos	17
9.3. Criterios de convergencia	17

9.4. Convergencia condicional y absoluta	17
9.5. Sucesiones dobles y series	17
10. Sucesiones y series de funciones	19
10.1. Convergencia de sucesiones de funciones	19
10.2. Propiedades del límite de funciones	19
10.3. Convergencia de las series de funciones	19
10.4. Series de potencias	19
11. Funciones en varias variables	21
11.1. Transformaciones lineales	22
11.2. Diferenciación	22
11.3. El principio de la contracción	22
11.4. El teorema de la función inversa	22
11.5. El teorema de la función implícita	22
11.6. Teorema del rango	22
11.7. Determinantes	22
11.8. Derivadas de orden superior	22
11.9. Diferenciación de integrales	22
12. Integración de formas diferenciales	23
12.1. Integración	23
12.2. Aplicaciones primitivas	23
12.3. Cambio de variables	23
12.4. Formas diferenciales	23
12.5. Cadenas y símlices	23
12.6. Teorema de Stoke	23
12.7. Formas cerradas y formas exactas	23
12.8. Análisis vectorial	23
13. Funciones especiales	25
13.1. Series de potencia	25
13.2. Funciones exponenciales y logarítmicas	25
13.3. Funciones trigonométricas	25
13.4. Completitud algebraica del cuerpo de los complejos	25
13.5. Series de Fourier	25
14. Espacios lineales normados	27

14.1. Normas y seminormas	27
14.2. Completación de un espacio normado	27
14.3. Series infinitas en espacios normados	27
14.4. Sumas no ordenadas en espacios normados	27
14.5. Transformaciones lineales acotadas	27
14.6. Álgebras de Banach	27
15. Espacios topológicos	29
15.1. Abiertos y cerrados	29
15.2. Sistemas de entornos	29
15.3. Bases de entornos	29
15.4. Topología relativa	29
15.5. Nets	29
16. Continuidad en espacios topológicos	31
16.1. Propiedades generales	31
16.2. Topologías iniciales	31
16.3. Topología producto	31
16.4. Topología cociente	31
16.5. Espacio de funciones continuas	31
16.6. Conjuntos F-sigma y G-delta	31
17. Espacios topológicos normados	33
17.1. Lema de Urysohn	33
17.2. Teorema de extensión de Tietze	33
18. Espacios topológicos compactos	35
18.1. Convergencia en espacios compactos	35
18.2. Compacidad del producto cartesiano	35
18.3. Continuidad y compacidad	35
19. Espacios métricos totalmente acotados	37
20. Equicontinuidad	39
21. El teorema de Stone-Weierstrass	41
22. Espacios topológicos localmente compactos	43
22.1. Propiedades generales	43

<i>Contents</i>	VII
22.2. Funciones a soporte compacto	43
22.3. Funciones que se anulan al infinito	43
22.4. Compactificación a un punto	43
23. Espacios de Hilbert	45
23.1. Definición y ejemplos	45
23.2. Ortogonalidad	45
23.3. Separación de conjuntos convexos	45
23.4. Bases ortonormadas	45
23.5. Convergencia débil	45
23.6. Operadores continuos y compactos	45
23.7. Teorema espectral de Hilbert	45
24. Espacio de funciones diferenciables	47
25. Particiones de la unidad	49
26. Conexidad	51
27. Espacios de Banach	53
27.1. Espacios normados	55
27.2. Separación de conjuntos convexos	55
27.3. Teorema de prolongamiento	55
27.4. Duales de los espacios ℓ^p	55
27.5. Convergencia débil	55
27.6. Teorema de Banach-Steinhaus	55
27.7. Espacios reflexivos	55
27.8. Operadores continuos y compactos	55
27.9. Teorema de Fredholm-Riesz	55
27.10. Aplicaciones abiertos y grafos cerrados	55
27.11. Caso complejo	55
28. Espacios convexos	57
28.1. Familias de seminormas	57
28.2. Teorema de separación y de prolongamiento	57
28.3. Teorema de Krein-Milman	57
29. Conjuntos medibles	59

29.1. Introducción	60
29.2. Espacios medibles	60
29.3. Medidas	60
29.4. Espacios medibles completos	60
29.5. Medida externa y medibilidad	60
29.6. Extensión de una medida	60
29.7. Medida de Lebesgue	60
29.8. Medida de Lebesgue Stieltjes	60
29.9. Conjuntos especiales	60
30. Funciones medibles	61
30.1. Transformaciones medibles	61
30.2. Funciones numéricas medibles	61
30.3. Funciones simples	61
30.4. Convergencia de funciones medibles	61
31. Integración	63
31.1. Construcción de la integral	63
31.2. Propiedades básicas de la integral	63
31.3. Conexión con la integral de Riemann en \mathbb{R}^n	63
31.4. Teoremas de convergencia	63
31.5. Integración sobre una medida producto	63
31.6. Aplicaciones del teorema de Fubini	63
32. Espacios L^p	65
32.1. Definición y propiedades generales	65
32.2. Aproximación en L^p	65
32.3. Convergencia en L^p	65
32.4. Integrabilidad uniforme	65
32.5. Funciones convexas y desigualdad de Jensen	65
33. Diferenciación	67
33.1. Medidas con signo	67
33.2. Medidas complejas	67
33.3. Continuidad absoluta de medidas	67
33.4. Diferenciación de medidas	67
33.5. Funciones a variación acotada	67
33.6. Funciones absolutamente continuas	67

34. Análisis de Fourier en \mathbb{R}^n	69
34.1. Convolución de funciones	69
34.2. La transformada de Fourier	69
34.3. Funciones de rápido decaimiento	69
34.4. Análisis de Fourier de medidas en \mathbb{R}^n	69
35. Medidas en espacios localmente compactos	71
35.1. Medidas de Radon	71
35.2. El teorema de representación de Riesz	71
35.3. Productos de medidas de Radon	71
35.4. El operador dual	71
35.5. Operadores compactos	71
36. Espacios localmente convexos	73
36.1. Propiedades generales	73
36.2. Funcionales lineales continuos	73
36.3. Teoremas de separación de Hahn-Banach	73
36.4. Algunas construcciones	73
37. Topologías débiles en espacios normados	75
37.1. Topología débil	75
37.2. Topología débil*	75
37.3. Espacios reflexivos	75
37.4. Espacios uniformemente convexos	75
38. Espacios de Hilbert	77
38.1. Principios generales	77
38.2. Ortogonalidad	77
38.3. Bases ortonormales	77
38.4. El adjunto del espacio de Hilbert	77
39. Teoría de operadores	79
39.1. Tipos de operadores	79
39.2. Operadores compactos y de rango finito	79
39.3. El teorema espectral para operadores normales com- pactos	79
39.4. El álgebra del grupo L^1	79
39.5. Representaciones	79

39.6. Grupos abelianos localmente compactos	79
40. Análisis en semigrupos	81
40.1. Semigrupos con topologías	81
40.2. Funciones debilmente casi periódicas	81
40.3. La estructura de los semigrupos compactos	81
40.4. Funciones fuertemente casi periódicas	81
40.5. Semigrupo de operadores	81
41. Teoría de probabilidades	83
41.1. Variables aleatorias	84
41.2. Independencia	84
41.3. Esperanza condicional	84
41.4. Sucesiones de variables aleatorias independientes	84
41.5. Martingalas a tiempo discreto	84
41.6. Procesos estocásticos	84
41.7. Movimiento browniano	84
41.8. Integración estocástica	84
41.9. Aplicación a las finanzas	84
42. Apéndice	85
Apéndice	87
A. Software Tools	87
A.1. R and R packages	87
A.2. Pandoc	88
A.3. LaTeX	89
Índice alfabético	93

Índice de cuadros



Índice de figuras



Prefacio



La versión en línea de este libro se comparte bajo la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License¹.

¿Por qué leer este libro?

Este libro es el resultado de enfocarnos en proveer la mayor cantidad de material sobre Análisis y teoría de la medida con un desarrollo teórico lo más explícito posible, con el valor agregado de incorporar ejemplos de las finanzas y la programación en R. Finalmente tenemos un libro interactivo que ofrece una experiencia de aprendizaje distinta e innovadora.

El un mundo abierto, ya no es tanto el acceso a la información, sino el acceso al conocimiento.

Es mucha la literatura, pero son pocas las opciones donde se pueda navegar el libro de forma amigable y además contar con ejemplos en R y ejercicios interactivos, además del contenido multimedia. Esperamos que ésta sea un contribución sobre nuevas prácticas para publicar el contenido y darle vida, crear una experiencia distinta, una experiencia interactiva y visual. El reto es darle vida al contenido asistidos con las herramientas de Internet.

¹<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Finalmente este es un intento de ofrecer otra visión sobre la enseñanza y la generación de material más accesible. Estamos en un mundo multidisciplinado, es por ello que ahora hay que generar contenido que conjugue en un mismo lugar las matemáticas, estadística, finanzas y la computación.

Lo dejamos público ya que las herramientas que usamos para ensamblarlo son abiertas y públicas.

Estructura del libro

TODO: Describir la estructura

Información sobre los programas y convenciones

Este libro es posible gracias a una gran cantidad de desarrolladores que contribuyen en la construcción de herramientas para generar documentos enriquecidos e interactivos. En particular al autor de los paquetes Yihui Xie xie2015.

Prácticas interactivas con R

Vamos a utilizar el paquete Datacamp Tutorial² que utiliza la librería en JavaScript Datacamp Light³ para crear ejercicios y prácticas con R. De esta forma el libro es completamente interactivo

²<https://github.com/datacamp/tutorial>

³<https://github.com/datacamp/datacamp-light>

y con prácticas incluidas. De esta forma estamos creando una experiencia única de aprendizaje en línea.

eyJsYW5ndWFnZSI6InIiLCJwcmVfZXhlcmlNpc2VfY29kZSI6ImIgPC0gNSIsInNhbxBsZSI6IiI

Agradecimientos

A todo el equipo de Synergy Vision que no deja de soñar. Hay que hacer lo que pocos hacen, insistir, insistir hasta alcanzar. Lo más importante es concretar las ideas. La idea es sólo el inicio y solo vale cuando se concreta.

Synergy Vision, Caracas, Venezuela



Acerca del Autor

Este material es un esfuerzo de equipo en Synergy Vision, (<http://synergy.vision/nosotros/>).

El propósito de este material es ofrecer una experiencia de aprendizaje distinta y enfocada en el estudiante. El propósito es que realmente aprenda y practique con mucha intensidad. La idea es cambiar el modelo de clases magistrales y ofrecer una experiencia más centrada en el estudiante y menos centrado en el profesor. Para los temas más técnicos y avanzados es necesario trabajar de la mano con el estudiante y asistirlo en el proceso de aprendizaje con prácticas guiadas, material en línea e interactivo, videos, evaluación continua de brechas y entendimiento, entre otros, para procurar el dominio de la materia.

Nuestro foco es la Ciencia de los Datos Financieros y para ello se desarrollará material sobre: **Probabilidad y Estadística Matemática en R, Programación Científica en R, Mercados, Inversiones y Trading, Datos y Modelos Financieros en R, Renta Fija, Inmunización de Carteras de Renta Fija, Teoría de Riesgo en R, Finanzas Cuantitativas, Ingeniería Financiera, Procesos Estocásticos en R, Series de Tiempo en R, Ciencia de los Datos, Ciencia de los Datos Financieros, Simulación en R, Desarrollo de Aplicaciones Interactivas en R, Minería de Datos, Aprendizaje Estadístico, Estadística Multivariante, Riesgo de Crédito, Riesgo de Liquidez, Riesgo de Mercado, Riesgo Operacional, Riesgo de Cambio, Análisis Técnico, Inversión Visual, Finanzas, Finanzas Corporativas, Valoración, Teoría de Portafolio**, entre otros.

Nuestra cuenta de Twitter es (<https://twitter.com/>

[bysynergyvision](https://github.com/synergyvision)) y nuestros repositorios están en GitHub (<https://github.com/synergyvision>).

Somos Científicos de Datos Financieros

1

Introducción



2

Conjuntos

2.1. Operaciones

2.2. Relaciones

2.3. Funciones

2.4. Cardinalidad



3

Sistema numérico real y complejo

3.1. Introducción

3.2. Propiedades algebraicas de \mathbb{R}

3.3. Estructura de orden de \mathbb{R}

3.4. Propiedades de completitud de \mathbb{R}

3.5. Inducción matemática

3.6. Espacios euclídeos



4

Estructuras algebraicas

4.1. Semigrupos y grupos

4.2. Espacios vectoriales

4.3. Transformaciones lineales

4.4. Espacios vectoriales cocientes

4.5. Álgebras



5

Sucesiones numéricas

5.1. Límite de una sucesión

5.2. Sucesiones monótonas

5.3. Subsucesiones y sucesiones de Cauchy

5.4. Límites inferior y superior



6

Sucesiones y series

6.1. Límite de una función

6.2. Límites inferior y superior

6.3. Funciones continuas

6.4. Propiedades de las funciones continuas

6.5. Continuidad uniforme



7

Diferenciación

7.1. Definición y ejemplos

7.2. El teorema del valor medio

7.3. Funciones convexas

7.4. Funciones inversas

7.5. Regla de L'Hospital

7.6. Teorema de Taylor en \mathbb{R}

7.7. Método de Newton



8

Integración de Riemann

8.1. Integral de Riemann-Darboux

8.2. Propiedades de la integral

8.3. Evaluación de la integral

8.4. Fórmula de Stirling

8.5. Teoremas del valor medio, versión integral

8.6. Estimación de la integral

8.7. Integrales impropias

8.8. La integrabilidad según Riemann

8.9. Funciones a variación acotada

8.10. La integral de Riemann-Stieltjes

9

Series numéricas infinitas

9.1. Definición y ejemplos

9.2. Series con términos no-negativos

9.3. Criterios de convergencia

9.4. Convergencia condicional y absoluta

9.5. Sucesiones dobles y series



10

Sucesiones y series de funciones

10.1. Convergencia de sucesiones de funciones

10.2. Propiedades del límite de funciones

10.3. Convergencia de las series de funciones

10.4. Series de potencias



11

Funciones en varias variables

11.1. Transformaciones lineales

11.2. Diferenciación

11.3. El principio de la contracción

11.4. El teorema de la función inversa

11.5. El teorema de la función implícita

11.6. Teorema del rango

11.7. Determinantes

11.8. Derivadas de orden superior

11.9. Diferenciación de integrales

12

Integración de formas diferenciales

12.1. Integración

12.2. Aplicaciones primitivas

12.3. Cambio de variables

12.4. Formas diferenciales

12.5. Cadenas y símlices

12.6. Teorema de Stoke

12.7. Formas cerradas y formas exactas

12.8. Análisis vectorial



13

Funciones especiales

13.1. Series de potencia

13.2. Funciones exponenciales y logarítmicas

13.3. Funciones trigonométricas

13.4. Completitud algebraica del cuerpo de los complejos

13.5. Series de Fourier



14

Espacios lineales normados

14.1. Normas y seminormas

14.2. Completación de un espacio normado

14.3. Series infinitas en espacios normados

14.4. Sumas no ordenadas en espacios normados

14.5. Trnasformaciones lineales acotadas

14.6. Álgebras de Banach



15

Espacios topológicos

15.1. Abiertos y cerrados

15.2. Sistemas de entornos

15.3. Bases de entornos

15.4. Topología relativa

15.5. Nets



16

Continuidad en espacios topológicos

16.1. Propiedades generales

16.2. Topologías iniciales

16.3. Topología producto

16.4. Topología cociente

16.5. Espacio de funciones continuas

16.6. Conjuntos F-sigma y G-delta



17

Espacios topológicos normados

17.1. Lema de Urysohn

17.2. Teorema de extensión de Tietze



18

Espacios topológicos compactos

18.1. Convergencia en espacios compactos

18.2. Compacidad del producto cartesiano

18.3. Continuidad y compacidad



19

Espacios métricos totalmente acotados



20

Equicontinuidad



21

El teorema de Stone-Weierstrass



22

Espacios topológicos localmente compactos

22.1. Propiedades generales

22.2. Funciones a soporte compacto

22.3. Funciones que se anulan al infinito

22.4. Compactificación a un punto



23

Espacios de Hilbert

23.1. Definición y ejemplos

23.2. Ortogonalidad

23.3. Separación de conjuntos convexos

23.4. Bases ortonormadas

23.5. Convergencia débil

23.6. Operadores continuos y compactos

23.7. Teorema espectral de Hilbert



24

Espacio de funciones diferenciables



25

Particiones de la unidad



26

Conexidad



27

Espacios de Banach

27.1. Espacios normados

27.2. Separación de conjuntos convexos

27.3. Teorema de prolongamiento

27.4. Duales de los espacios ℓ^p

27.5. Convergencia débil

27.6. Teorema de Banach-Steinhaus

27.7. Espacios reflexivos

27.8. Operadores continuos y compactos

27.9. Teorema de Fredholm-Riesz

27.10. Aplicaciones abiertos y grafos cerrados

27.11. Caso complejo



28

Espacios convexos

28.1. Familias de seminormas

28.2. Teorema de separación y de prolongamiento

28.3. Teorema de Krein-Milman



29

Conjuntos medibles

29.1. Introducción

29.2. Espacios medibles

29.3. Medidas

29.4. Espacios medibles completos

29.5. Medida externa y medibilidad

29.6. Extensión de una medida

29.7. Medida de Lebesgue

29.8. Medida de Lebesgue Stieltjes

29.9. Conjuntos especiales

30

Funciones medibles

30.1. Transformaciones medibles

30.2. Funciones numéricas medibles

30.3. Funciones simples

30.4. Convergencia de funciones medibles



31

Integración

31.1. Construcción de la integral

31.2. Propiedades básicas de la integral

31.3. Conexión con la integral de Riemann en \mathbb{R}^n

31.4. Teoremas de convergencia

31.5. Integración sobre una medida producto

31.6. Aplicaciones del teorema de Fubini



32

Espacios L^p

32.1. Definición y propiedades generales

32.2. Aproximación en L^p

32.3. Convergencia en L^p

32.4. Integrabilidad uniforme

32.5. Funciones convexas y desigualdad de Jensen



33

Diferenciación

33.1. Medidas con signo

33.2. Medidas complejas

33.3. Continuidad absoluta de medidas

33.4. Diferenciación de medidas

33.5. Funciones a variación acotada

33.6. Funciones absolutamente continuas



34

Análisis de Fourier en \mathbb{R}^n

34.1. Convolución de funciones

34.2. La transformada de Fourier

34.3. Funciones de rápido decrecimiento

34.4. Análisis de Fourier de medidas en \mathbb{R}^n



35

Medidas en espacios localmente compactos

35.1. Medidas de Radon

35.2. El teorema de representación de Riesz

35.3. Productos de medidas de Radon

35.4. El operador dual

35.5. Operadores compactos



36

Espacios localmente convexos

36.1. Propiedades generales

36.2. Funcionales lineales continuos

36.3. Teoremas de separación de Hahn-Banach

36.4. Algunas construcciones



37

Topologías débiles en espacios normados

37.1. Topología débil

37.2. Topología débil*

37.3. Espacios reflexivos

37.4. Espacios uniformemente convexos



38

Espacios de Hilbert

38.1. Principios generales

38.2. Ortogonalidad

38.3. Bases ortonormales

38.4. El adjunto del espacio de Hilbert



39

Teoría de operadores

39.1. Tipos de operadores

39.2. Operadores compactos y de rango finito

39.3. El teorema espectral para operadores normales compactos

39.4. El álgebra del grupo L^1

39.5. Representaciones

39.6. Grupos abelianos localmente compactos



40

Análisis en semigrupos

40.1. Semigrupos con topologías

40.2. Funciones debilmente casi periódicas

40.3. La estructura de los semigrupos compactos

40.4. Funciones fuertemente casi periódicas

40.5. Semigrupo de operadores



41

Teoría de probabilidades

41.1. Variables aleatorias

41.2. Independencia

41.3. Esperanza condicional

41.4. Sucesiones de variables aleatorias independientes

41.5. Martingalas a tiempo discreto

41.6. Procesos estocásticos

41.7. Movimiento browniano

41.8. Integración estocástica

41.9. Aplicación a las finanzas

42

Apéndice



A

Software Tools

For those who are not familiar with software packages required for using R Markdown, we give a brief introduction to the installation and maintenance of these packages.

A.1. R and R packages

R can be downloaded and installed from any CRAN (the Comprehensive R Archive Network) mirrors, e.g., <https://cran.rstudio.com>. Please note that there will be a few new releases of R every year, and you may want to upgrade R occasionally.

To install the **bookdown** package, you can type this in R:

```
install.packages("bookdown")
```

This installs all required R packages. You can also choose to install all optional packages as well, if you do not care too much about whether these packages will actually be used to compile your book (such as **htmlwidgets**):

```
install.packages("bookdown", dependencies = TRUE)
```

If you want to test the development version of **bookdown** on GitHub, you need to install **devtools** first:

```
if (!requireNamespace('devtools')) install.packages('devtools')
devtools::install_github('rstudio/bookdown')
```

R packages are also often constantly updated on CRAN or GitHub, so you may want to update them once in a while:

```
update.packages(ask = FALSE)
```

Although it is not required, the RStudio IDE can make a lot of things much easier when you work on R-related projects. The RStudio IDE can be downloaded from <https://www.rstudio.com>.

A.2. Pandoc

An R Markdown document (*.Rmd) is first compiled to Markdown (*.md) through the **knitr** package, and then Markdown is compiled to other output formats (such as LaTeX or HTML) through Pandoc. This process is automated by the **rmarkdown** package. You do not need to install **knitr** or **rmarkdown** separately, because they are the required packages of **bookdown** and will be automatically installed when you install **bookdown**. However, Pandoc is not an R package, so it will not be automatically installed when you install **bookdown**. You can follow the installation instructions on the Pandoc homepage (<http://pandoc.org>) to install Pandoc, but if you use the RStudio IDE, you do not really need to install Pandoc separately, because RStudio includes a copy of Pandoc. The Pandoc version number can be obtained via:

```
rmarkdown::pandoc_version()
## [1] '1.19.2.1'
```

If you find this version too low and there are Pandoc features

only in a later version, you can install the later version of Pandoc, and **rmarkdown** will call the newer version instead of its built-in version.

A.3. LaTeX

LaTeX is required only if you want to convert your book to PDF. The typical choice of the LaTeX distribution depends on your operating system. Windows users may consider MiKTeX (<http://miktex.org>), Mac OS X users can install MacTeX (<http://www.tug.org/mactex/>), and Linux users can install TeXLive (<http://www.tug.org/texlive>). See <https://www.latex-project.org/get/> for more information about LaTeX and its installation.

Most LaTeX distributions provide a minimal/basic package and a full package. You can install the basic package if you have limited disk space and know how to install LaTeX packages later. The full package is often significantly larger in size, since it contains all LaTeX packages, and you are unlikely to run into the problem of missing packages in LaTeX.

LaTeX error messages may be obscure to beginners, but you may find solutions by searching for the error message online (you have good chances of ending up on StackExchange¹). In fact, the LaTeX code converted from R Markdown should be safe enough and you should not frequently run into LaTeX problems unless you introduced raw LaTeX content in your Rmd documents. The most common LaTeX problem should be missing LaTeX packages, and the error may look like this:

```
! LaTeX Error: File `titling.sty' not found.
```

```
Type X to quit or <RETURN> to proceed,
```

¹<http://tex.stackexchange.com>

```
or enter new name. (Default extension: sty)

Enter file name:
! Emergency stop.
<read *>

1.107 ^~M

pandoc: Error producing PDF
Error: pandoc document conversion failed with error 43
Execution halted
```

This means you used a package that contains `titling.sty`, but it was not installed. LaTeX package names are often the same as the `*.sty` filenames, so in this case, you can try to install the `titling` package. Both MiKTeX and MacTeX provide a graphical user interface to manage packages. You can find the MiKTeX package manager from the start menu, and MacTeX’s package manager from the application “TeX Live Utility”. Type the name of the package, or the filename to search for the package and install it. TeXLive may be a little trickier: if you use the pre-built TeXLive packages of your Linux distribution, you need to search in the package repository and your keywords may match other non-LaTeX packages. Personally, I find it frustrating to use the pre-built collections of packages on Linux, and much easier to install TeXLive from source, in which case you can manage packages using the `tlmgr` command. For example, you can search for `titling.sty` from the TeXLive package repository:

```
tlmgr search --global --file titling.sty
# titling:
# texmf-dist/tex/latex/titling/titling.sty
```

Once you have figured out the package name, you can install it by:

```
tlmgr install titling # may require sudo
```

LaTeX distributions and packages are also updated from time to time, and you may consider updating them especially when you run into LaTeX problems. You can find out the version of your LaTeX distribution by:

```
system('pdflatex --version')  
## pdfTeX 3.14159265-2.6-1.40.18 (TeX Live 2017)  
## kpathsea version 6.2.3  
## Copyright 2017 Han The Thanh (pdfTeX) et al.  
## There is NO warranty. Redistribution of this software is  
## covered by the terms of both the pdfTeX copyright and  
## the Lesser GNU General Public License.  
## For more information about these matters, see the file  
## named COPYING and the pdfTeX source.  
## Primary author of pdfTeX: Han The Thanh (pdfTeX) et al.  
## Compiled with libpng 1.6.29; using libpng 1.6.29  
## Compiled with zlib 1.2.11; using zlib 1.2.11  
## Compiled with xpdf version 3.04
```



Índice alfabético

LaTeX, [89](#)

Pandoc, [88](#)