



Introducción a ROOT

Sonja Orrigo

Curso de Técnicas Experimentales Avanzadas en Física Nuclear

Master Inter-universitario de Física Nuclear, Curso 2021-2022



CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



VNIVERSITAT
DE VALÈNCIA



- ROOT es un proyecto Open Source que se empezó en 1995
- El proyecto es desarrollado por una colaboración entre CERN y Fermilab/USA, más muchos otros colaboradores part-time
- Además muchos usuarios registrados (6000 en el fórum RootTalk) contribuyen con feedback, comentarios y en solucionar bugs

- Main ROOT page: <http://root.cern.ch>
- Class Reference Guide: <http://root.cern.ch/root/html>
- User Guides and Manuals: <https://root.cern.ch/root-user-guides-and-manuals>
- User Guide: 6 Release Cycle: <https://root.cern.ch/guides/users-guide>
- Tutorials: <https://root.cern.ch/courses>
https://root.cern.ch/notebooks/HowTos/HowTo_ROOT-Notebooks.html#cpp



Getting Started



Reference Guide



Forum



Gallery

ROOT is ...

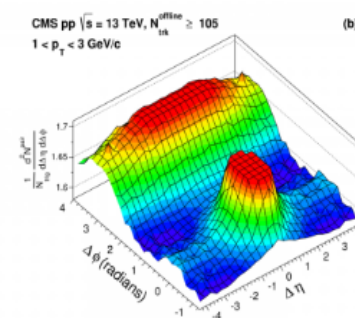
A modular scientific software framework. It provides all the functionalities needed to deal with big data processing, statistical analysis, visualisation and storage. It is mainly written in C++ but integrated with other languages such as Python and R.

[Start from examples](#) or [try it in your browser!](#)



Download

or [Read More ...](#)

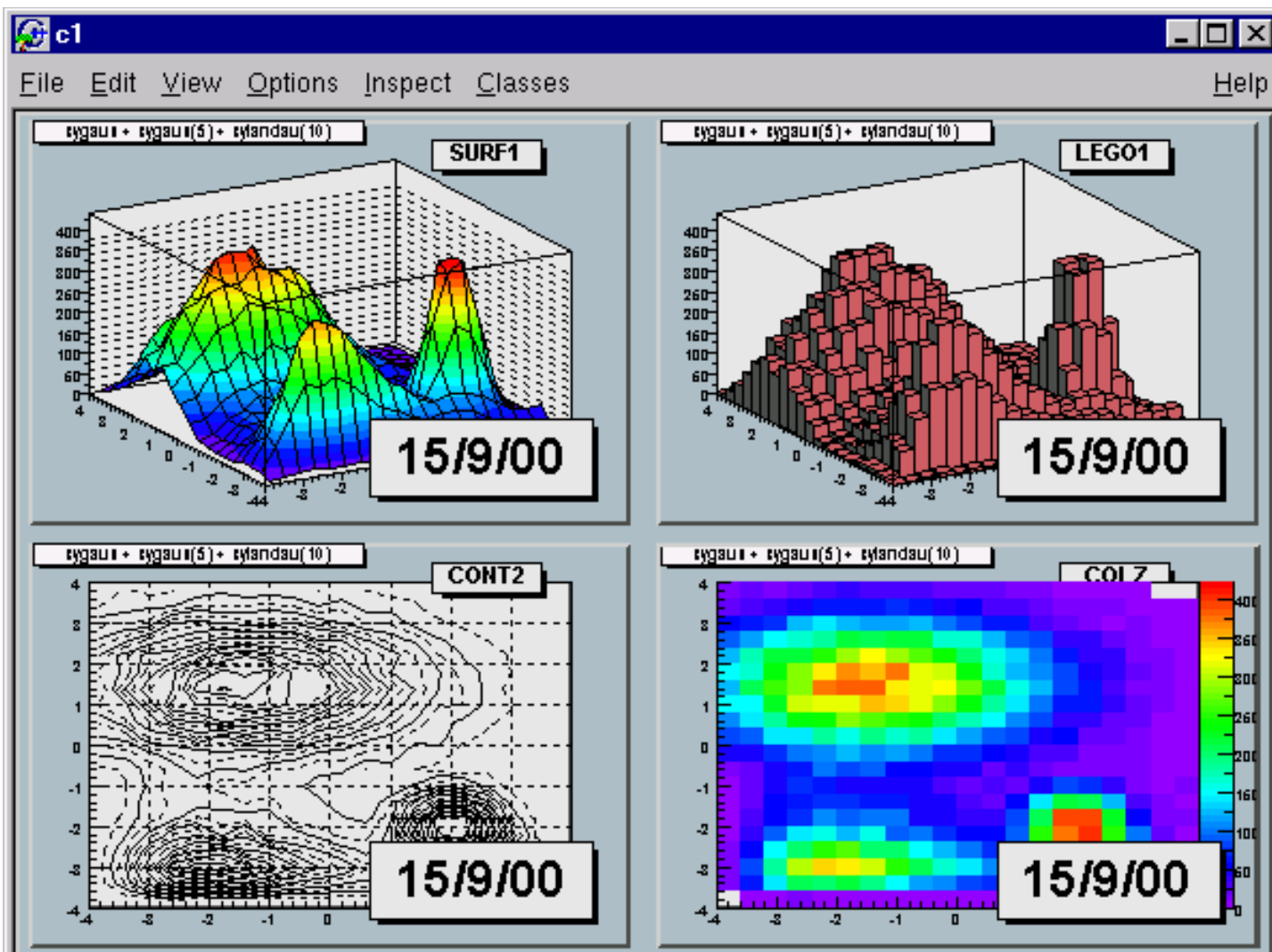


[Previous](#) [Resume](#) [Next](#)

ROOT

- Es un framework modular de software científico que se utiliza comúnmente para análisis de datos en física nuclear y de altas energías
- Utiliza mayormente el lenguaje de programación C++: desarrollado en C++; interprete nativo de C++; pero se puede usar también python

- Es una herramienta muy poderosa y versátil que permite de manipular, procesar y analizar largas cantidad de datos
- Permite una amplia variedad de métodos de análisis, representaciones de datos, fits, ...
- Extensas capacidad de visualización de datos científicos en 2D y 3D



Varias maneras de utilizar ROOT

- El lenguaje de los comandos y programas es C++
 - ROOT contiene un interprete de C++: CINT en ROOT5, CLING en ROOT6
 - Dependiendo de las exigencias de los usuarios, ROOT se puede utilizar en distintas maneras:
 - **ROOT command line**
 - ✓ Empezando una sesión de ROOT en un terminal, el interprete de ROOT ejecuta cada línea de comando que se escribe: ejecuta una línea a la vez
 - ✓ Ventaja en comparación con la compilación: se ve el resultado sin ninguna espera
 - ✓ Desventaja: interpretar los comandos es mucho más lento que ejecutar código compilado
- ⇒ La línea de comandos es útil en fase de escritura del código, para testear los comandos y hacer rápidos checks de los datos, mientras que los programas más largos van compilados

<code>\$ root</code>	<code>\$ root -l</code>	Starting ROOT
<code>root [0] Int_t number = 2;</code>		The ROOT prompt
<code>root [1] cout<<"number = "<<number<<endl;</code>		
<code>root [#] .q</code>		Ending ROOT

Varias maneras de utilizar ROOT

○ ROOT macros

- ✓ Si tienes varias líneas de comandos para ejecutar es más cómodo ponerlas en un fichero que se pueda editar y ejecutar varias veces en ROOT: una macro
- ✓ Una macro es un **fichero .C** o **.cc** donde escribir secuencialmente los comandos
- ✓ La macro es **interpretada línea a línea** para el interprete CINT/CLING
⇒ no es compilada, equivale a utilizar las líneas de comandos
- ✓ Importante: en la macro cada línea de código se tiene que terminar con ;

Unnamed macros (no parameters) ← (ONLY UP TO ROOT 5)

\$ root -l macro.C	Execute the macro
root [0] .x macro.C	Execute the macro

Named macros (you can pass parameters to the function)

root [0] .L analysis.C	Load the macro in the memory
root [1] analysis(20)	Call the macro to execute it
root [0] .x analysis.C(20)	Load and execute the macro

```
{  
    commands...  
}
```

```
void analysis(int N)  
{  
    commands...  
    return;  
}
```

Varias maneras de utilizar ROOT

○ Compiled ROOT macros *on the fly*

- ✓ Ejecutar código compilado es muchos más rápido que interpretar línea a línea
- ✓ Además mediante la compilación se pueden detectar errores que no se perciben interpretando línea a línea
- ✓ Compilar es importante para los programas más largos y/o lentos
- ✓ El mismo **fichero .C** o **.cc** se puede compilar, pero la macro tiene que tener un nombre
- ✓ La compilación esta echa por

ACLiC (The Automatic Compiler of Libraries for CINT)

```
void analysis(int N)
{
    commands...
    return;
}
```

Named macros ONLY

- | | |
|-------------------------------------|---|
| root [0] .L analysis.C++ | Load the macro in the memory and compile it |
| root [1] analysis(20) | Call the macro to execute it |
| root [0] .x analysis.C(20)++ | Load, compile and execute the macro |

Varias maneras de utilizar ROOT

○ Stand-alone application

- ✓ La manera más sofisticada es construir una aplicación *stand-alone*
- ✓ ROOT es básicamente una colección de clases de C++
- ✓ Estas se pueden utilizar para construir nuevas aplicaciones que se pueden compilar y ejecutar del todo independientemente desde el ROOT originario
- ✓ Para cumplir con los estándares de C++, se incluye en el código una función **main()** que solo es vista por el compilador g++ y no para CINT

Compile the program

```
$ g++ -o analysis analysis.cc `root-config --cflags --glibs`
```

Execute it outside ROOT

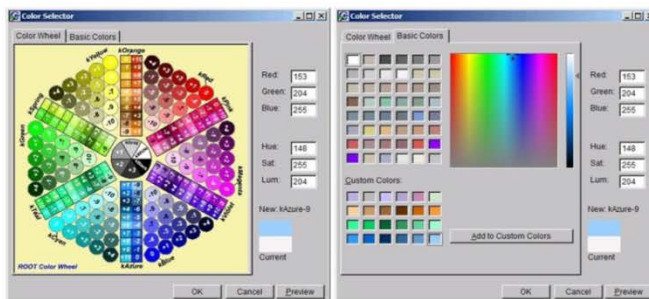
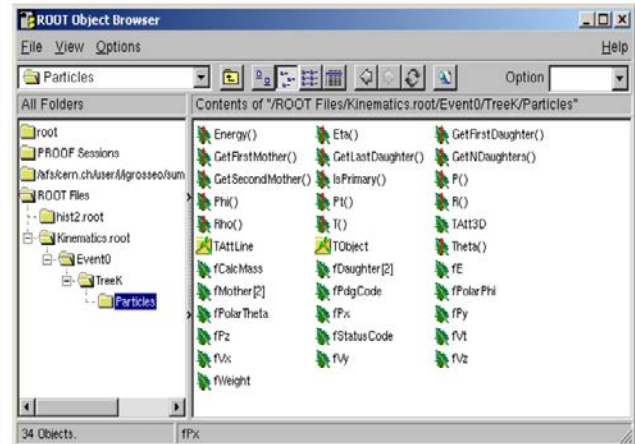
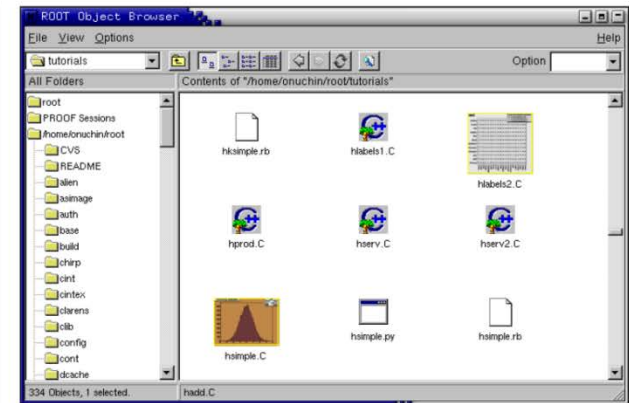
```
$ ./analysis
```

```
void analysis()  
{  
    commands...  
    return;  
}  
  
# ifndef __CINT__  
int main()  
{  
    analysis();  
    return 0;  
}  
# endif
```


- **Graphical interfaces**

- ✓ Permiten un utilizo más interactivo: abrir ficheros, explorarlos, mirar los trees, plotear objetos, editarlos, cambiar el estilo, fitear...

La ventana grafica se llama **TCanvas**



Varias maneras de utilizar ROOT

○ ROOTBook

- ✓ ROOT interactivo en el navegador web (parecido a un notebook de *Mathematica*):

https://root.cern.ch/notebooks/HowTos/HowTo_ROOT-Notebooks.html

HowTo ROOT-Notebooks: pure C++ notebook

The manual switch to C++ mentioned above can be done by typing:

```
In [16]: ROOT.toCpp()
```

```
Notebook is in Cpp mode
```

Now our notebook behaves as the ROOT prompt, with no need of any magic.

```
In [17]: cout << "From this point on..." << endl;
```

```
From this point on...
```

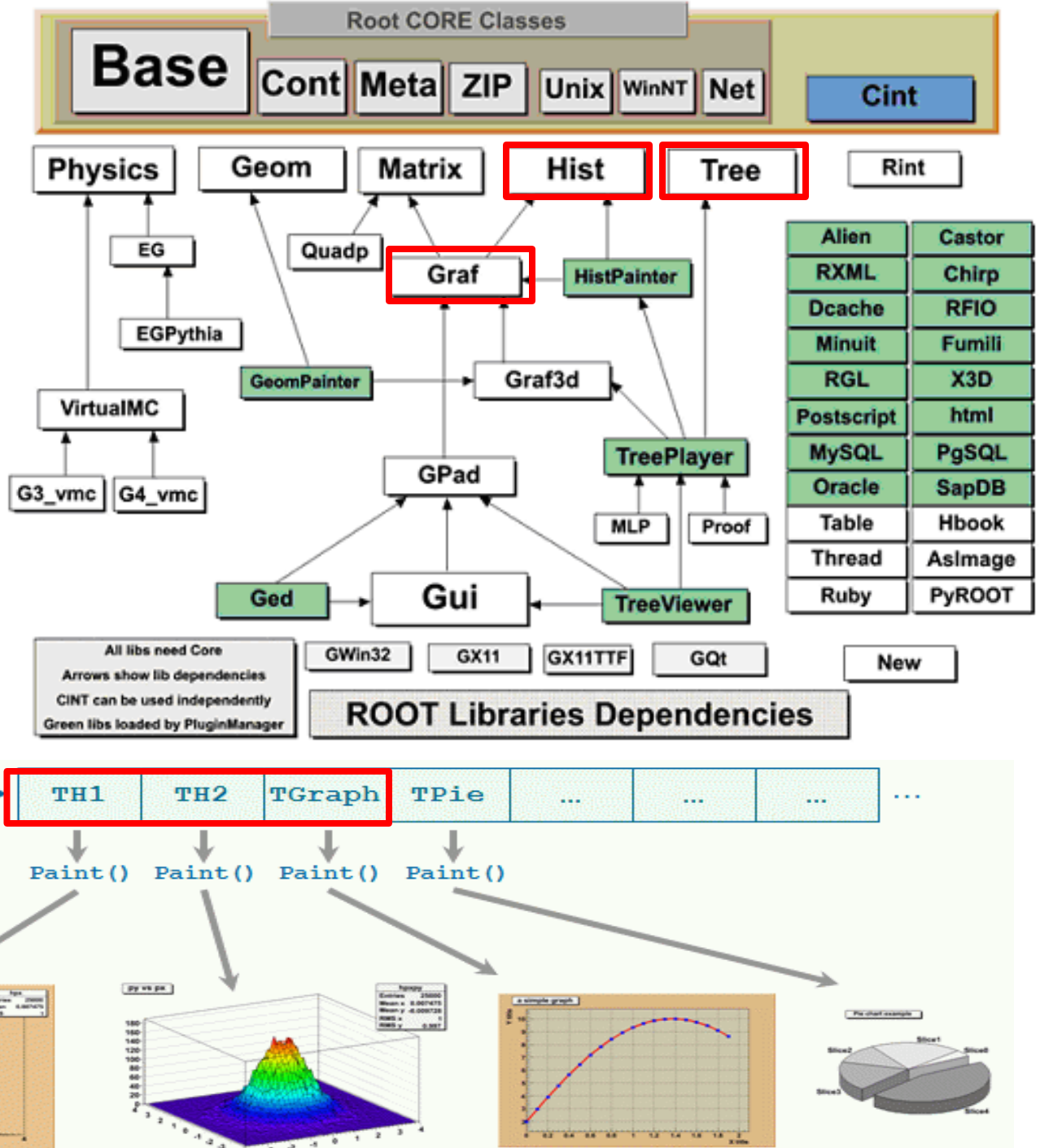
```
In [18]: cout << "... it's only C++ ..." << endl;
```

```
... it's only C++ ...
```

```
In [19]: cout << "... With the usual goodies!" << endl;
std::unordered_map<int, string> m = {{1, "one"}, {2, "two"},
{3, "three"}}
```

```
... With the usual goodies!
(std::unordered_map<int, std::string> &) { 3 => "three", 1
=> "one", 2 => "two" }
```

- ROOT contiene muchísimas librerías y clases de objetos
- En este curso nos enfocaremos en los objetos típicamente utilizados en análisis de datos en física:
 - ✓ Funciones
 - ✓ Histogramas
 - ✓ Graphs
 - ✓ Trees



- Variables en ROOT

```

int    →  Int_t
float  →  Float_t
double →  Double_t
char   →  Char_t
bool   →  Bool_t
...

```

- Colors

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

- Markers

										
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

TCanvas

- **Canvas:** La Canvas es una ventana grafica donde se dibujan todos los objetos de ROOT:
“area mapped to a window directly under the control of the display manager”
- La clase correspondiente de ROOT se llama **TCanvas**
- Si la Canvas no existe, ROOT la crea automáticamente al dibujar un objeto
- Las Canvas se pueden dividir en **Pads**

TCanvas (const char *name, const char *title, Int_t wtopx, Int_t wtopy, Int_t ww, Int_t wh)

```
root [ ] TCanvas *c1 = new TCanvas("c1", "Ventana grafica",200,10,700,900)
```

(name, title, x₀, y₀, x₁, y₁)

```
root [ ] c1->Divide(1,2)
```

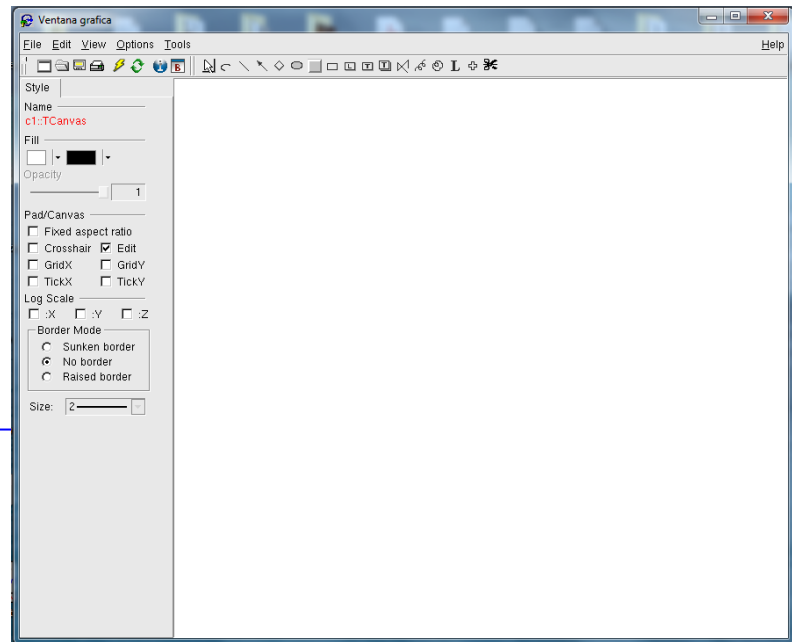
```
root [ ] c1->cd(1)
```

```
root [ ] c1->cd(2)
```

```
root [ ] c1->SaveAs("file.png")
```

```
root [ ] c1->SaveAs("file.pdf")
```

```
root [ ] c1->SaveAs("file.C")
```



Tutorials

Funciones

- **Función:** Correspondencia que asocia a cada elemento de un primero conjunto uno y un solo elemento de un segundo conjunto. Es. una línea recta: $y = a x + b$
- Utilizando la **clase TF1** se pueden definir funciones 1D
- Las **clases TF2** y **TF3** permiten crear funciones 2D y 3D

- Función creada como **value-type** (instancia de un objeto)

```
root [ ] TF1 f2("func", "sin(x)", 0, 10)
```

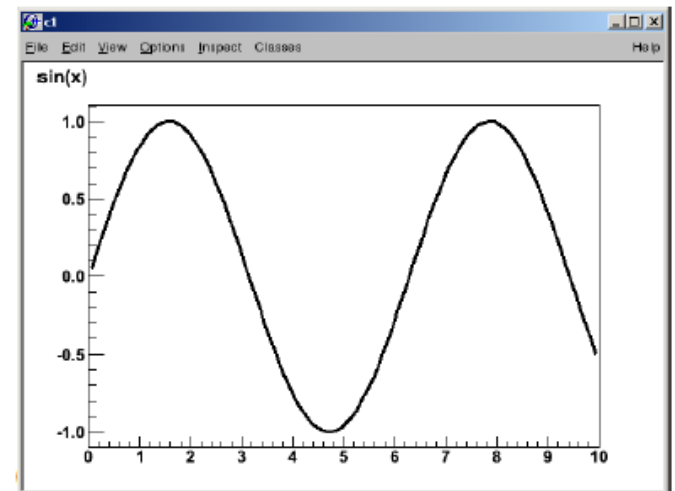
- Función creada como **pointer** (punta a la instancia del objeto)

```
root [ ] TF1* f1 = new TF1("func", "sin(x)", 0, 10)
```

- "func" is a (unique) name
- "sin(x)" is the formula
- 0, 10 is the x-range for the function

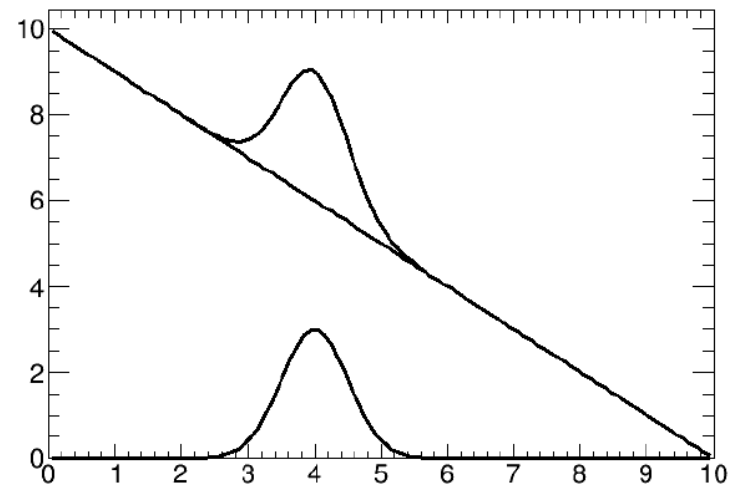
```
root [ ] f1->Draw()
```

```
root [ ] f1->SetLineColor(kRed)
```



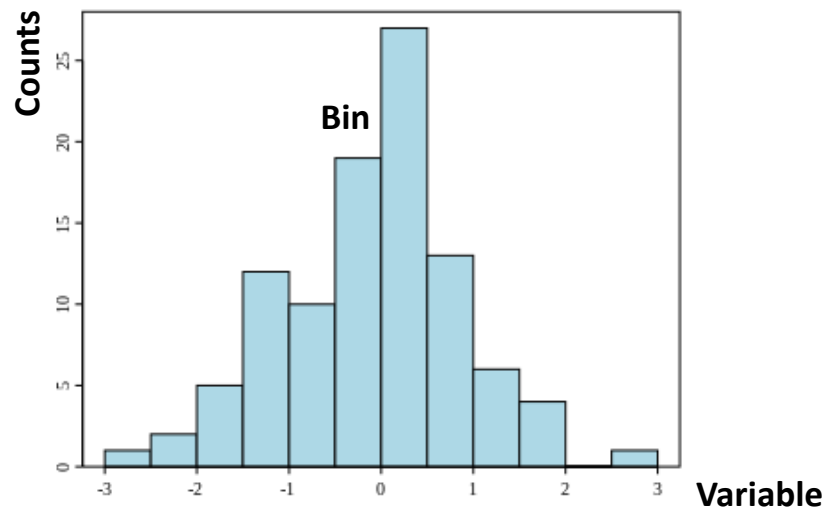
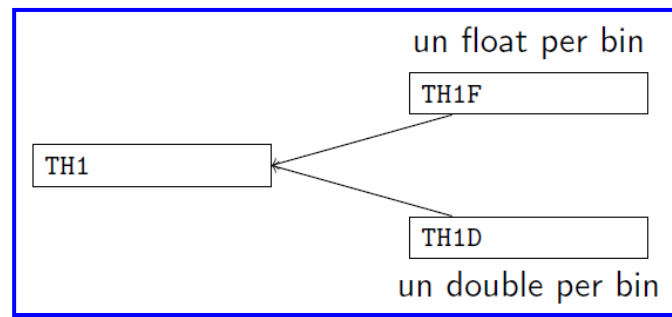
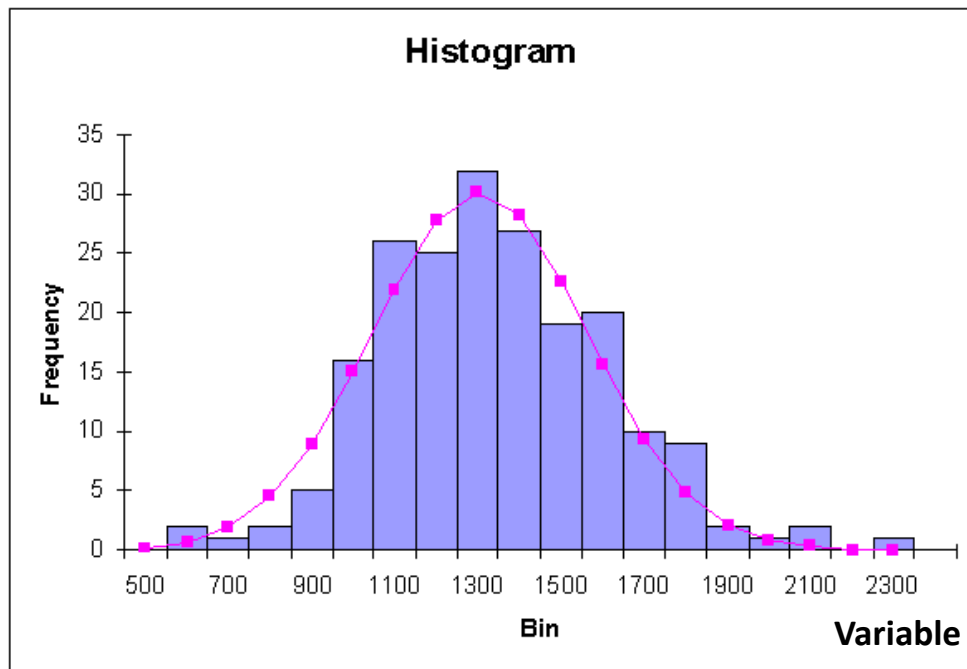
Funciones: ejemplos

```
root [ ] TF1 *f1 = new TF1("f1","gaus  ",0,10)
root [ ] TF1 *f2 = new TF1("f2","10.-x",0,10)
root [ ] f1->Draw()
root [ ] f2->Draw()
root [ ] f1->SetParameter(0,2)
root [ ] f1->SetParameter(1,4)
root [ ] f1->SetParameter(2,2.5)
root [ ] f1->Draw()
root [ ] TF1 *f3 = new TF1("f3","f1+f2",0,10)
root [ ] f3->Draw()
root [ ] f3->SetParameter(0,3)
root [ ] f3->SetParameter(2,0.5)
root [ ] f3->Draw()
root [ ] f2->Draw("same")
root [ ] f1->SetParameter(0,3)
root [ ] f1->SetParameter(2,0.5)
root [ ] f1->Draw("same")
```



Histogramas

- **Histograma:** Un histograma es un grafico que representa el numero de sucesos que pertenecen a una categoría (intervalo de una variable)
- Los intervalos en que se divide el eje de la variable se llaman **bines**
- Tener cuidado en la elección del numero de bins (**binning**) del histograma
- Las clases de histogramas en ROOT heredan desde la **clase TH1** y son de varios tipos, se utilizan más **TH1F** y **TH1D**
- Hay también histogramas en 2D y 3D



Histogramas

- Los histogramas son una de las clases de ROOT más importantes para los físicos

- Histograma creado como *value-type* (instancia de un objeto)

```
root [ ] TH1F h2("hist2","A new histogram",50,-25,25)
```

- Histograma creado como *pointer* (punta a la instancia del objeto)

```
root [ ] TH1F *h = new TH1F("hist","Histogram",10,0,10)
```

```
root [ ] TH1F *h = new TH1F("hist", "histogram title", 10, 0, 10)
```

- "hist" is a (unique) name
- "histogram title" is the title of the histogram
- 10 is the number of bins
- 0, 10 are the limits on the x axis.
Thus the first bin is from 0 to 1,
the second from 1 to 2, etc.

```
root [ ] h->Fill(3.5)
```

```
root [ ] h->Fill(5.5)
```

```
root [ ] h->Draw()
```

```
root [ ] h->Rebin(2)
```

Example credits: ROOT Tutorial, L. Fiorini,

http://ific.uv.es/~fiorini/ROOTTutorial/root_tutorial.pdf

Histogramas 2D

- Se pueden definir histogramas en 2D utilizando las clases **TH2F** y **TH2D**

```
root [ ] TH2D h2d("h2d","A 2-dimensional histogram",binX,x1,x2,binY,y1,y2)
```

```
root [ ] gStyle->SetPalette(1)
```

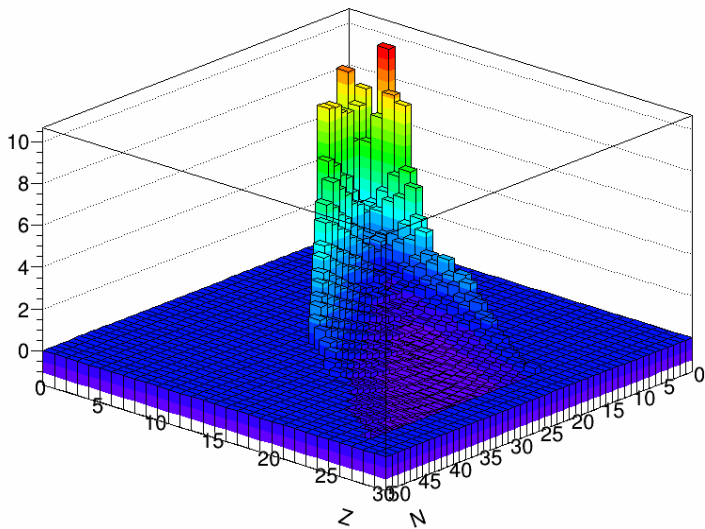
```
root [ ] h2d->Draw("colz")
```

```
root [ ] h2d->Draw("lego")
```

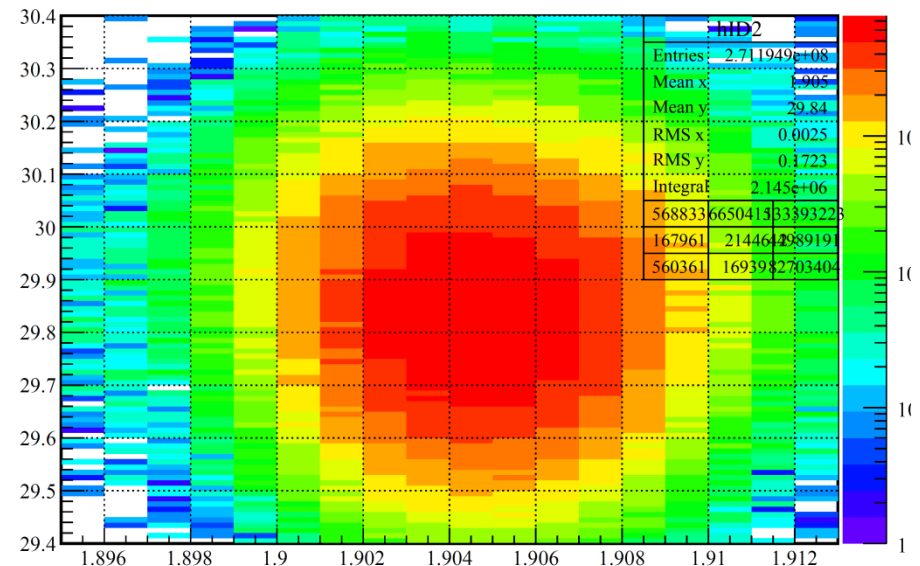
```
root [ ] TH2F *hID2 = new TH2F("hID2","F11-ID2 Oikawa's AnaRoot",800,1.8,2.6,4000,10,50)
```

```
root [ ] hID2->GetXaxis()->SetRangeUser(1.895,1.913)
```

```
root [ ] hID2->GetYaxis()->SetRangeUser(29.4,30.4)
```

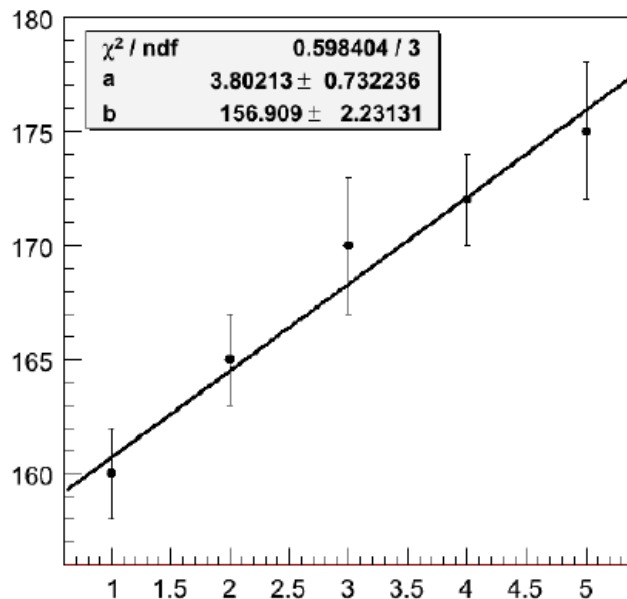


F11-ID2 Oikawa's AnaRoot



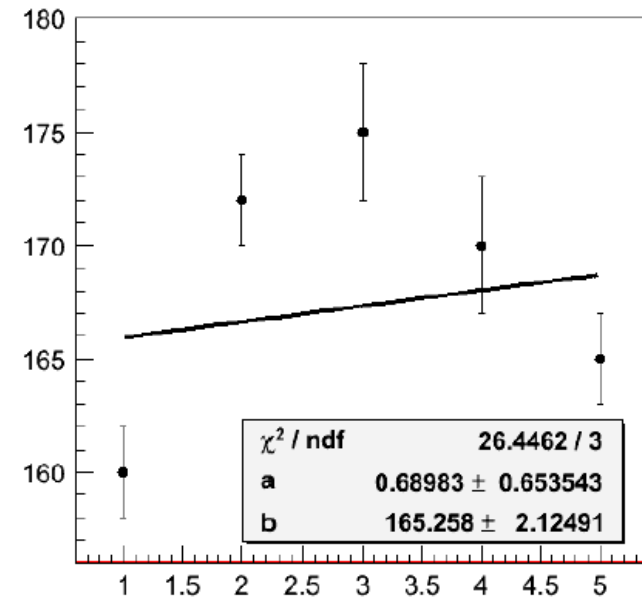
Fits

- **Fit:** Un fit (ajuste) es una procedimiento que permite de comparar un conjunto de datos con una función y determinar los parámetros que mejor se adaptan a los datos
- El valor de χ^2/ndf nos da una medida de la calidad del fit
- Numero de grados de libertad **ndf** = numero de los puntos meno el numero de parámetros de la función de fit



$$\chi^2 = \sum_i \frac{(y_i - f(x_i))^2}{(\Delta y_i)^2}$$

Picture credits: M. Floris



Fits de histogramas

Fit of a histogram

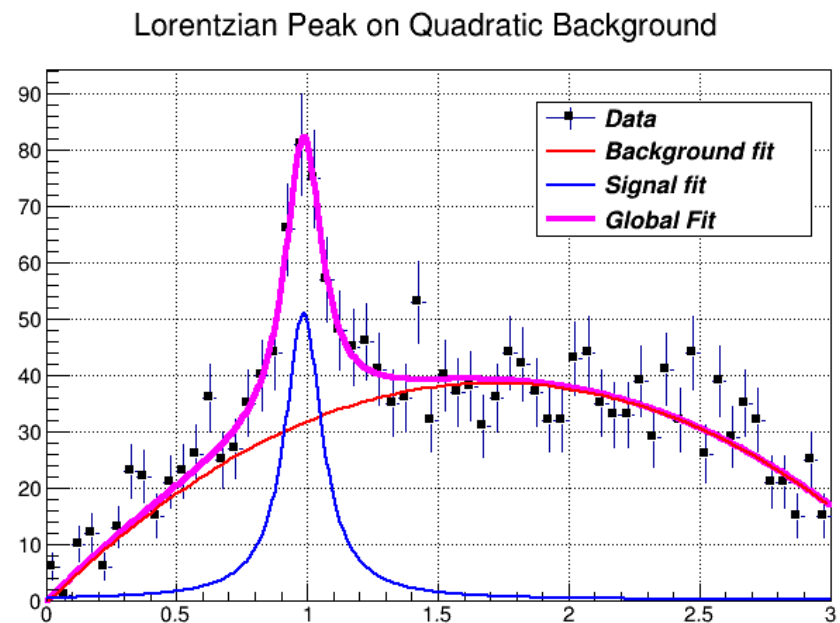
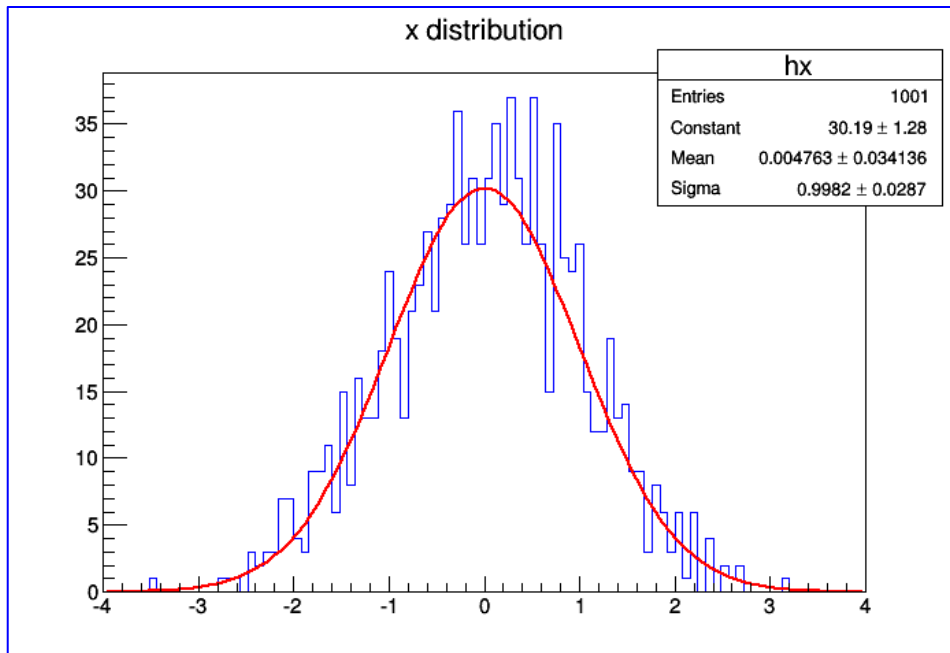
```
root [ ] TF1 *fitfunction = new TF1("fitfunction","gaus",x1,x2)
```

```
root [ ] h->Fit("fitfunction","R")
```

Getting χ^2 and ndf

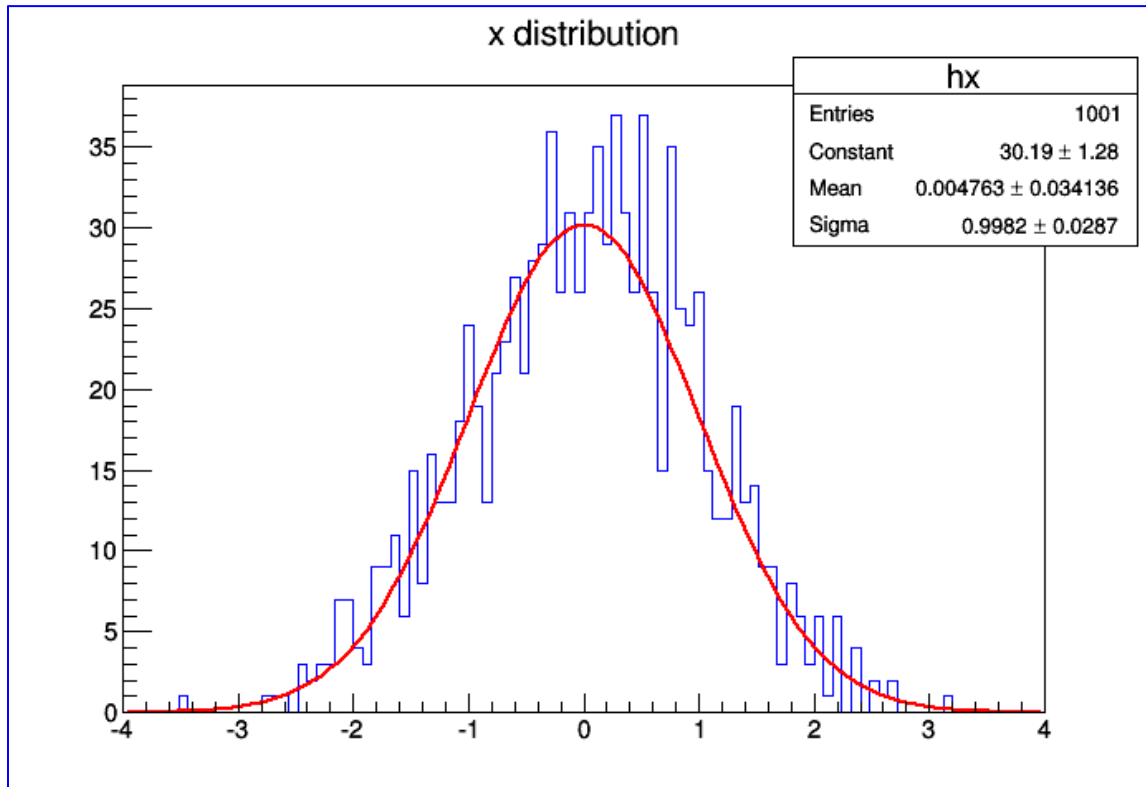
```
root [ ] fitfunction->GetChisquare()
```

```
root [ ] fitfunction->GetNDF()
```



Fit Panel

- Además de las líneas de comandos y macros, se puede utilizar el **FitPanel** en manera interactiva
- En ROOT se pueden utilizar funciones predefinidas y también definidas por el usuario



Fit Panel

Data Set: TH1F::dndeta_check_vertex

Fit Function

Type: Pref-1D gaus

Operation: ☒ Nop ☐ Add ☐ Conv

gaus

Selected: gaus

Set Parameters...

General | Minimization

Fit Settings

Method: Chi-square User-Defined...

☐ Linear fit Robust: 1.00 ☐ No Chi-square

Fit Options

☐ Integral ☐ Use range

☐ Best errors ☐ Improve fit results

☐ All weights = 1 ☐ Add to list

☐ Empty bins, weights=1 ☐ Use Gradient

Draw Options

☐ SAME ☐ No drawing

☐ Do not store/draw

Advanced...

X: -40.00 40.00

Fit Reset Close

TH1F::dndeta LIB Minuit MIGRAD ltr: 0 Prn: DEF

Graphs

- **Graph:** Un graph es un grafico donde se representan los valores de una variable en función de los valores de otra variable. Es. ***scatter plot (x.y)***
- Se pueden crear graphs con o sin errores y también con errores asimétricos, utilizando las clases **TGraph**, **TGraphErrors** y **TGraphAsymmErrors**

TGraph(n,x,y)

```
root [ ] TGraph *graph = new TGraph()
```

```
root [ ] graph->SetPoint(i,x,y)
```

TGraphErrors(n,x,y,dx,dy)

```
root [ ] TGraphErrors *grapherr = new TGraphErrors()
```

```
root [ ] grapherr->SetPoint(i,x,y)
```

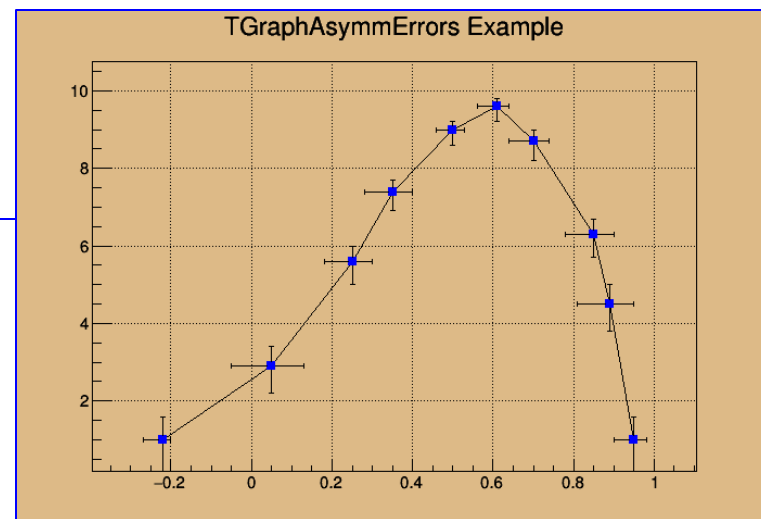
```
root [ ] grapherr->SetPointError(i,dx,dy)
```

TGraphAsymmErrors(n,x,y,dxL,dxR,dyL,dyR)

```
root [ ] TGraphAsymmErrors *graphaserr = new TGraphAsymmErrors()
```

```
root [ ] graphaserr->SetPoint(i,x,y)
```

```
root [ ] graphaserr->SetPointError(i,dxL,dxR,dyL,dyR)
```



Fits de graphs

Fit of a graph

```
root [ ] TF1 *bestfit = new TF1("bestfit","pol1",x1,x2)
```

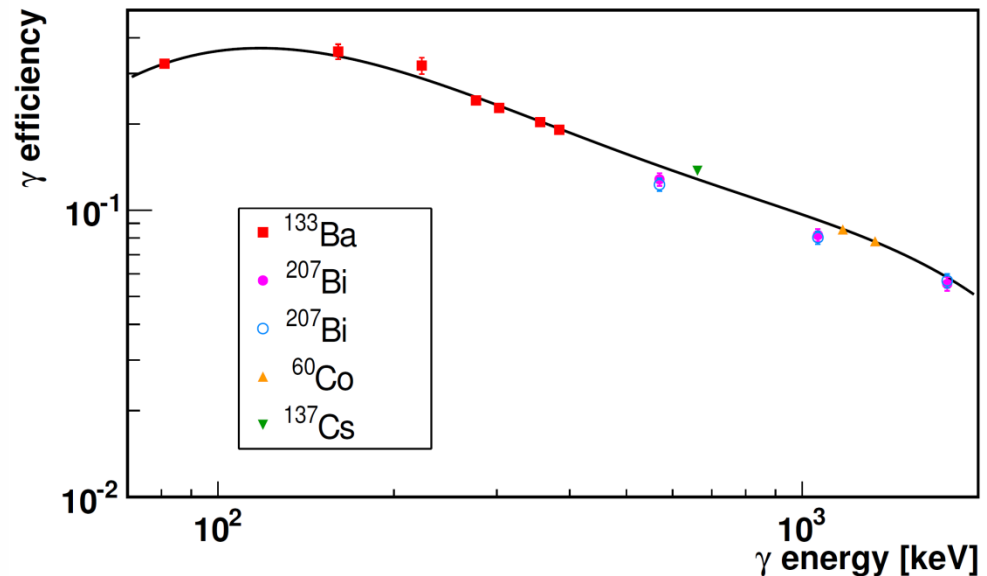
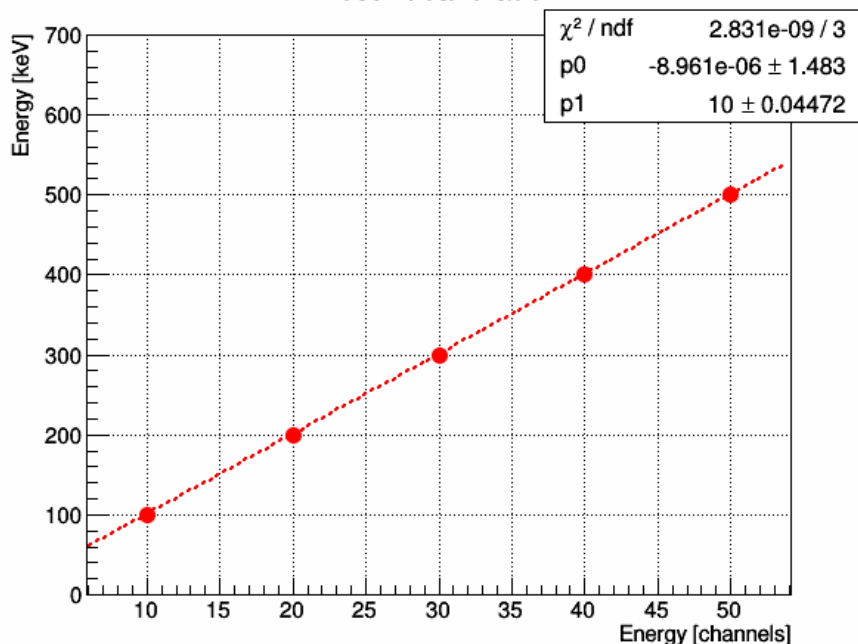
```
root [ ] GraphErrors->Fit("bestfit","R")
```

Getting χ^2 and ndf

```
root [ ] bestfit->GetChisquare()
```

```
root [ ] bestfit->GetNDF()
```

Best-fit calibration

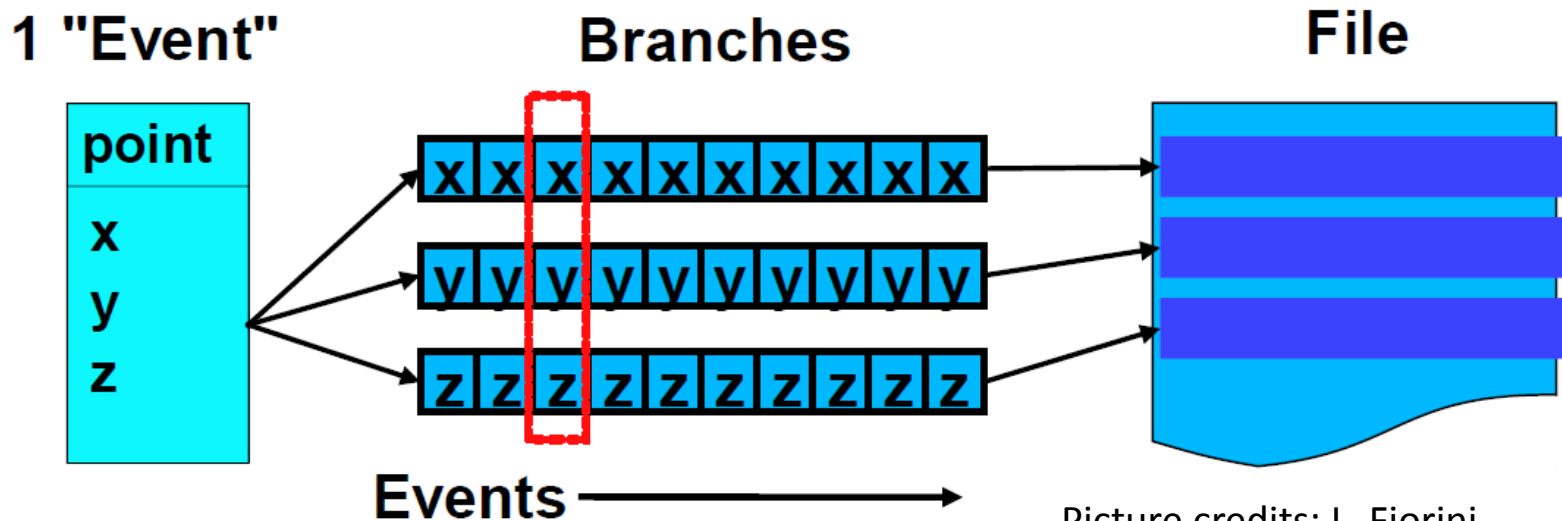


Trees

- Los resultados de las medidas tomadas durante los experimentos usualmente tienen una estructura como de enormes tablas

Evento	numero di hit	numero di tracce	proprietà delle tracce	
1	10	3	aaa	bbb	...
2	30	4	ccc	ddd	...
...

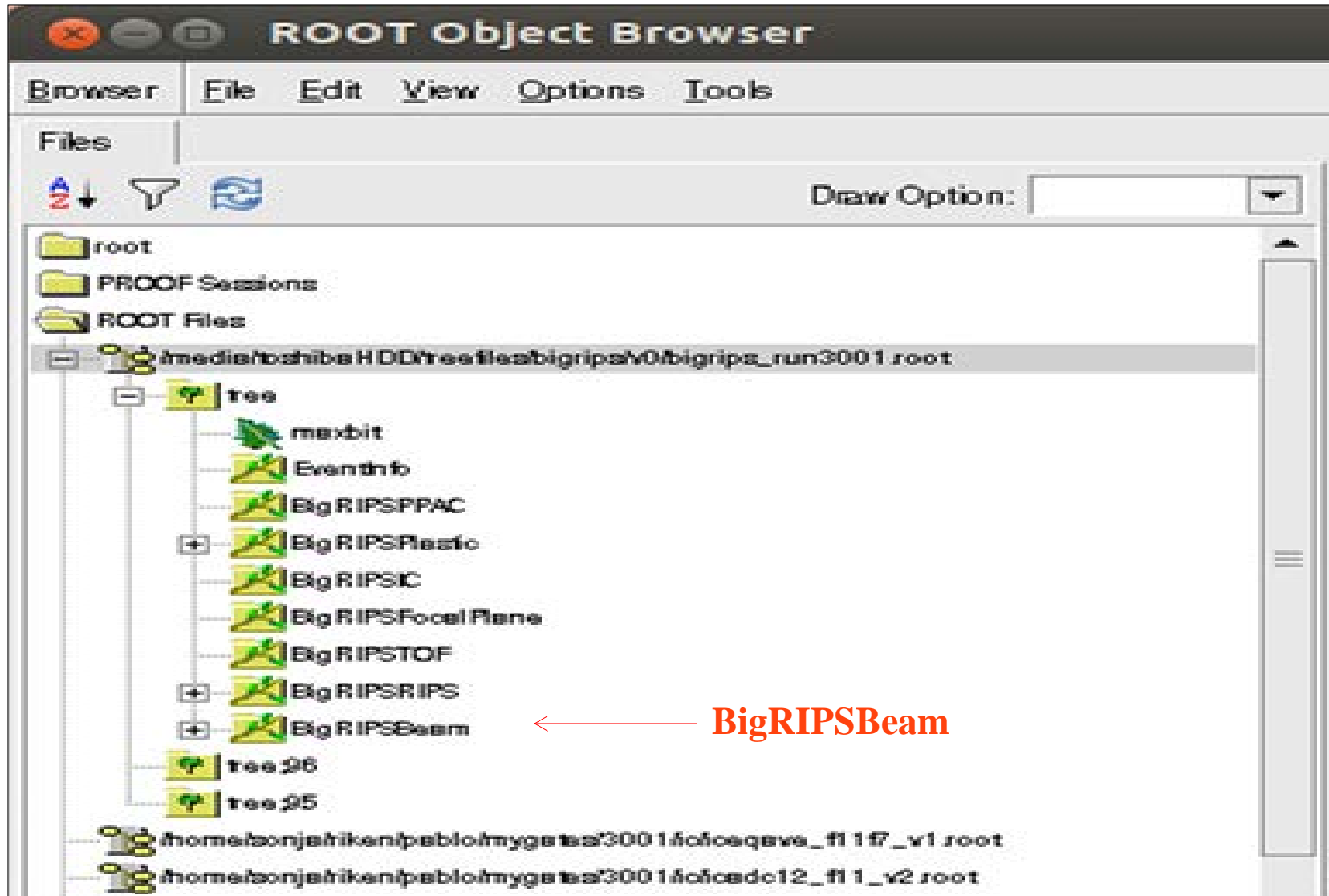
- Trees:** Los trees de ROOT implementan estas tablas “generalizadas”, donde las columnas pueden contener grandes y complexas estructuras de datos (objetos de cualquier clase)
- La clase de ROOT se llama **TTrees**

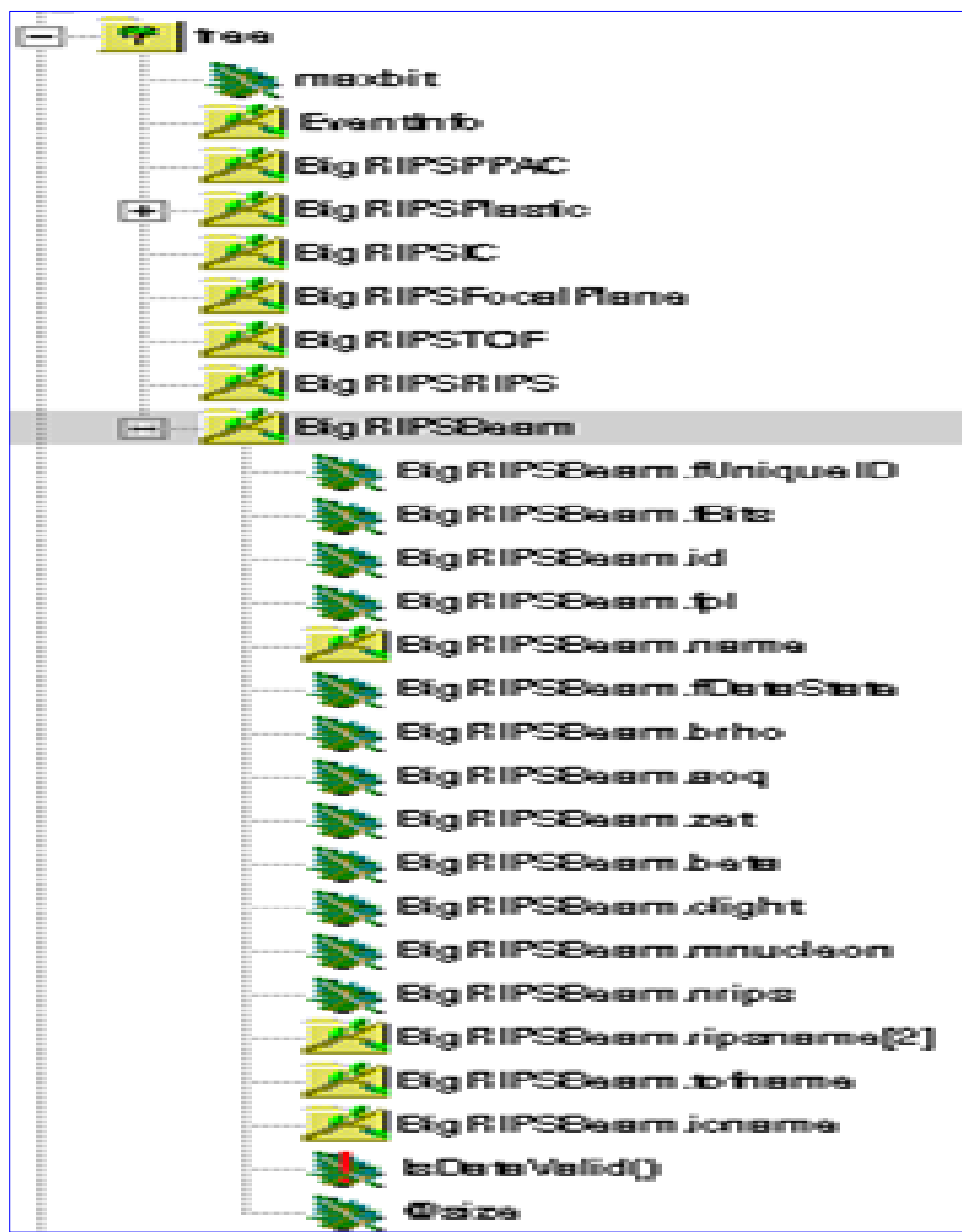


Picture credits: L. Fiorini

Trees

- Los Trees están estructurado en **Branches** y **Leaves**





Trees

```
root [ ] tree->Draw("variable1", "CONDITION")
```

```
root [ ] tree->Draw("variable1", " variable1>10") 1D-histogram binned automatically
```

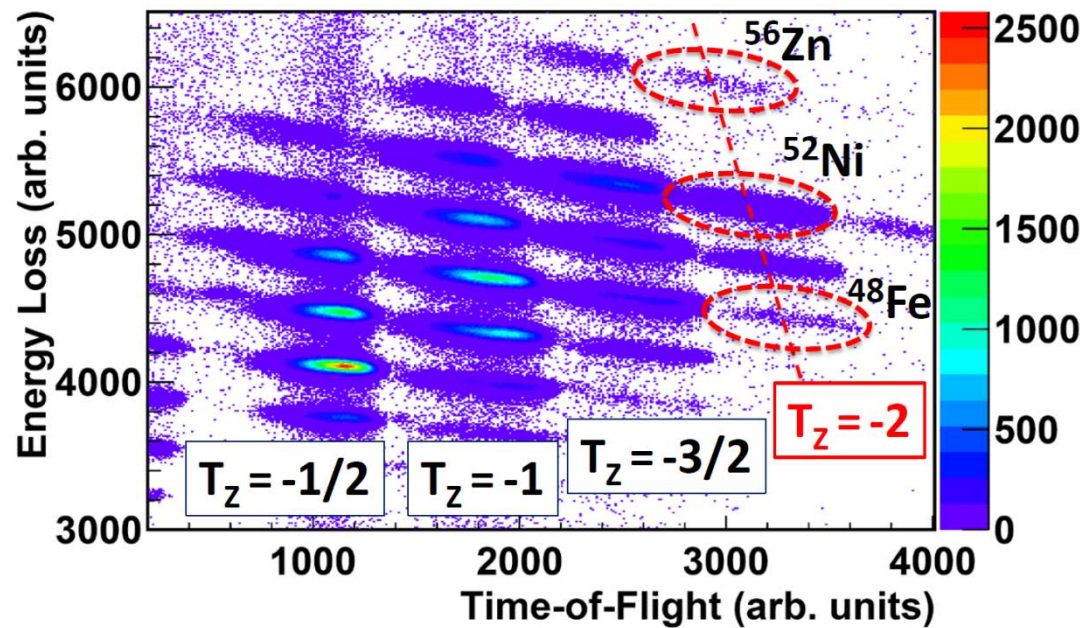
```
root [ ] tree->Draw("variable1>>histo1D(binX,x1,x2)", "")
```

```
root [ ] tree->Draw("variable1>>histo1D(binX,x1,x2)", "variable1>10")
```

```
root [ ] tree->Draw("variable2:variable1", "CONDITION", "OPTION") 2D-histogram
```

```
root [ ] tree->Draw("variable2:variable1", "variable2>0", "colz")
```

```
root [ ] tree->Draw("variable2:variable1>>histo2D(binX,x1,x2,binY,y1,y2)", "", "")
```



Writing a Tree to file

```
root [ ] TFile *file = TFile::Open("mytree.root","RECREATE");  
root [ ] TTree *mytree = new TTree("mytree","title");  
root [ ] Float_t var1;  
root [ ] tree->Branch("var1", &var1, "var1/F");  
root [ ] var1 = 2.16;  
root [ ] tree->Fill();  
root [ ] tree->Print();  
root [ ] tree->Write();  
root [ ] file->Close();
```

La modalità di apertura può essere (maiuscole non importano):

- **CREATE**: Crea un nuovo file. Se esiste già un file con lo stesso nome non viene fatto niente.
 - **RECREATE**: Crea un nuovo file. Se esiste già viene un file con lo stesso nome viene cancellato.
 - **UPDATE**: Apre un file esistente per aggiungere dati. Se non esiste, viene creato un nuovo file.
 - **READ**: Apre un file per la lettura.
-
- Per scrivere dati su un file bisogna usare CREATE, RECREATE o UPDATE.
 - Per leggere dati da file bisogna usare READ o UPDATE.

Credits: M. Floris

Reading a Tree from file

```
root [ ] TFile *file = TFile::Open("mytree.root");
root [ ] TTree *tree = (Ttree*)file->Get("mytree");
root [ ] Float_t var1;
root [ ] tree->SetBranchAddress("var1", &var1);
root [ ] Int_t nentries = tree->GetEntries();
root [ ] for(Int_t i=0;i<nentries;i++) {
    tree->GetEntry(i);
    cout << var1 << endl;
}
```