



Luz de Cintilação em Argônio Líquido

F. Marinho
email: franciole@ita.br

Conteúdo adaptado dos slides de P. Green apresentados no DUNE LArSoft workshop 2025

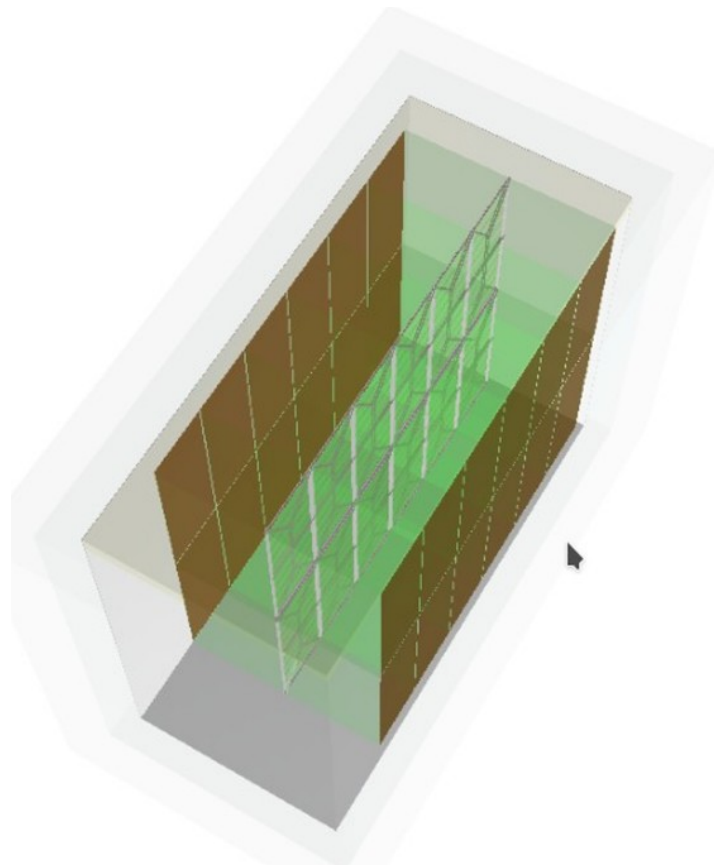
EBN – UTFPR – 08 de Agosto de 2025

Resumo

- Tutorial dedicado a simulação e reconstrução de cintilação em LArTPCs
 - Procedimentos para rodar e avaliar comportamento da luz
- Atividades em duas etapas
 - Executar simulação de luz e verificar resultados para diferentes eventos com verdade de Monte Carlo.
 - Executar simulação da resposta do detector e inspecionar características dos objetos reconstruídos
- Realizar tarefas específicas em ambas as etapas.

Geometria: DUNE-HD 1x2x6

- Volume reduzido do módulo DUNE-HD do Far Detector
 - TPCs: duas partições (3.5 m cada) com APA e PDs instalados no centro.
- Detectores de luz:
 - X-Arapucas com “vista” para ambos os lados das TPCs
 - 480 canais: 120 grupos de 4 células.
- Realizar tarefas específicas em ambas as etapas.



Simulação de luz no DUNE-HD

- **Arquivo fhicl:** *optical_tutorial_sim_muons.fcl*
 - Disponível em *CERNWorkshop/Photon/fcl/* na instalação de duneana
- **Gerador:** Muons com $E = 2\text{GeV}$ no detector
- **LArG4:** simulação de luz
- **Módulo** “analyzer” → 3 TTrees com informação de MC

Simulação de luz no DUNE-HD

- Abrir o container

```
apptainer shell -s /bin/bash -B /cvmfs,$PWD \  
    /cvmfs/singularity.opensciencegrid.org/fermilab/fnal-dev-sl7:latest
```

- Configurar o ambiente com versão local do LArSoft

```
cd $HOME && cd larsoft  
source /cvmfs/dune.opensciencegrid.org/products/dune/setup_dune.sh  
source localProducts_*/setup  
mrbsenv  
mrbslp  
mrbslp
```

Simulação de luz no DUNE-HD

- Criar diretório de trabalho:

```
cd $HOME
```

```
mkdir photon_tutorial && cd photon_tutorial
```

- Copiar o arquivo fhicl:

```
cp ../larsoft/srcs/duneana/duneana/CERNWorkshop/Photon/fcl/optical_tutorial_sim_muons.fcl .
```

Simulação de luz no DUNE-HD

optical_tutorial_sim_muons.fcl

```
physics:
{
  producers:
  {
    rns: { module_type: "RandomNumberSaver" }

    # Generation
    generator: @local::microboone_singlep

    # Running Geant4
    largeant: @local::dunefd_larg4

    # Creation of ionisation electrons and scintillation photons
    IonAndScint: @local::dunefd_ionandscint

    # Light propagation, semi-analytical model
    PDFastSim: @local::dunefd_pdfastsim
  }

  analyzers:
  {
    # Analyzer to count number of photons arriving on photo-detectors
    opanalyzer: @local::OpDetAnalyzer
  }
}
```

3 TTrees com informação de MC

Simulação de luz no DUNE-HD

PDFastSim_dune.fcl

Seleção do modelo de propagação de luz:
semi-analítico e/ou optical library

```
# Photon library (or PVS parameterization) is not recommended for the FD
dunefd_pdfastsim_pvs:                                @local::standard_pdfastsim_pvs
```

```
# Choose *the* pdfast sim module for the FD
dunefd_pdfastsim:                                    @local::dunefd_pdfastsim_par_ar
```

```
# Hits & Timing parameterization for DUNE FD, Ar scintillation
dunefd_pdfastsim_par_ar:                            @local::standard_pdfastsim_par_ar
dunefd_pdfastsim_par_ar.VUVTiming:                  @local::dune_vuv_timing_parameterization
dunefd_pdfastsim_par_ar.VUVHits:                     @local::dune_vuv_RS100cm_hits_parameterization
```

Simulação de luz no DUNE-HD

- Executar o LArSoft como:

```
lar -c optical_tutorial_sim_muons.fcl -n 1
```

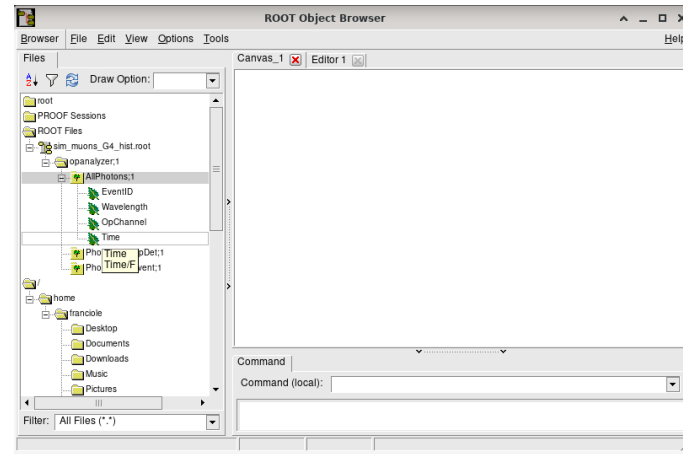
- Arquivo de final “_hist.root” contendo TTrees

- Usar TBrowser para inspecionar AllPhotons

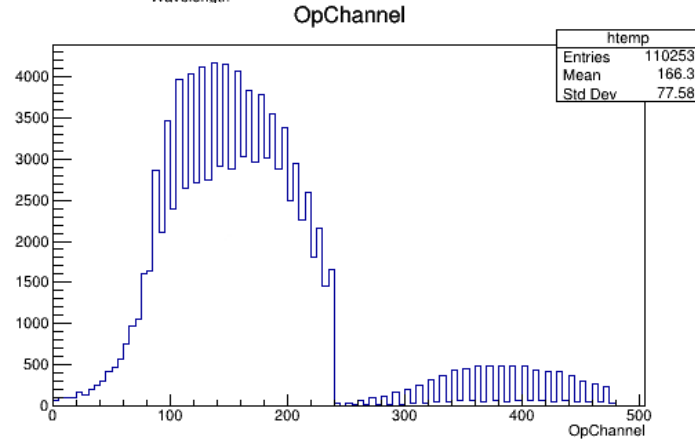
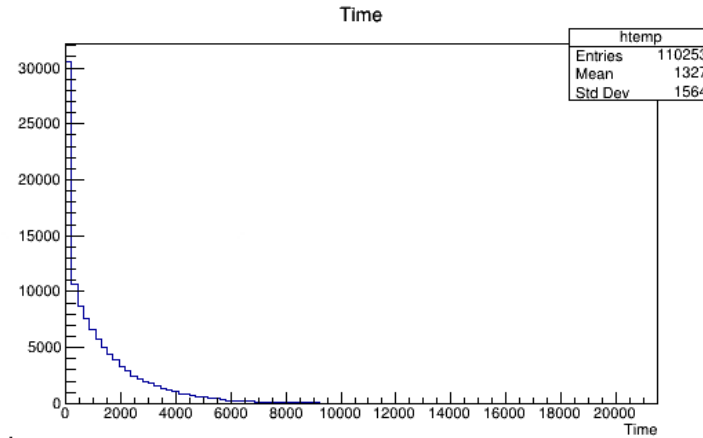
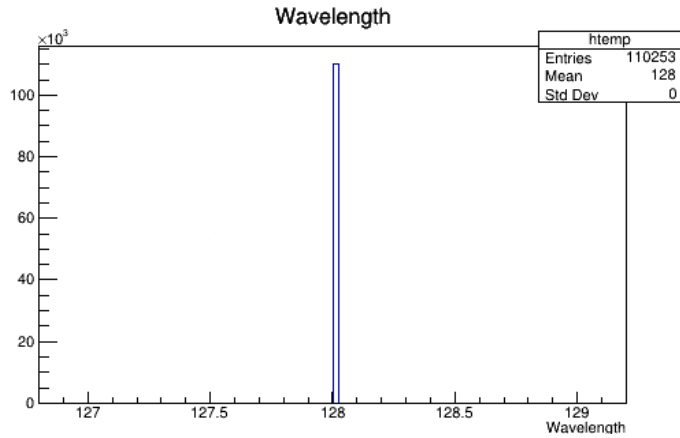
```
root -l sim_muons_G4_hist.root
```

```
new TBrowser
```

- O que esperar dos gráficos de *Wavelength* and *Time*?
- Tente extrair a constante de tempo lenta (exponencial).
- E *OpCHannel*? Você consegue interpretar o que obtem?



Simulação de luz no DUNE-HD



Simulação de luz no DUNE-HD

- Modificar o arquivo fichl:
 - Parâmetros das partículas primárias do gerador.

```
# generator parameters
physics.producers.generator.PadOutVectors: true
physics.producers.generator.PDG: [13]
physics.producers.generator.P0: [2.0] # GeV
physics.producers.generator.SigmaP: [0]
physics.producers.generator.PDist: 0
physics.producers.generator.X0: [150]
physics.producers.generator.Y0: [300]
physics.producers.generator.Z0: [50]
physics.producers.generator.T0: [0]
physics.producers.generator.Theta0XZ: [0]
physics.producers.generator.Theta0YZ: [0]
physics.producers.generator.SigmaThetaXZ: [0]
physics.producers.generator.SigmaThetaYZ: [0]
```

- Modificar X0 para 50cm (~ânodo) ou 300cm (~cátodo)
 - Verifique o impacto no tota de luz através da tree *PerEvent*

Para modificar o nome dos arquivos de saída basta fazer:

lar -c optical_tutorial_sim_muons.fcl -n 1 -o sim_muons_G4_50cm.root -T sim_muons_G4_50cm_hist.root

Simulação de luz no DUNE-HD

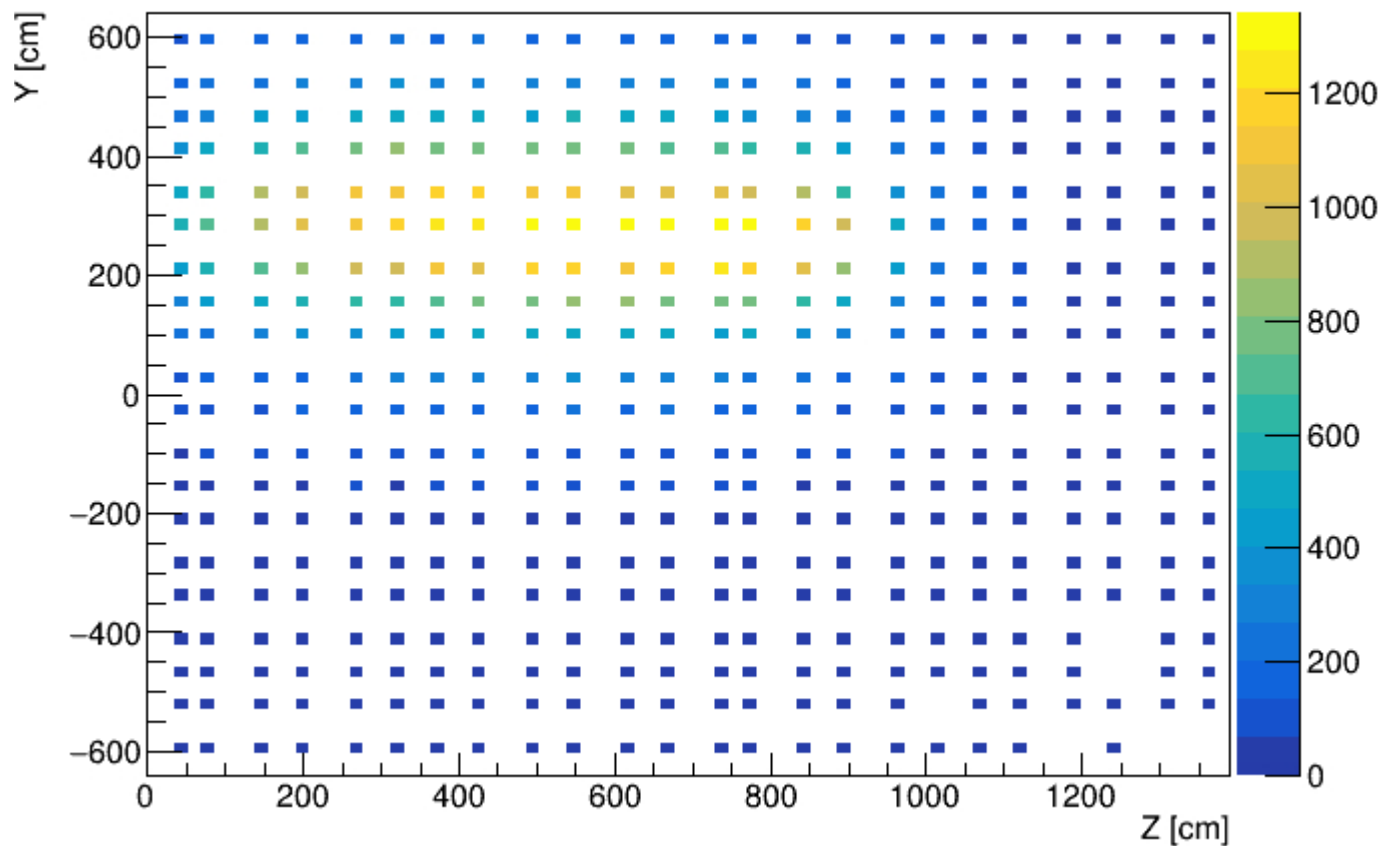
- Distribuição de luz
 - Utilizar macro do ROOT para verificar as contagens de PE/canal
 - CERNWorkbook/Photon/macro/PlotPhotonsYZ.cc
 - Para executar:

```
root -l
```

```
.L PlotPhotonsYZ.cc
```

```
PlotPhotonsYZ("sim_muons_G4_hist.root", 1)
```

Simulação de luz no DUNE-HD



Simulação de luz no DUNE-HD

- Distribuição de luz

- Utilizar macro do ROOT para verificar as contagens de PE/canal
 - CERNWorkbook/Photon/macro/PlotPhotonsYZ.cc

- Para executar:

```
root -l
```

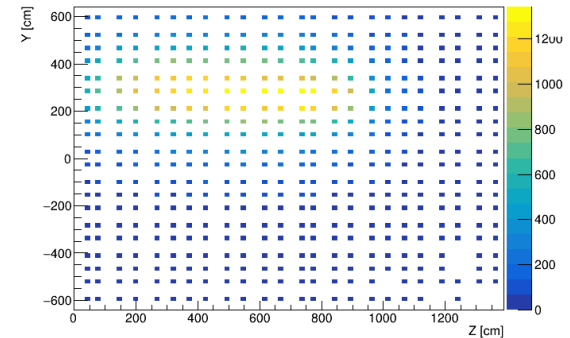
```
.L PlotPhotonsYZ.cc
```

```
PlotPhotonsYZ("sim_muons_G4_hist.root", 1)
```

- Gerar um novo conjunto de dados com elétrons primários

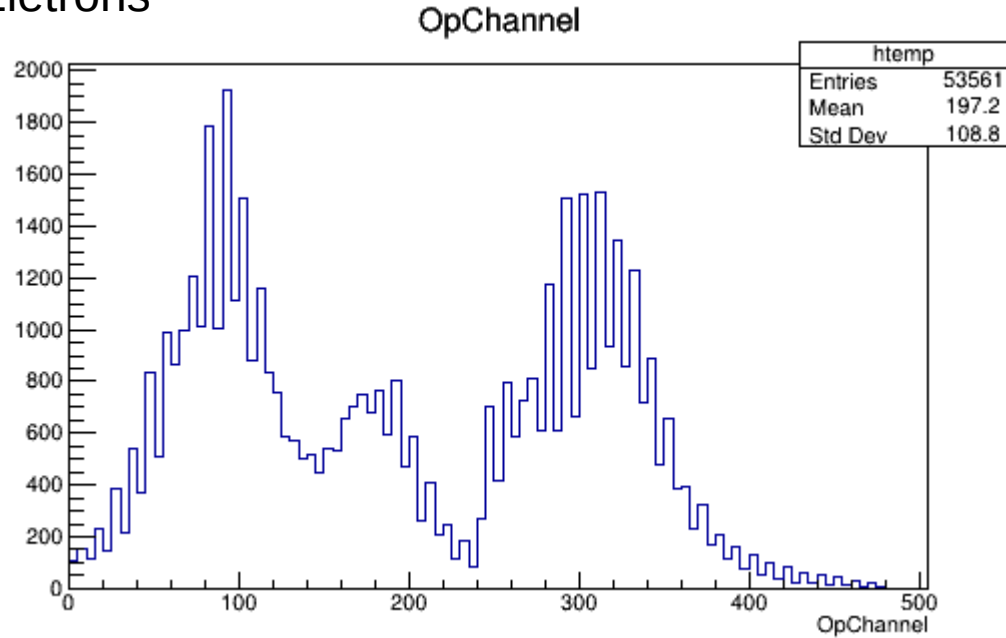
```
lar -c optical_tutorial_sim_electrons.fcl -n 10
```

- Comparar as distribuições obtidas com as diferentes partículas



Simulação de luz no DUNE-HD

Elétrons



Simulação da Resposta do PDS

- Descrição realista do PDS
 - Módulo *OpDetDigitizerDUNE* dedicado
 - Resposta eletrônica, ruído, pedestal, etc.
- Arquivo *fhicl*: *optical_tutorial_detsim.fcl*
 - Localizado em CERNWorkshop/Photon/fcl/
 - Copiar para o diretório de trabalho
- Resulta em dados que replicam a aquisição de dados do detector
 - Sinais eletrônicos em formas de onda por canal de leitura
- Um analyzer também é executado para facilitar visualização da formas de onda resultantes da digitalização

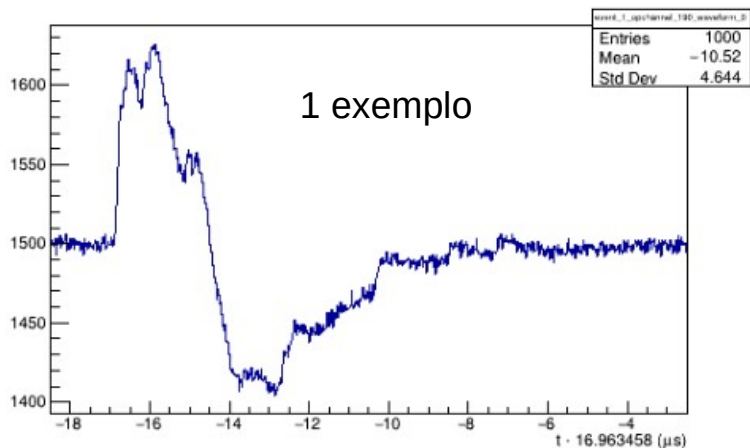
Simulação da Resposta do PDS

optical_tutorial_detsim.fcl

```
producers:
{
  rns:      { module_type: "RandomNumberSaver" }
  opdigi:   @local::standard_template_digitizer
}

analyzers:
{
  opdigiana: @local::dunefd_opdigiana
}
```

coletar waveforms dos canais



Exemplo: XArapucas

```
standard_fbk_daphnev2_template_digitizer: @local::dunefd_opdigi_threegang_refactor

dunefd_opdigi_threegang_refactor: @local::dunefd_opdigi_threegang
dunefd_opdigi_threegang_refactor.InputModules: ["PDFastSim"]

dunefd_opdigi_threegang: @local::dunefd_opdigi_unganged

dunefd_opdigi_threegang.PulseLength: 5.2
dunefd_opdigi_threegang.PeakTime: 0.028
dunefd_opdigi_threegang.MaxAmplitude: 0.0594 # * VoltageToADC = 9 ADC/PE
dunefd_opdigi_threegang.FrontTime: 0.013
dunefd_opdigi_threegang.BackTime: 0.386
dunefd_opdigi_threegang.algo_threshold.ADCThreshold: 15.000 # "2 PE" threshold = 1.7 PE
```

standard_template_digitizer: @local::standard_fbk_daphnev2_template_digitizer

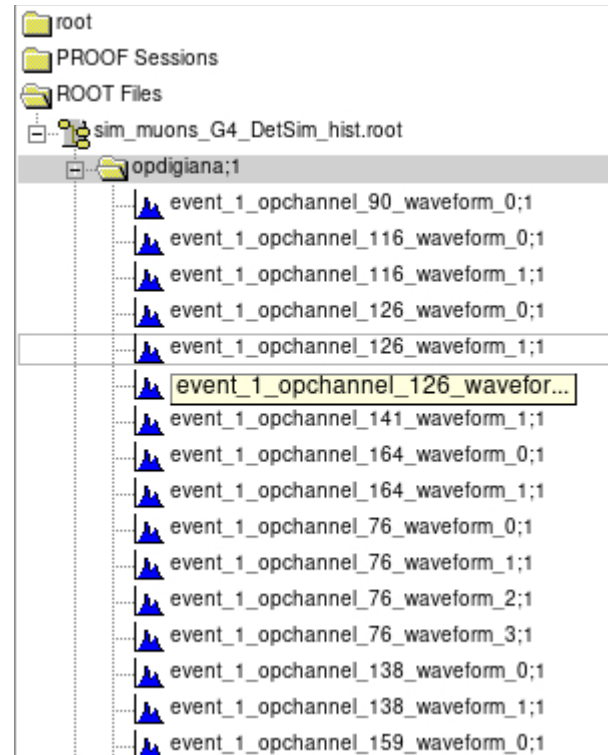
Simulação da Resposta do PDS

- Executar o LArSoft c/ fhicl e os eventos de muon produzidos na etapa anterior na entrada
lar -c optical_tutorial_detsim.fcl -s sim_muons_G4.root
- Visualizar no ROOT as waveforms armazenadas no novo arquivo com final “_hist.root” criado.

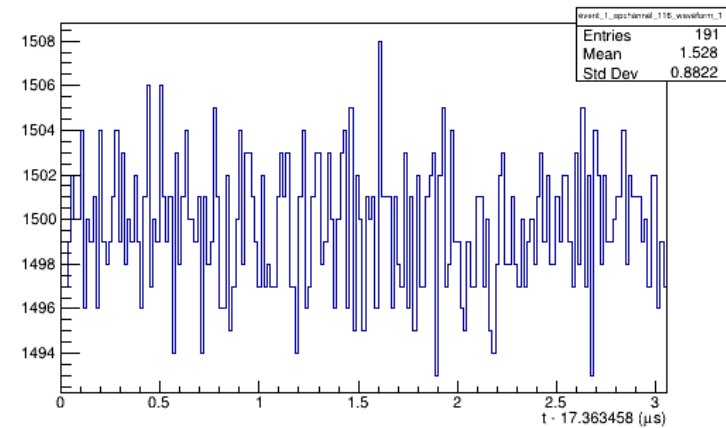
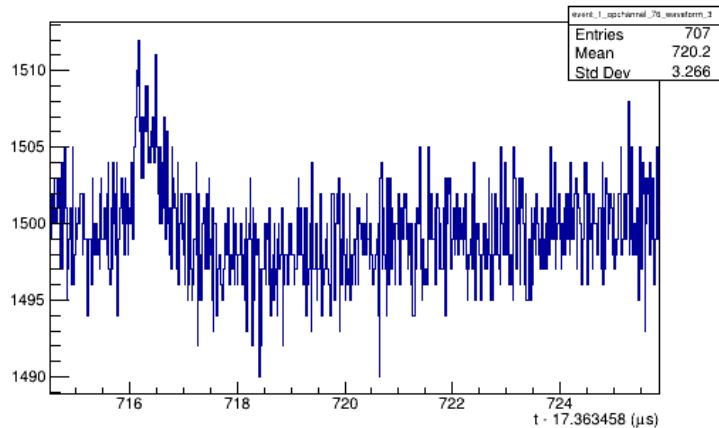
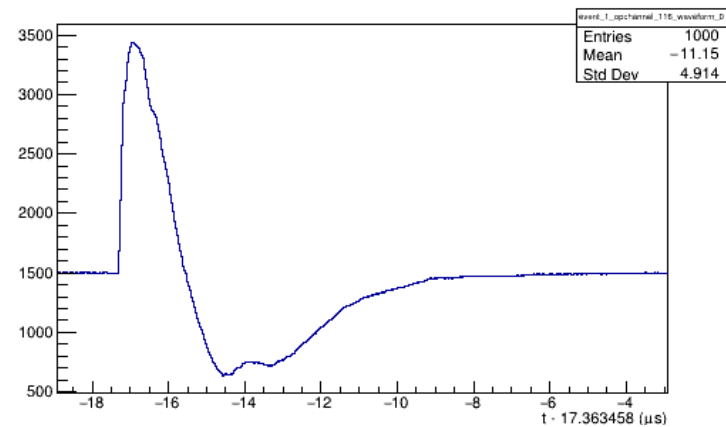
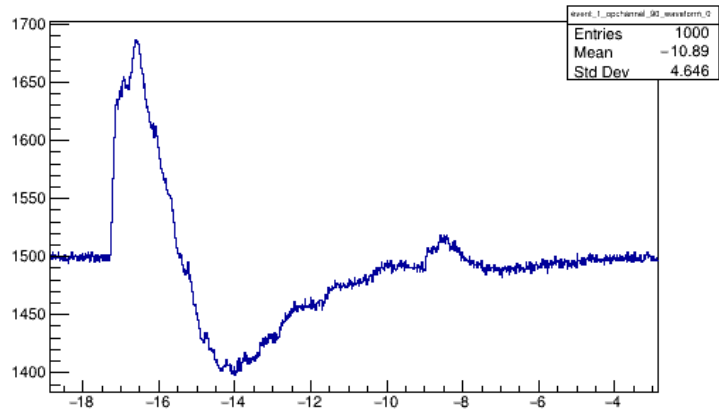
root -l sim_muons_G4_DetSim_hist.root

new TBrowser

- Use a opção HIST no TBrowser para facilitar visualização (se necessário)
- Identificar alguns exemplos com diferentes intensidades (muitos ou poucos PEs)



Simulação da Resposta do PDS



Reconstrução ótica

- Processar os dados “crus” das waveforms e reproduzir com certa qualidade o que ocorreu no evento do ponto de vista da luz VUV emitida.
- Arquivo fhicl: *optical_tutorial_reco.fcl*
 - Localizado em CERNWorkshop/Photon/fcl/
 - Copiar para o diretório de trabalho
- Executa reconstrução padrão do DUNE incluindo analyzers para avaliação dos objetos obtidos.

Reconstrução ótica

optical_tutorial_reco.fcl

```
#Reconstruction from photon detectors
producers:
{
  @table::dunefd_horizdrift_producers
}

#Load analyzers
# Analyzer from larana/OpticalDetector
analyzers:
{
  opflashana: @local::dunefd_opflashana
  hitdumper:  @local::hitdumper
}

#define the producer and filter modules for this path, order matters,
#filters reject all following items. see lines starting physics.producers below
reco: [
  opdec,
  ophitspe,
  opflash
]

ana: [
  opflashana,
  hitdumper
]
```

- Deconvolução: Waverform (adc vs ttempo) → PE vs tempo
- Produz OpHits e em seguida OpFlashes

- Visualização de hits e flashes nas TPCs
- Coordenadas dos hits (hitmap)

Reconstrução ótica - hits

- Executar o LArSoft c/ fhicl e o arquivo produzido na etapa anterior como entrada.

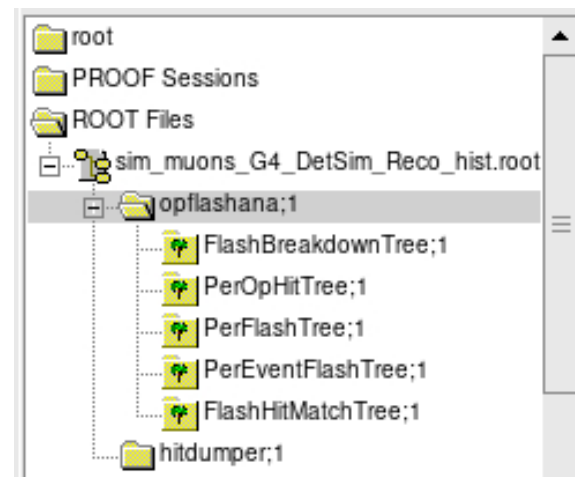
```
lar -c optical_tutorial_reco.fcl -s sim_muons_G4_DetSim.root
```

- Visualizar OpHits no novo arquivo “_hist.root” e tree *opflashana/PerOpHitTree*.

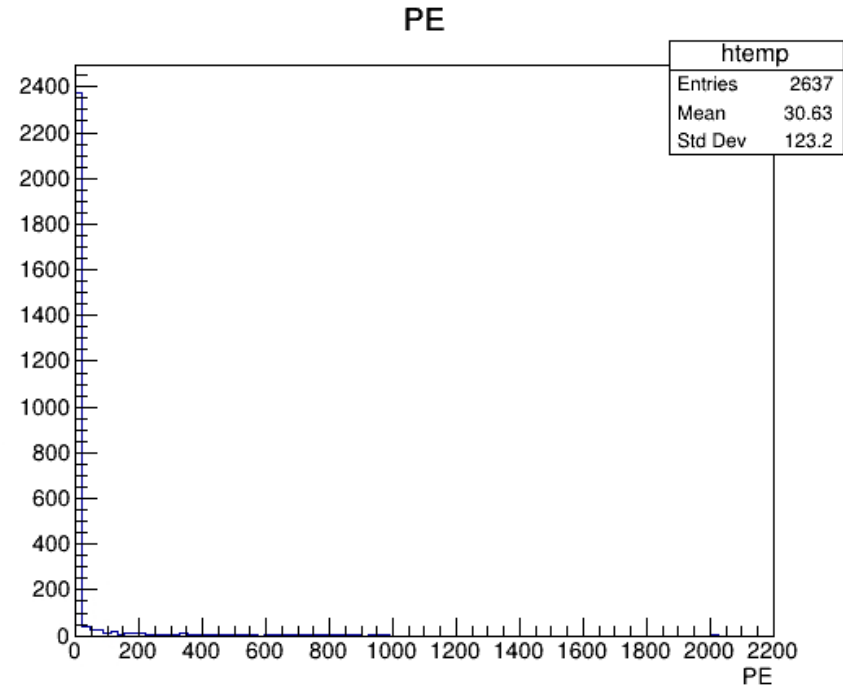
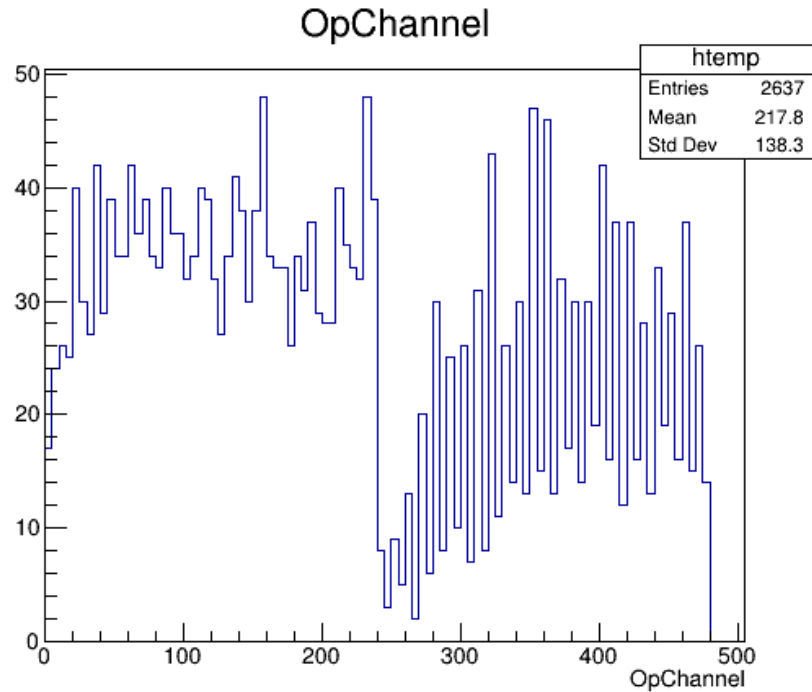
```
root -l sim_muons_G4_DetSim_Reco_hist.root
```

```
new TBrowser
```

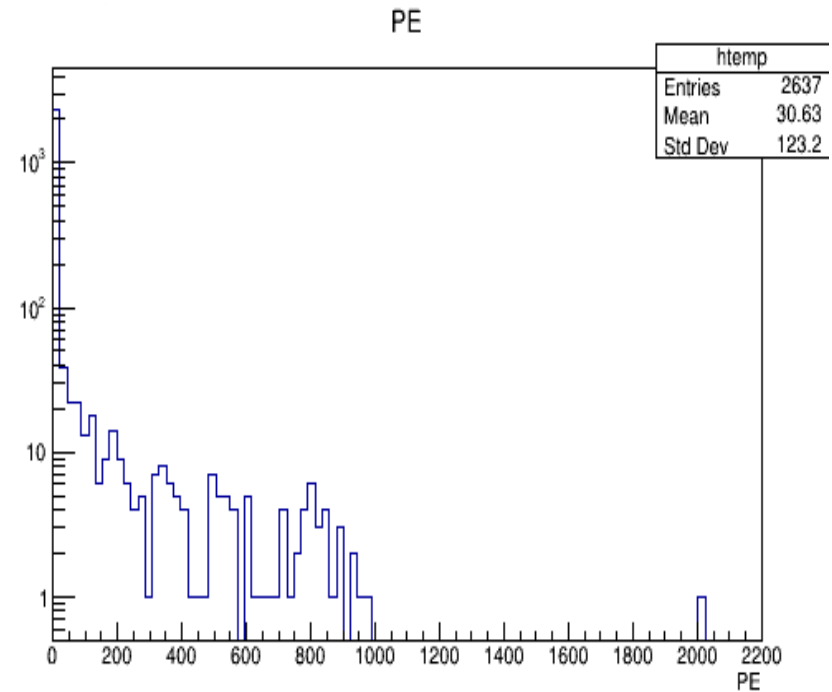
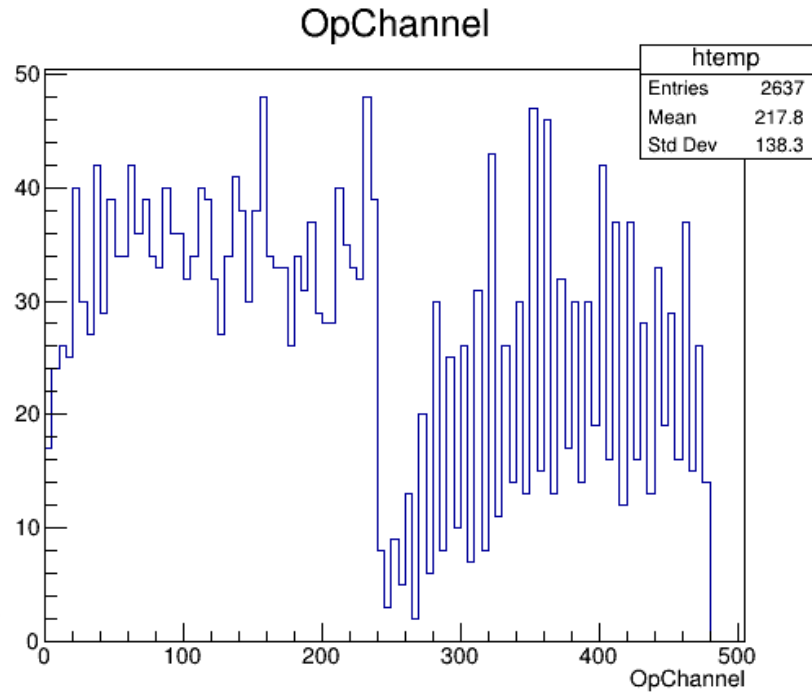
- Visualize as variáveis *OpChannel* e *PE*.
- Produza a distribuição YZ de hits.
 - Utilize a macro CERNWorkshop/Photon/macro/PlotOpHitYZ.cc
 - Compare este mapa com o obtido anteriormente (Monte Carlo).



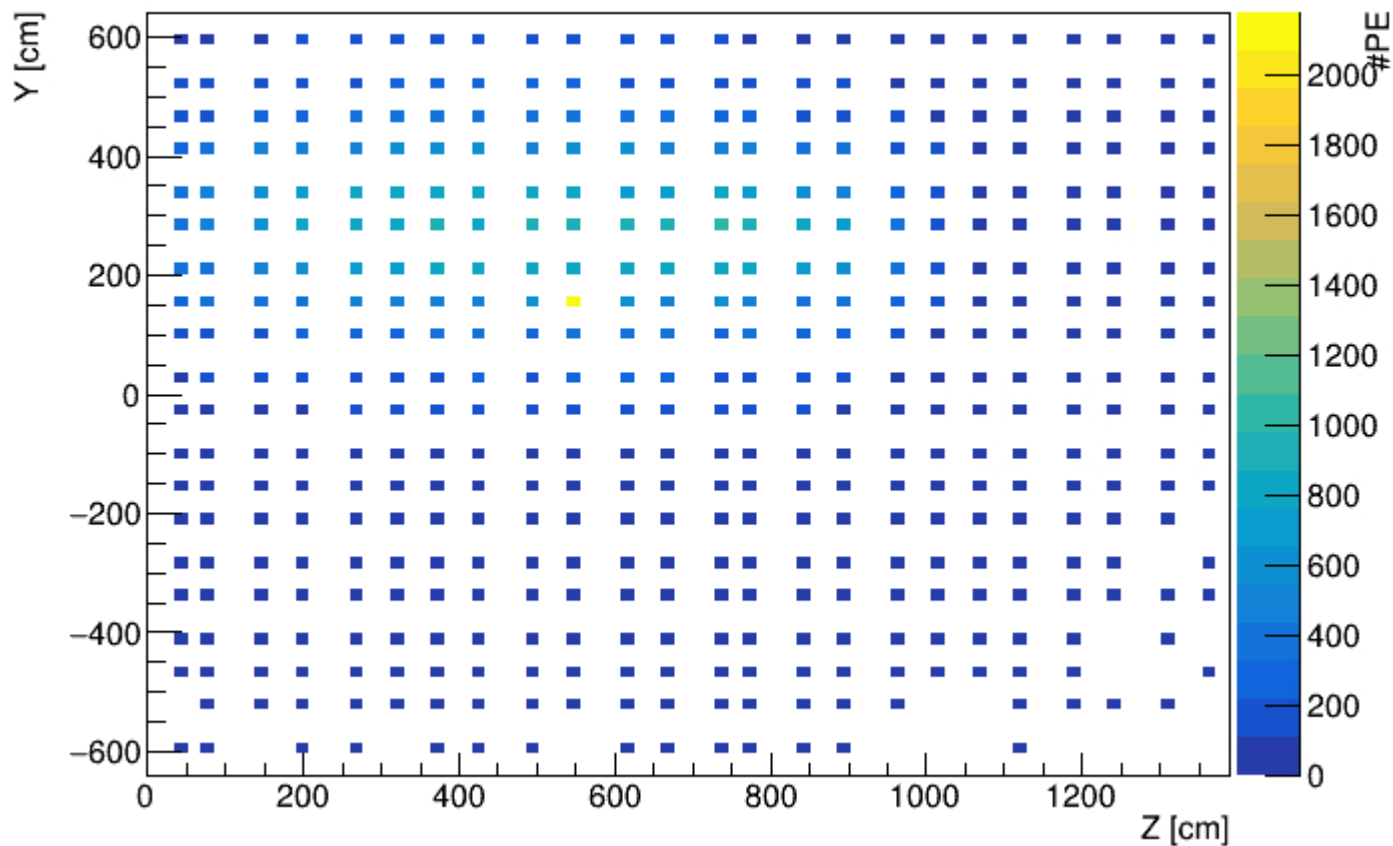
Reconstrução ótica - hits



Reconstrução ótica - hits



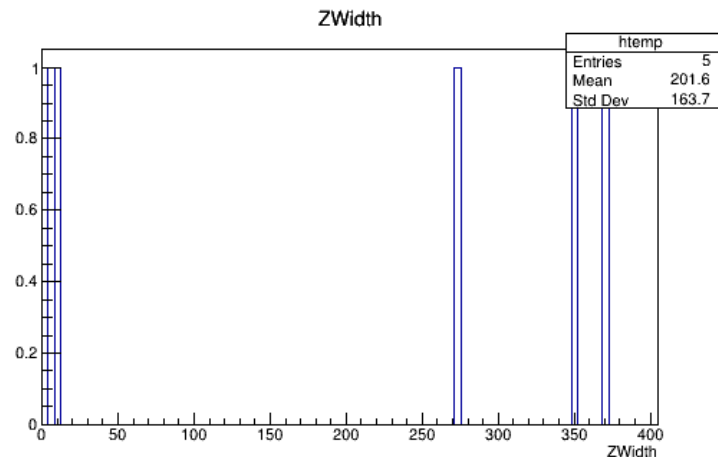
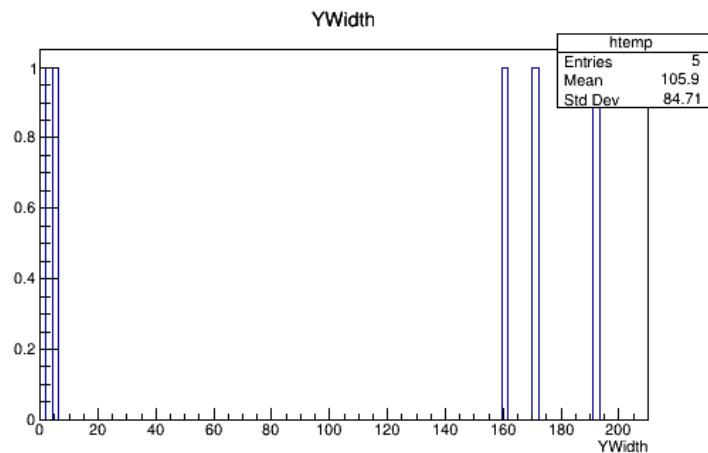
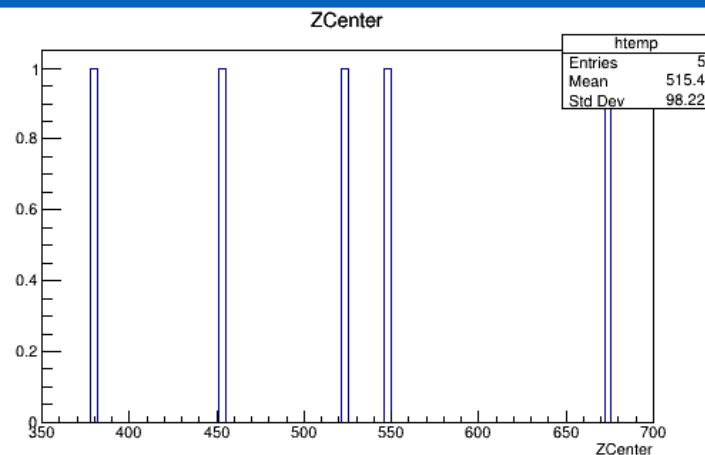
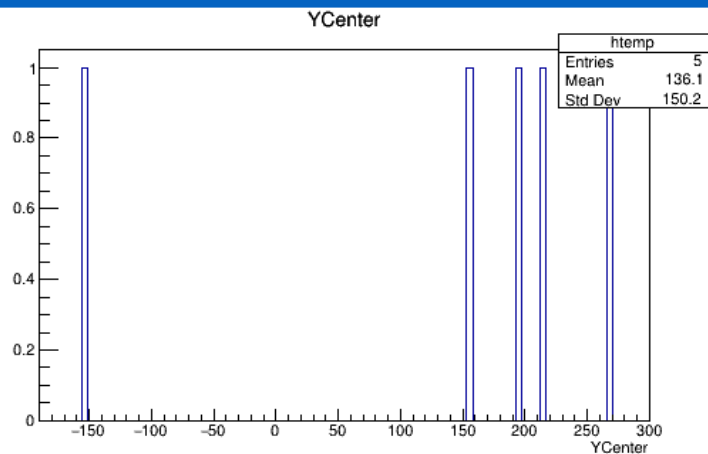
Reconstrução ótica - hits



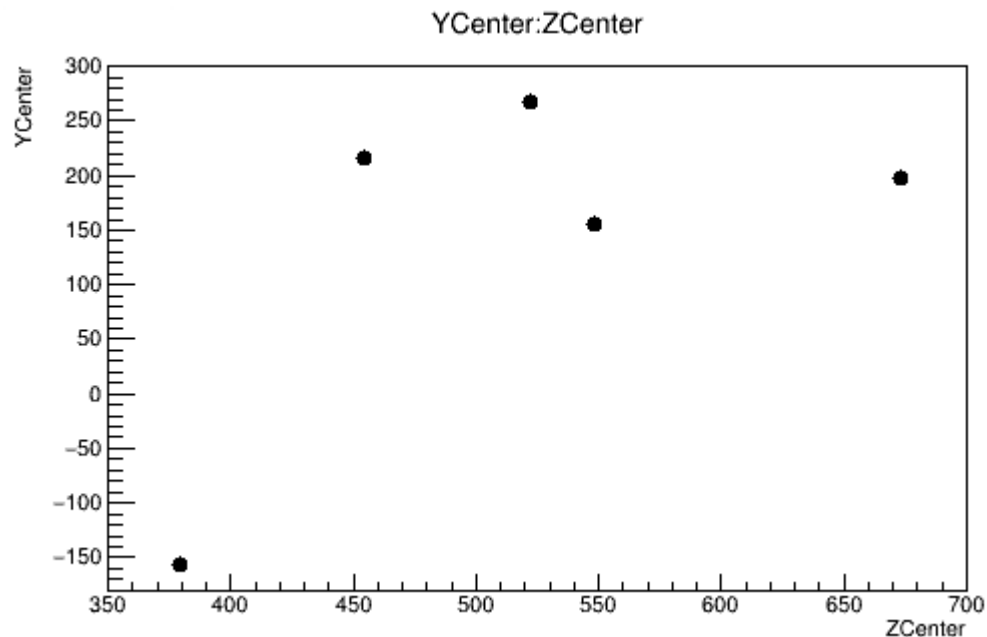
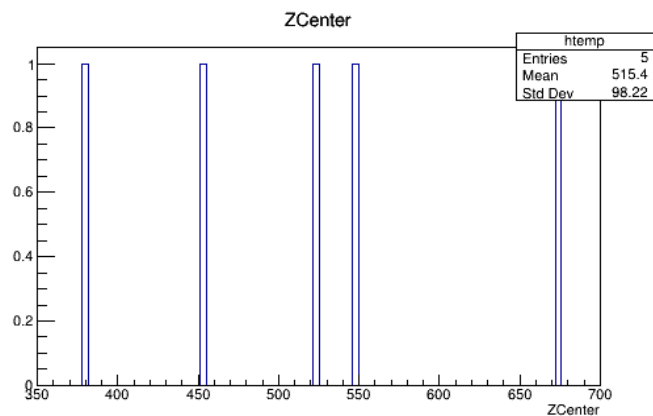
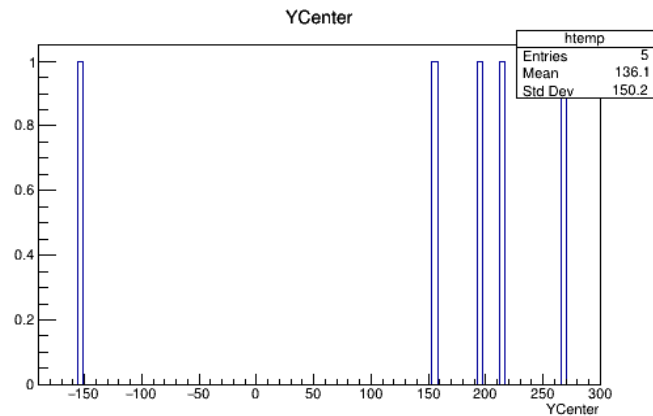
Reconstrução ótica - flashes

- Visualizar OpHits no mesmo arquivo “_hist.root” e tree *opflashana/PerFlashTree*.
 - Verifique as coordenadas centrais Y e Z dos flashes. Esperado?!
 - E as larguras dos flashes? Como se comparam nas duas direções?

Reconstrução ótica - flashes



Reconstrução ótica - flashes



Reconstrução ótica - flashes

- Visualizar OpHits no mesmo arquivo “_hist.root” e tree *opflashana/PerFlashTree*.
 - Verifique as coordenadas centrais Y e Z dos flashes? Esperado?!
 - E as larguras dos flashes? Como se comparam nas duas direções?
- Procure reproduzir os mesmos gráficos com elétrons
 - Precisa executar o LArSoft novamente? Qual estágio?
 - Procure identificar as diferenças entre os casos (c/ muons e elétrons)
 - Produza a distribuição de hits com PlotOpHitYZ.cc.

Parabéns! Você concluiu todo o tutorial.

- Agora é capaz de:
 - Executar jobs de simulações simples de luz VUV
 - Desenvolveu um entendimento a respeito do que ocorre com a luz de cintilação nesses eventos.
 - Além disso, sabe executar uma reconstrução simples de luz
 - E também tem uma intuição do que deve se esperar a respeito dos objetos produzidos (OpHit e OpFlashes)
- Se ainda tiver tempo e deseja explorar mais as possibilidades, aproveite para variar parâmetros nos arquivos fhicl e executar jobs novamente. Aproveite!