

# Apuntes de Latex

## Capítulo 16: Ampliación de conceptos sobre escritura matemática

En éste capítulo se continúa con algunos conceptos importantes sobre escritura de fórmulas matemáticas que no fueron tratados en el capítulo 3. De interés para los matemáticos es la sección 5, donde se detallan las capacidades del paquete `amsthm`. Se recuerda de nuevo que, para disponer de todas las capacidades matemáticas relacionadas con fórmulas y símbolos en un documento, se deben cargar los paquetes `amsmath` y `amssymb`.

### 1. Tamaño de tipos de letra en fórmulas matemáticas

Ya mencionamos en el capítulo 3 que los tamaños de algunos símbolos en fórmulas y su distribución dependen del modo en el que nos encontremos, texto, ó párrafo. Es importante tener en cuenta que, **globalmente**, podemos escalar el tamaño de una expresión matemática utilizando los comando de cambio de tipo de letra (`\small`, `\large`, `\huge`, etc...) **fuera de la misma**. Por ejemplo:

$ax + by + c = 0$	<code>{\tiny \$ax + by + c = 0\$}</code>
$ax + by + c = 0$	<code>{\small \$ax + by + c = 0\$}</code>
$ax + by + c = 0$	<code>\$ax + by + c = 0\$</code>
$ax + by + c = 0$	<code>{\LARGE \$ax + by + c = 0\$}</code>

sin embargo, éstos comandos no sirven para cambiar los tamaños de tipo de letra **dentro** de una fórmula:

$ax + by + c = 0$       `$ {\tiny ax} + by + {\LARGE c} = 0$`

obteniéndose además los siguientes “warnings”:

Command `\tiny` invalid in math mode on input line...

Command `\tiny` invalid in math mode on input line...

Para efectuar tales cambios, dentro del modo matemático existen hasta 4 modos predefinidos de tipo de letra (y símbolos), que se ordenan por tamaño decreciente como párrafo, texto, sub-índices y sub-sub-índices. Si un estilo predefinido no nos satisface, existe la posibilidad de cambiarlo, siendo irrelevante cómo hayamos abierto el modo

matemático ( $\$ \dots \$$  ó  $\$ \$ \dots \$ \$$ . Para ello se utilizan los comandos:

`\displaystyle`      `\textstyle`      `\scriptstyle`      `\scriptscriptstyle`

Por ejemplo, si una fracción en modo texto queda demasiado pequeña:

Se cumple  $|x_n| < \frac{1}{2}$  para todo  $n \geq p$

Se cumple  $|x_n| < \frac{1}{2}$  para todo  $n \geq p$

puede cambiarse con:

Se cumple  $|x_n| < \frac{1}{2}$  para todo  $n \geq p$

Se cumple  $|x_n| < \frac{1}{2}$  para todo  $n \geq p$

Así, distintos modos pueden combinarse libremente dentro de la misma fórmula, por ejemplo:

```
\[
f(a+h) = f(a) + \frac{f'(a)h}{1} + \textstyle \frac{f''(a)h^2}{2!} +
\dotscb + \scriptstyle \frac{f^{(n)}(a)h^n}{n!} + \scriptscriptstyle
o(h^n)
\]
```

$$f(a+h) = f(a) + \frac{f'(a)h}{1} + \frac{f''(a)h^2}{2!} + \dots + \frac{f^{(n)}(a)h^n}{n!} + o(h^n)$$

Es interesante destacar que, habitualmente, los tamaños de los subíndices y superíndices se ajustan utilizando los tamaños `scriptstyle` y `scriptscriptstyle`; hay que tener en cuenta que `scriptscriptstyle` es el tamaño *mínimo* disponible, por lo que, por ejemplo, en la ecuación anterior se observa cómo para el último término ( $o(h^n)$ ) el exponente  $n$  tiene el mismo tamaño que la base  $h$  (cuando debería ser más pequeño, debido a que no existe un tamaño menor que `scriptscriptstyle`).

Otro ejemplo:

$$e^{\int x^2 dx} \quad e^{\int x^2 dx}$$

## 2. Manejo avanzado de espacios en fórmulas






A la hora de determinar el espaciado entre diversos elementos de una fórmula,  $\text{\LaTeX}$  clasifica tales elementos de la siguiente forma:

1. *Ordinarios* (Ord): Letras latinas (las cuales, en modo matemático, se escriben en itálica), griegas, números, símbolos  $\exists$ ,  $\emptyset$ ,  $\infty$ , etc...
2. *Operadores de tamaño variable* (Op):  $\Sigma$ ,  $\Pi$ ,  $\int$ , etc...
3. *Operadores binarios* (Bin):  $+$ ,  $\cup$ ,  $\times$ , etc...
4. *Operadores de relación* (Rel): Por ejemplo, símbolos como  $=$ ,  $<$ ,  $\approx$ , etc...; flechas como  $\cup$ ,  $\rightarrow$ ,  $\iff$ , etc...; símbolos de inclusión  $\subset$ ,  $\supset$ ,  $\not\subset$ , etc...
5. *Delimitadores de apertura* (Ape):  $($ ,  $\{$ , etc...
6. *Delimitadores de cierre* (Cie):  $)$ ,  $\}$ , etc...
7. *Signos de puntuación* (Pun):  $?$ ,  $,$  (coma), etc...

La importancia de esta clasificación reside en que  $\text{\LaTeX}$  inserta espacios entre símbolos de acuerdo a las clases a las que pertenecen. La tabla siguiente detalla el tamaño de los espacios; Los números 0, 1, 2 y 3 indican, respectivamente, que no se deja espacio, que se deja un espacio pequeño ( $\text{\textbackslash thinspace}$ ), un espacio medio ( $\text{\textbackslash medspace}$ ) ó un espacio grande ( $\text{\textbackslash thickspace}$ ). Los números entre paréntesis denotan casos en los que los espacios no se insertan si estamos en modo de escritura de subíndices ó superíndices. Las entradas con asterisco son casos que no pueden presentarse.

	Ord	Op	Bin	Rel	Ape	Cie	Pun
Ord	0	1	(2)	(3)	0	0	0
Op	1	1	*	(3)	0	0	0
Bin	(2)	(2)	*	*	(2)	*	*
Rel	(3)	(3)	*	0	(3)	0	0
Ape	0	0	*	0	0	0	0
Cie	0	1	(2)	(3)	0	0	0
Pun	(1)	(1)	*	(1)	(1)	(1)	(1)

La siguiente tabla recopila los distintos comandos de espaciado utilizables en modo matemático (los comenzados por “neg” equivalen a distancias negativas):

Comando	Abreviatura	Comando	Abreviatura	Espacio
$\text{\textbackslash thinspace}$	$\text{\textbackslash ,}$	$\text{\textbackslash thinspace}$	$\text{\textbackslash !}$	 (1.82pt)
$\text{\textbackslash medspace}$	$\text{\textbackslash :}$	$\text{\textbackslash medspace}$		 (2.43pt)
$\text{\textbackslash thickspace}$	$\text{\textbackslash ;}$	$\text{\textbackslash negthickspace}$		 (3.04pt)
$\text{\textbackslash quad}$				 (10.95pt)
$\text{\textbackslash qquad}$				 (21.9pt)

Veamos un ejemplo:

Para dos números  $\$x\$$  e  $\$y\$$ , definimos una operación  $\$\text{\textbackslash circ}\$$  como:  
 $\$ \$ x\text{\textbackslash circ} y=x+y-xy \$ \$$   
 la cual es asociativa.

produce:

Para dos números  $x$  e  $y$ , definimos una operación  $\circ$  como:

$$x \circ y = x + y - xy$$

la cual es asociativa.

En la lista de símbolos, vemos que `\circ` está clasificado como operador binario. Si intentamos lo mismo con el símbolo  $\Box$  (`\Box`, clasificado como “Símbolos varios”) obtenemos lo siguiente:

Para dos números  $x$  e  $y$ , definimos una operación  $\Box$  como:

$$x \Box y = x + y - xy$$

la cual es asociativa.

Los espacios han desaparecido, debido a que  $\Box$  no es considerado como operador binario. Sin embargo,  $\text{\LaTeX}$  permite, en modo matemático, cambiar el comportamiento (y espacios predefinidos adyacentes) de cualquier símbolo. Para ello disponemos de los comandos:

- `\mathord`  $\longrightarrow$  Símbolo ordinario
- `\mathrel`  $\longrightarrow$  Operador de relación
- `\mathbin`  $\longrightarrow$  Operador binario

que respectivamente permiten asignar comportamientos de símbolos ordinarios, de relación, ó binarios. Así por ejemplo, en el caso anterior, tecleando `\mathbin` delante de `\Box` (`$$ x\mathbin\Box y=x+y-xy $$`) obtendríamos:

$$x \mathbin\Box y = x + y - xy$$

### 3. Fórmulas matemáticas resaltadas

#### 3.1. Etiquetando y referenciando ecuaciones

Recordemos (ver capítulo 3) que el entorno `equation` permite etiquetar ecuaciones:

$\int x^2 dx = 2x \quad (1)$	
$\int x^3 dx = 3x^2 \quad (2)$	

```

\begin{equation}
\int x^2 dx = 2x
\label{intcuad}
\end{equation}
\begin{equation}
\int x^3 dx = 3x^2
\label{intcub}
\end{equation}

```

Donde se observa que las ecuaciones se van numerando en orden. Para ello,  $\text{\LaTeX}$  emplea el contador `equation`. Éste contador, en el caso de documentos tipo `book` tiene la representación (1.1), (1.2), etc..., denotando el número de capítulo y el número de ecuación y para documentos `article` simplemente (1), (2), etc...

Podemos, mediante el empleo de comandos `\label{Etiqueta}` (ver ejemplo anterior) etiquetar las ecuaciones para referenciarlas más adelante en el texto a través del comando `\eqref{Etiqueta}`; por ejemplo:

Aquí referenciamos a la ecuación `\eqref{intcuad}` y aquí a la `\eqref{intcub}` produce:

Aquí referenciamos a la ecuación (1) y aquí a la (2)

Podemos resetear si nos interesa el valor de éste contador con:

```
\setcounter{equation}{0}
```

Si queremos que se reinicie al principio de cada sección (suponiendo una clase `article`), y que se incluya además en la representación el número de sección, se puede emplear:

```
\numberwithin{equation}{section}
```

(comprobar con unos ejemplos sencillos en un `article`)

Otra herramienta interesante para numerar ecuaciones es el entorno `subequations`, con sintaxis:

```

\begin{subequations}
ParteDelDocumento
\end{subequations}

```

Todas las ecuaciones dentro de éste entorno, serán numeradas como (6a), (6b), etc... La última ecuación anterior al entorno y la inmediatamente siguiente serán numeradas como (5) y (7), respectivamente.

El formato de las etiquetas de ecuación puede cambiarse puntualmente con el comando `\tag{NuevaEtiqueta}`, que coloca el argumento `NuevaEtiqueta` entre paréntesis, ó con `\tag*{NuevaEtiqueta}`, análogo pero que suprime los paréntesis. También puede utilizarse `\notag`, que suprime la etiqueta, y que es análogo a `\nonumber`. La ubicación vertical también es modificable (por ejemplo, nos puede convenir colocar la etiqueta a mitad de camino entre dos ecuaciones), lo cual se consigue con el comando `\raisetag{Longitud}`

### 3.2. Ecuaciones multilínea

En caso de que una ecuación sea demasiado larga para caber en una línea, se puede utilizar el entorno `multline*`, por ejemplo:

$$(a + b + c + d + e)^2 = a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + e^2 \\ + 2ab + 2ac + 2ad + 2ae + 2bc + 2bd + 2be + 2cd + 2ce + 2de$$

se produce con:

```
\begin{multline*}
(a+b+c+d+e)^2=a^2+b^2+c^2+d^2+e^2\\
+2ab+2ac+2ad+2ae+2bc+2bd+2be+2cd+2ce+2de
\end{multline*}
```

Para ecuaciones en más de dos líneas, los resultados no son muy satisfactorios. Por ejemplo: tecleando:

```
\begin{multline*}
(a+b+c+d+e+f)^2=a^2+b^2+c^2+d^2+e^2+f^2\\
+2ab+2ac+2ad+2ae+2af\\
+2bc+2bd+2be+2bf\\
+2cd+2ce+2cf\\
+2de+2df\\
+2ef
\end{multline*}
```

obtenemos:

$$(a + b + c + d + e + f)^2 = a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + e^2 + f^2 \\ + 2ab + 2ac + 2ad + 2ae + 2af \\ + 2bc + 2bd + 2be + 2bf \\ + 2cd + 2ce + 2cf \\ + 2de + 2df \\ + 2ef$$

Para solucionar esto se puede utilizar el entorno `split`, que *no puede usarse independientemente*, esto es, debe incluirse dentro de alguna estructura tipo `equation`. Por ejemplo, podemos modificar el caso anterior tecleando:

```
\begin{equation*}
\begin{split}
```

```

(a+b+c+d+e+f)^2 & = a^2+b^2+c^2+d^2+e^2+f^2\\
&\quad +2ab+2ac+2ad+2ae+2af\\
&\quad +2bc+2bd+2be+2bf\\
&\quad +2cd+2ce+2cf\\
&\quad +2de+2df\\
&\quad +2ef
\end{split}
\end{equation*}

```

con lo que se tiene:

$$\begin{aligned}
 (a+b+c+d+e+f)^2 &= a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + e^2 + f^2 \\
 &\quad + 2ab + 2ac + 2ad + 2ae + 2af \\
 &\quad + 2bc + 2bd + 2be + 2bf \\
 &\quad + 2cd + 2ce + 2cf \\
 &\quad + 2de + 2df \\
 &\quad + 2ef
 \end{aligned}$$

Este entorno también es útil cuando la ecuación contiene múltiples igualdades; por ejemplo:

```

\begin{equation*}
\begin{split}
(a+b)^2 &= (a+b)(a+b)\\
&= a^2+ab+ba+b^2\\
&= a^2+2ab+b^2
\end{split}
\end{equation*}

```

produce:

$$\begin{aligned}
 (a+b)^2 &= (a+b)(a+b) \\
 &= a^2 + ab + ba + b^2 \\
 &= a^2 + 2ab + b^2
 \end{aligned}$$

### 3.3. Grupos de ecuaciones

Un grupo de ecuaciones puede ser escrito utilizando el entorno `gather`:

```

\begin{gather*}
(a,b)+(c,d)=(a+c,b+d)\\
(a,b)(c,d)=(ac-bd,ad+bc)
\end{gather*}

```

produce como salida:

$$(a, b) + (c, d) = (a + c, b + d)$$

$$(a, b)(c, d) = (ac - bd, ad + bc)$$

Cuando un grupo de ecuaciones deben formar una sola unidad, el modo lógicamente correcto de escribirlas es incluyendo cierta alineación. Para ello podemos utilizar el entorno `align*`, como se ve a continuación:

Suponemos que  $x$ ,  $y$ ,  $z$  satisfacen las ecuaciones:

```
\begin{align*}
x+y-z &= 1\\
x-y+z &= 1
\end{align*}
```

obteniendo:

Suponemos que  $x, y, z$  satisfacen las ecuaciones:

$$x + y - z = 1$$

$$x - y + z = 1$$

Dentro del entorno `align*` podemos añadir un texto intermedio, sin romper la alineación, con el comando `\intertext{Texto}`. Por ejemplo:

Suponemos que  $x$ ,  $y$ ,  $z$  satisfacen las ecuaciones:

```
\begin{align*}
x+y-z &= 1\\
x-y+z &= 1\\
\intertext{y por hipótesis}
x+y+z &= 1
\end{align*}
```

Suponemos que  $x, y, z$  satisfacen las ecuaciones:

$$x + y - z = 1$$

$$x - y + z = 1$$

y por hipótesis

$$x + y + z = 1$$

En éste entorno, también pueden alinearse varias ecuaciones en varias columnas; todo lo que se necesita es añadir separadores “&” extra:

Comparamos los siguientes conjuntos de ecuaciones:



```
\begin{align*}
\cos^2x+\sen^2x &= 1 & \cosh^2x-\sinh^2x &= 1\\
\cos^2x-\sen^2x &= \cos 2x & \cosh^2x+\sinh^2x &= \cosh 2x
\end{align*}
```

Comparamos los siguientes conjuntos de ecuaciones:

$$\begin{array}{ll} \cos^2 x + \sen^2 x = 1 & \cosh^2 x - \sinh^2 x = 1 \\ \cos^2 x - \sen^2 x = \cos 2x & \cosh^2 x + \sinh^2 x = \cosh 2x \end{array}$$

Imaginemos que queremos modificar lo anterior en la siguiente forma:

Comparamos los siguientes conjuntos de ecuaciones:

$$\begin{array}{ll} \cos^2 x + \sen^2 x = 1 & \cosh^2 x - \sinh^2 x = 1 \\ \cos^2 x - \sen^2 x = \cos 2x & \cosh^2 x + \sinh^2 x = \cosh 2x \end{array} \quad y$$

Esto no se puede escribir utilizando los entornos ya vistos, dado que cualquiera de ellos ocupa toda la anchura de texto; el paquete `amsmath` proporciona las variantes `gathered`, `aligned` y `alignedat`, que ocupan sólo la anchura real de los contenidos. Así, lo anterior se puede obtener a partir del código:

Comparamos los siguientes conjuntos de ecuaciones:

```
\begin{equation*}
\begin{aligned}
&\cos^2x+\sen^2x &= 1\\
&\cos^2x-\sen^2x &= \cos 2x
\end{aligned}
\quad\quad\quad
\begin{aligned}
&\cosh^2x-\sinh^2x &= 1\\
&\cosh^2x+\sinh^2x &= \cosh 2x
\end{aligned}
\end{equation*}
```

Una estructura común en matemáticas es definición de funciones a trozos, por ejemplo:

$$|x| = \begin{cases} x & \text{if } x \geq 0 \\ -x & \text{if } x \leq 0 \end{cases}$$

lo cual se obtiene utilizando el entorno `cases` de `amsmath` dentro de una ecuación:

```
\begin{equation*}
|x| =
```

```

\begin{cases}
x & \text{if } x \geq 0 \\
-x & \text{if } x \leq 0
\end{cases}
\end{equation*}

```

La siguiente tabla ilustra con ejemplos sencillos las distintas posibilidades básicas vistas hasta ahora:

### Comparación de diferentes entornos para ecuaciones

<pre> \begin{equation*} a=b \end{equation*} </pre>	$a = b$	
<pre> \begin{equation} a=b \end{equation} </pre>	$a = b$	(3)
<pre> \begin{equation}\label{xx} \begin{split} a &amp;= b + c - d \\ &amp;\quad + e - f \\ &amp;= g + h \\ &amp;= i \end{split} \end{equation} </pre>	$ \begin{aligned} a &= b + c - d \\ &\quad + e - f \\ &= g + h \\ &= i \end{aligned} $	(4)
<pre> \begin{multline} a+b+c+d+e+f \\ +i+j+k+l+m+n \end{multline} </pre>	$ \begin{aligned} &a + b + c + d + e + f \\ &\quad + i + j + k + l + m + n \end{aligned} $	(5)
<pre> \begin{gather} a_1=b_1+c_1 \\ a_2=b_2+c_2-d_2+e_2 \end{gather} </pre>	$a_1 = b_1 + c_1$	(6)
	$a_2 = b_2 + c_2 - d_2 + e_2$	(7)
<pre> \begin{align} a_1 &amp;= b_1 + c_1 \\ a_2 &amp;= b_2 + c_2 - d_2 + e_2 \end{align} </pre>	$a_1 = b_1 + c_1$	(8)
	$a_2 = b_2 + c_2 - d_2 + e_2$	(9)

---

```

\begin{align}
a_{11}&=b_{11}& a_{12}&=b_{12} & (10) \\
a_{21}&=b_{21}& a_{22}&=b_{22}+c_{22} & (11) \\
a_{22}&=b_{22}+c_{22}
\end{align}

```

---

```

\begin{flalign*}
a_{11}&=b_{11} & a_{12}&=b_{12} \\
a_{21}&=b_{21} & a_{22}&=b_{22}+c_{22} \\
a_{22}&=b_{22}+c_{22}
\end{flalign*}

```

---

Otra posibilidad más para alinear ecuaciones es el entorno `eqnarray`. Funciona de forma similar al entorno `align`, y su sintaxis es la siguiente:

```

\begin{eqnarray}
FormulaIzquierda1 & \Separador1 & FormulaDerecha1 & \\
FormulaIzquierda1 & \Separador2 & FormulaDerecha2 & \\
..... \\
\end{eqnarray}

```

Existe igualmente en dos versiones, sin asterisco ó con asterisco, lo cual implica que se numeran ó no todas las ecuaciones, respectivamente. Para no numerar una ecuación en particular, se debe utilizar el comando `\nonumber` delante del salto de línea `\\`.

## 4. Miscelánea

### 4.1. Fracciones generalizadas y continuas

El comando `\genfrac` se puede utilizar para producir fracciones personalizadas, con la sintaxis:

```

\genfrac{Delim.Izqdo}{Delim.Derecho}{GrosorLínea}{Tamaño}{Numerador}{Denominador}

```

Para Tamaño, se puede elegir entre los valores 0, 1, 2 y 3, que corresponden respectivamente a `\displaystyle`, `\textstyle`, `\scriptstyle` y `\scriptscriptstyle` (OJO! valores mayores implican entonces tamaños más pequeños). Veamos un ejemplo:

$$\left\{ \begin{matrix} ij \\ k \end{matrix} \right\} = g^{k1} \left[ \begin{matrix} ij \\ 1 \end{matrix} \right] + g^{k2} \left[ \begin{matrix} ij \\ 2 \end{matrix} \right]$$

```

\begin{equation*}

```

```

\genfrac{\{}{\}}{\Opt}{}{ij}{k}=
g^{k1}\genfrac{[]{}{\Opt}{}{ij}{1}
+g^{k2}\genfrac{[]{}{\Opt}{}{ij}{2}
\end{equation*}

```

Las fracciones continuas se obtienen a través del comando `\cfrac`:

$$\frac{4}{\pi} = 1 + \frac{1^2}{2 + \frac{3^2}{2 + \frac{5^2}{2 + \dots}}}$$

```

\begin{equation*}
\frac{4}{\pi}=1+\cfrac{1^2}{2+
\cfrac{3^2}{2+
\cfrac{5^2}{2+\dotsb}}}
\end{equation*}

```

## 4.2. El comando `\{smash\}`

El comando `\smash[Argumento]{Objeto}` anula la altura ó profundidad (si `Argumento` toma el valor `t` ó `b`, respectivamente) de `Objeto`, lo cual, por ejemplo, puede ser útil para hacer más consistente el aspecto de radicales adyacentes de distinto tamaño:

```

\[ x:=(1/\sqrt{x_{i_j}})\sqrt{1+y} \quad \quad \quad
x:=(1/\sqrt{\smash[b]{x_{i_j}}})\sqrt{1+y} \quad \quad \quad \]

```

$x := (1/\sqrt{x_{i_j}})\sqrt{1+y} \qquad x := (1/\sqrt{\smash[b]{x_{i_j}}})\sqrt{1+y}$
---

## 5. Teoremas, lemas, corolarios; el paquete `amsthm`

(continuará...)