Introducción a la programación funcional en C++

`using std::cpp 2014`

Joaquín Mª López Muñoz <joaquin@tid.es>

Madrid, octubre 2014

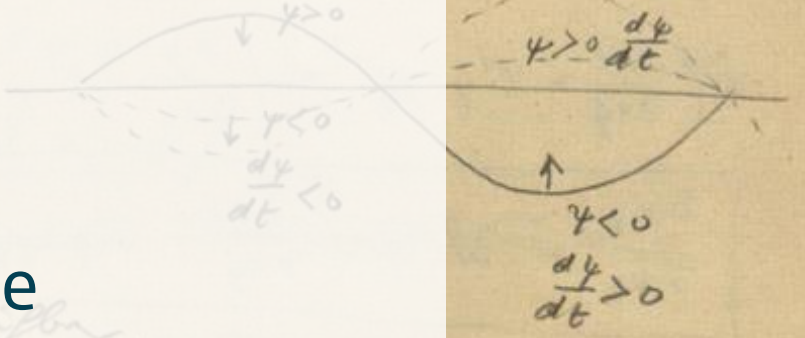
Telefónica

Todo empezó aquí

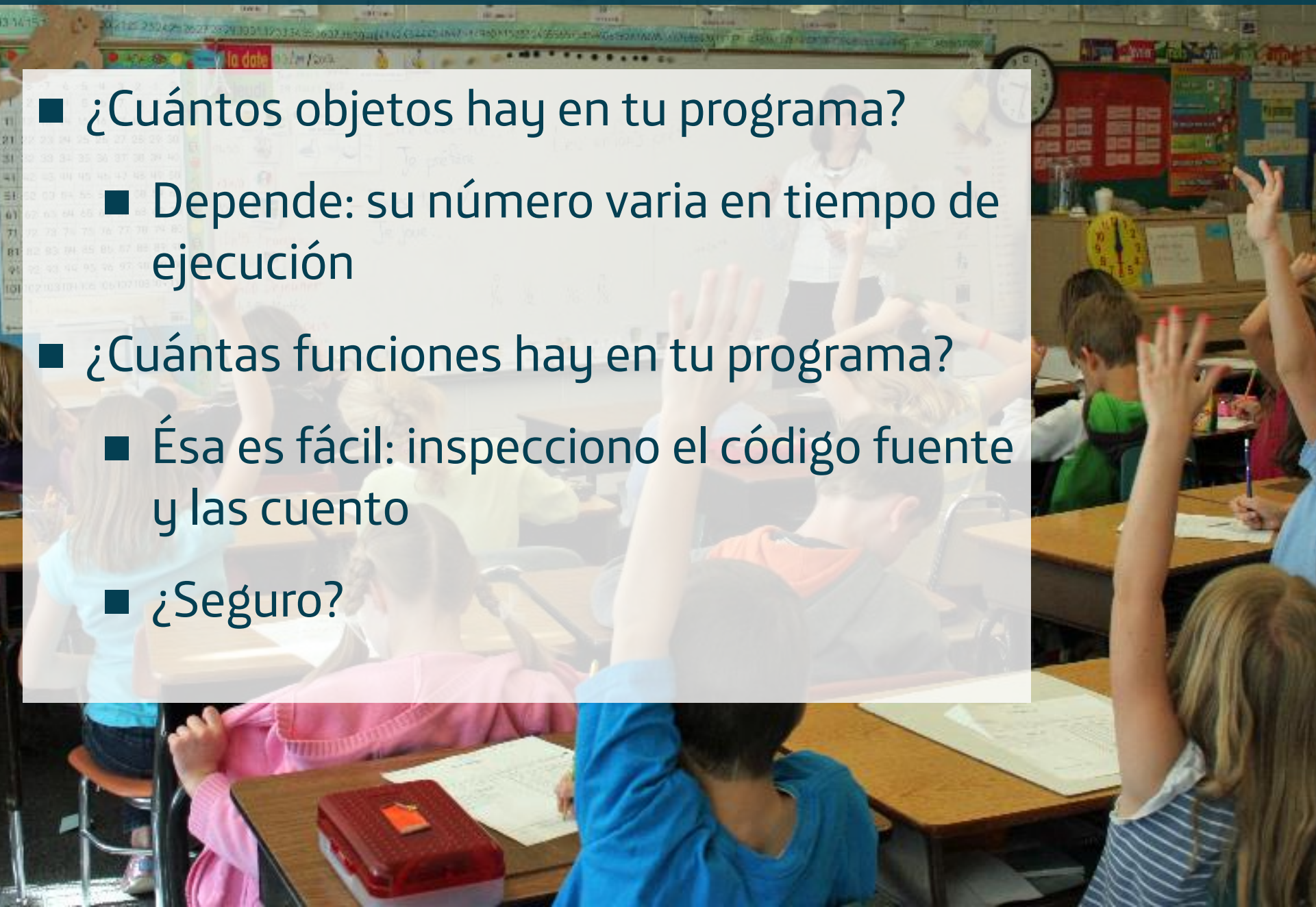
O aquí, según se mire

¿Qué es una función?

- Una curva
- Una expresión analítica
- Una variable física
- Una relación entre números
- Un subconjunto $f \subseteq X \times Y$ tal que $(x,y) \in f, (x,y') \in f \rightarrow y = y'$
- Un procedimiento para obtener un resultado unívocamente a partir de unos argumentos



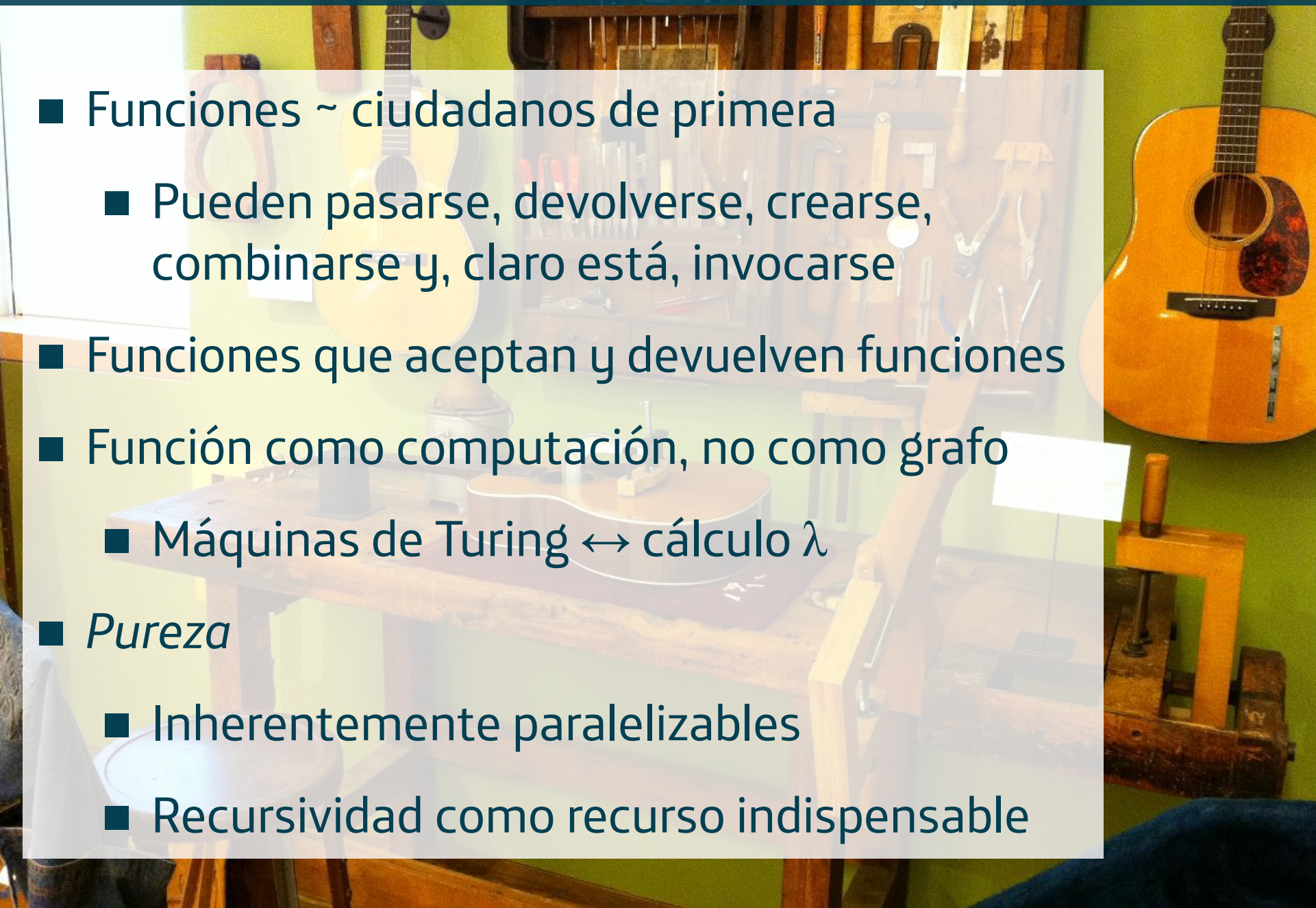
Dos preguntas simples



- ¿Cuántos objetos hay en tu programa?
  - Depende: su número varia en tiempo de ejecución
- ¿Cuántas funciones hay en tu programa?
  - Ésa es fácil: inspecciono el código fuente y las cuento
  - ¿Seguro?

El paradigma de la programación funcional

El paradigma de la programación funcional



- Funciones ~ ciudadanos de primera
  - Pueden pasarse, devolverse, crearse, combinarse y, claro está, invocarse
- Funciones que aceptan y devuelven funciones
- Función como computación, no como grafo
  - Máquinas de Turing $\leftrightarrow$ cálculo λ
- *Pureza*
  - Inherentemente paralelizables
  - Recursividad como recurso indispensable

Funciones de orden superior

- Funciones que aceptan y/o devuelven funciones
- Ejemplos en la vida "real"
  - Integral definida:

    $$I(f, a, b) = \int_a^b f(x)dx$$

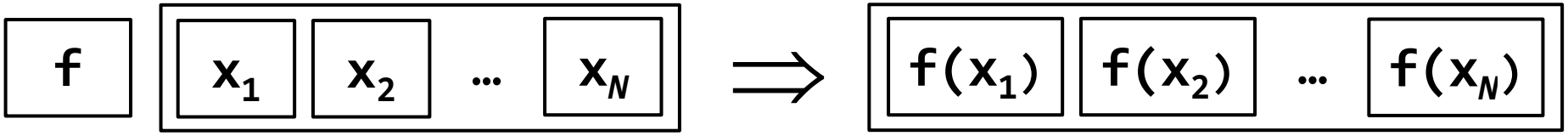
  - Operadores $\frac{d}{dx}$ y $\int dx$
  - Composición de funciones:

    $$(g \circ f)(x) = g(f(x))$$

Funciones que aceptan funciones

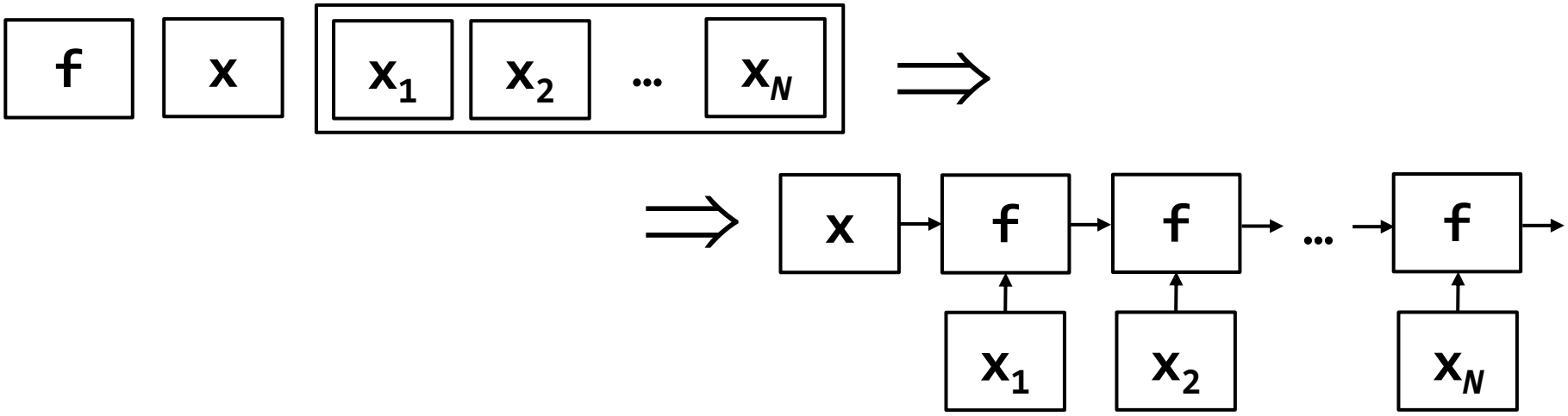
map

- map f list

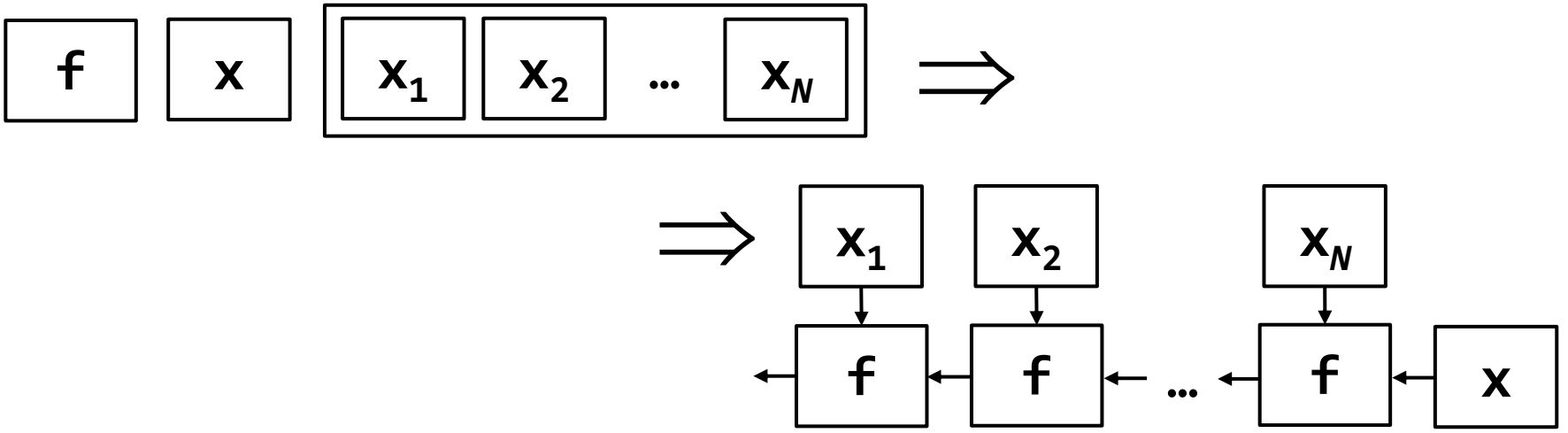


fold

- foldl f x list

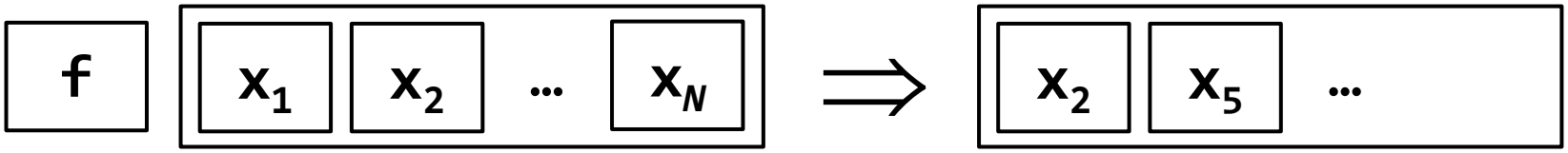


- foldr f x list



filter

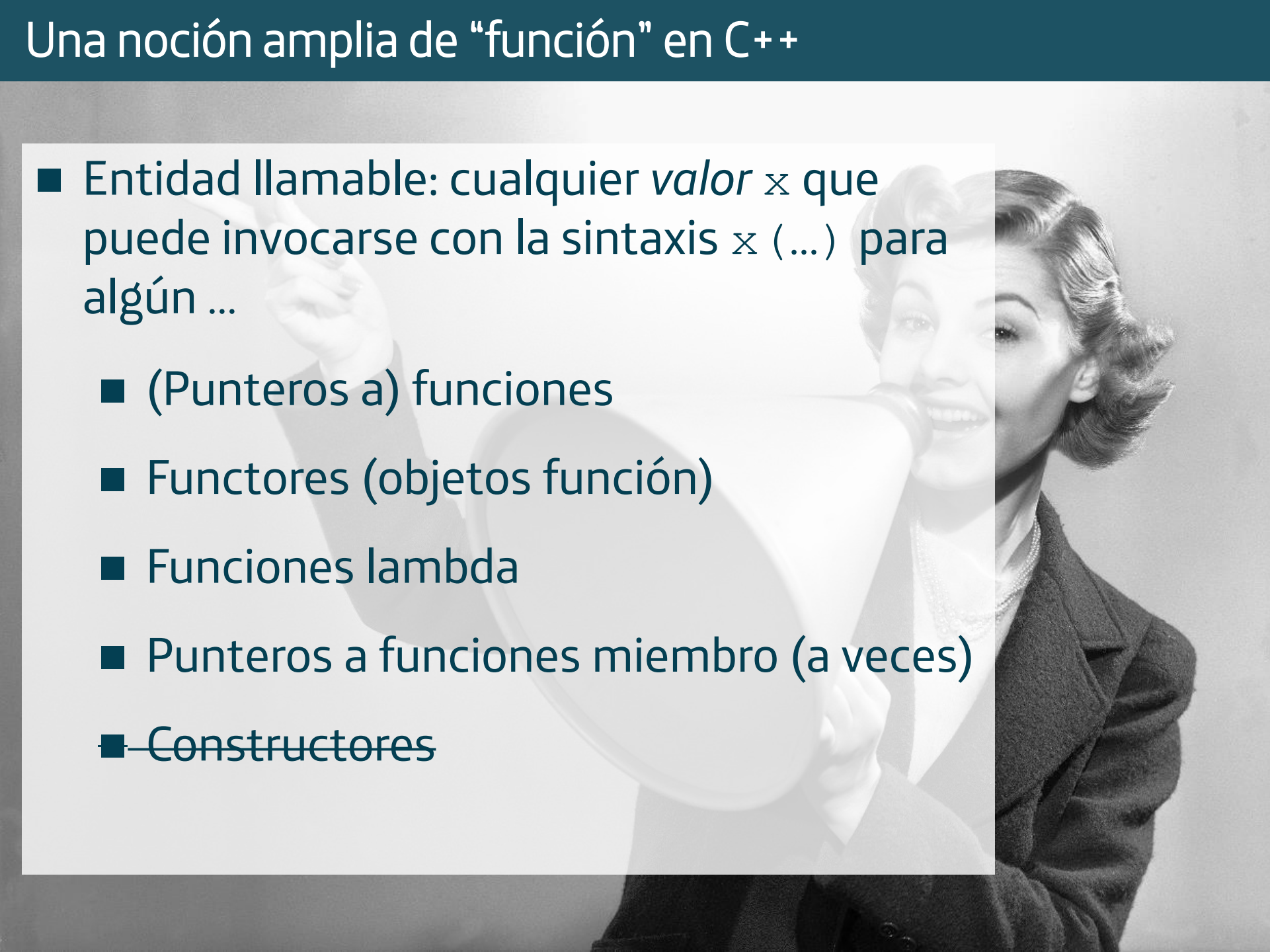
- filter f list



- ¿Equivalentes en C++?
  - ¿Qué tipo de funciones aceptan estos algoritmos?

Una noción amplia de “función” en C++

- Entidad llamable: cualquier *valor* `x` que puede invocarse con la sintaxis `x(...)` para algún ...
  - (Punteros a) funciones
  - Functores (objetos función)
  - Funciones lambda
  - Punteros a funciones miembro (a veces)
  - ~~Constructores~~



Mecanismos de generación de funciones en C++

Mecanismos de generación de funciones en C++

- `std::bind`
- Funciones lambda
- `std::function`

std::bind

- `bind` transforma una entidad llamable de *n* argumentos en una entidad llamable de *m* argumentos con *n*–*m* parámetros fijos y el resto potencialmente reordenados
- Matemáticas: aplicación parcial de funciones

```
void f(const std::string& s0,const std::string& s1,const std::string& s2){
  std::cout<<"From "<<s0<<" to "<<s1<<" through "<<s2<<"\n";
}

using namespace std::placeholders;

int main(){
  auto f1=std::bind(f,"New York",_1,_2); // what's the return type?
  auto f2=std::bind(f,"Moscow","Beijing",_1);
  auto f3=std::bind(f,_2,_1,_3);

  f1("Los Angeles","Denver");
  f2("Ulan Bator");
  f3("Madrid","Paris","Barcelona");
}
```

- Argumentos por valor: `std::cref`, `std::ref` para aceptar referencias

Un consejo sobre `std::bind`

- No lo uses ☺ excepto en casos muy simples
- Las funciones lambda son más legibles y tienen menos problemas de resolución de nombres

```
auto f=std::bind(std::sin,0); // error: no matching function
```

- Los `binds` anidados tienen un comportamiento peculiar:

```
struct eval{
  template<typename F>
  void operator()(F f,int x)const{std::cout<<"f("<<x<<")="<<f(x)<<"\n";}
};

int foo(int x,int y){return x+y;}

int main()
{
  auto f=std::bind(foo,5,_1);
  auto g=std::bind(eval(),f,_1); // bind(eval(),bind(foo,5,_1),_1)

  eval()(f,2); // "f(2)=7"
  g(2);        // ??
}
```

Funciones lambda

- ¿De donde viene este nombre tan peculiar?
- El cálculo λ lo inventó Alonzo Church durante los años 20-30 (en Princeton) para modelar matemáticamente el concepto de computación
  - ¡La piedra angular de la informática teórica!
  - Lisp no es más que un intérprete de cálculo λ con algunos añadidos prácticos
- ¿Por qué usó Church la letra "λ"?

Funciones lambda

- ¿Cómo se llama la función que acepta x y devuelve $\sin x$?
  - Obvio: se llama $\sin$
- ¿Y la que acepta x y devuelve $(\sin x)^2$?
  - ¡$(\sin x)^2$ no es un nombre sino una expresión!
- Podemos inventárnoslo (tedioso): $\mathrm{squaredsin}$
- O convertir la expresión en un nombre: $\lambda x.\,(\sin x)^2$
- λx es un constructo sintáctico para indicar que x es un parámetro formal de la expresión siguiente, *no* el valor x
- En C++: las funciones lambda son funciones sin nombre creadas en el punto de definición

Funciones lambda en C++

- Ordena un vector de `int`s:

```
std::sort(v.begin(),v.end());
```

- Ordénalo según el *valor absoluto* de sus elementos:

```
bool abscompare(int x,int y) // defined at global scope
{
  return abs(x)<abs(y);
}

...

std::sort(v.begin(),v.end(),abscompare);
```

- Esto es un rollo: tenemos que definir y *nombrar* una función *lejos de donde la usamos* para usarla *sólo una vez* en el programa
  - Vamos a hacerlo mejor

Funciones lambda en C++

```
std::sort(
  v.begin(),v.end(),
  [](int a,int b){return abs(a)<abs(b);}
);
```

- La especificación de una función lambda se compone de:

$$[\text{closures}_{opt}]\ (\text{params})_{opt}\ \text{->}\ \text{ret}_{opt}\ \{\text{body}\}$$

  - Capturas (closures) entre corchetes []
  - Parámetros (si los hay) entre paréntesis ()
  - El tipo de retorno precedido por -> (se puede omitir casi siempre)
  - El cuerpo de la función entre corchetes {}
- Es más simple de lo que parece a primera vista

Funciones lambda en C++

- Las capturas de una función lambda son las variables del entorno externo usadas en el cuerpo

```
int off;
[off](int x,int y){return x+y+off;} // off captured by value

int acc;
[&acc](int x){acc+=x*x;} // acc captured by reference

[&acc,off](int x){acc+=(x+off)*(x+off);} // combined
```

- `[]` No se captura nada
- `[&]` Todas las variables mencionadas se capturan por referencia
- `[=]` Todas las variables mencionadas se capturan por valor (copiadas)
- `[this]` Acceso a los miembros de un objeto
- `[x=y]` Captura con renombrado (C++14)

Funciones lambda en C++

- El tipo de retorno, si es necesario especificarlo, se indica con –> justo antes del cuerpo de la función

```
[](int x,double y) -> double
{
  if(x<y)return x;
  return y;
}
```

- En general, el compilador debe poder deducir el tipo de retorno sin nuestra ayuda

Funciones lambda en C++

```
find_if(v.begin(),v.end(),[=](int i){return i>x && i<y;});

for_each(v.begin(),v.end(),[&](int n){acc+=n*n;});

remove_if(v.begin(),v.end(),[=](int n){return x<=n && n<y;});

for_each(v.begin(),v.end(),[](int& i){i*=2;});

class scale
{
  int _scale;
  ...
  void apply_scale(const vector<int>& v)const
  {
    for_each(v.begin(),v.end(),
      [this](int n){cout<<n*_scale<<endl;});
  }
};

remove_if(v.begin(),v.end(),[min=x,max=2*x](int n){return min<=n && n<max;});
```

Funciones lambda en C++

- A partir de C++14:

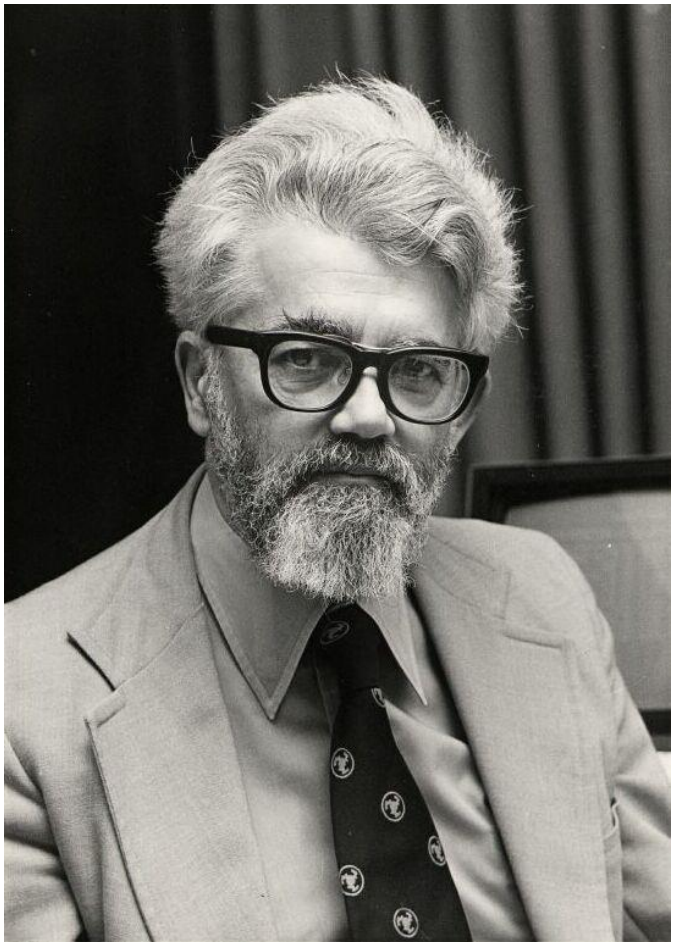
```
template<typename Container>
void abs_sort(Container& c){
  using value_type=Container::value_type;
  std::sort(
    c.begin(),c.end(),
    [](const value_type& x,const value_type& y)
    {return abs(x)<abs(y);});
}

template<typename Container>
void abs_sort(Container& c){
  std::sort(
    c.begin(),c.end(),
    [](const auto& x,const auto& y){return abs(x)<abs(y);});
}
```

- Función lambda genérica → compile-time duck typing
- No sólo una sintaxis más concisa
  - Visitor pattern

Funciones lambda en C++

- Un mecanismo extremadamente flexible para la generación de funciones en tiempo de ejecución
  - Mucho más que una conveniencia para usar los algoritmos de la STL
  - No infravalores el azúcar sintáctico: Leibniz vs. Newton
- Función como contexto de ejecución
- Closure/object equivalence
- Funciones lambda de orden superior: lambdas dentro de lambdas
  - Veremos ejemplos de esto



std::function

```
int foo(int x){return 2*x;}

auto bar=[](int x){return -x;};

struct baz{
  int operator()(int x)const{return x%2;}
};

int main()
{
  std::vector<...> v={foo,bar,baz()};
  for(const auto& f:v)std::cout<<f(5)<<" ";
}
```

- `function` aloja cualquier tipo de entidad llamable:

```
std::vector<std::function<int(int)>> v={foo,bar,baz()};
```

- Una suerte de puntero a función generalizado
- Programación funcional abstracta
  - Type erasure (run-time duck typing)

std::function

- Signatura de una función

function<return_type ($param_1$,...,$param_n$)>

function<auto ($param_1$,...,$param_n$) -> return_type>

- Signatura ~ interfaz abstracta

```
int f1(const std::string& s){return std::atoi(s.c_str());}
int f2(const std::string& s1,const std::string& s2){return f1(s1+s2);}

std::function<int (const std::string&)> f=f1;
std::cout<<f("123")<<std::endl;  // -> 123

f=std::bind(f2,_1,"000");
std::cout<<f("123")<<std::endl;  // -> 123000

f=&std::string::size;            // wtf?
std::cout<<f("123")<<std::endl;  // -> 3
```

- Signatura compatible → conversión automática

Casos de estudio

Caso 1: cálculo diferencial

- Dada $f\colon \mathbb{R} \to \mathbb{R}$, construir $f'\colon \mathbb{R} \to \mathbb{R}$ como una entidad llamable
- Esto es, implementar el operador diferencial

$$\frac{d}{dx} : (\mathbb{R} \to \mathbb{R}) \to (\mathbb{R} \to \mathbb{R})$$
$$f \to f'$$

- Recordatorio:

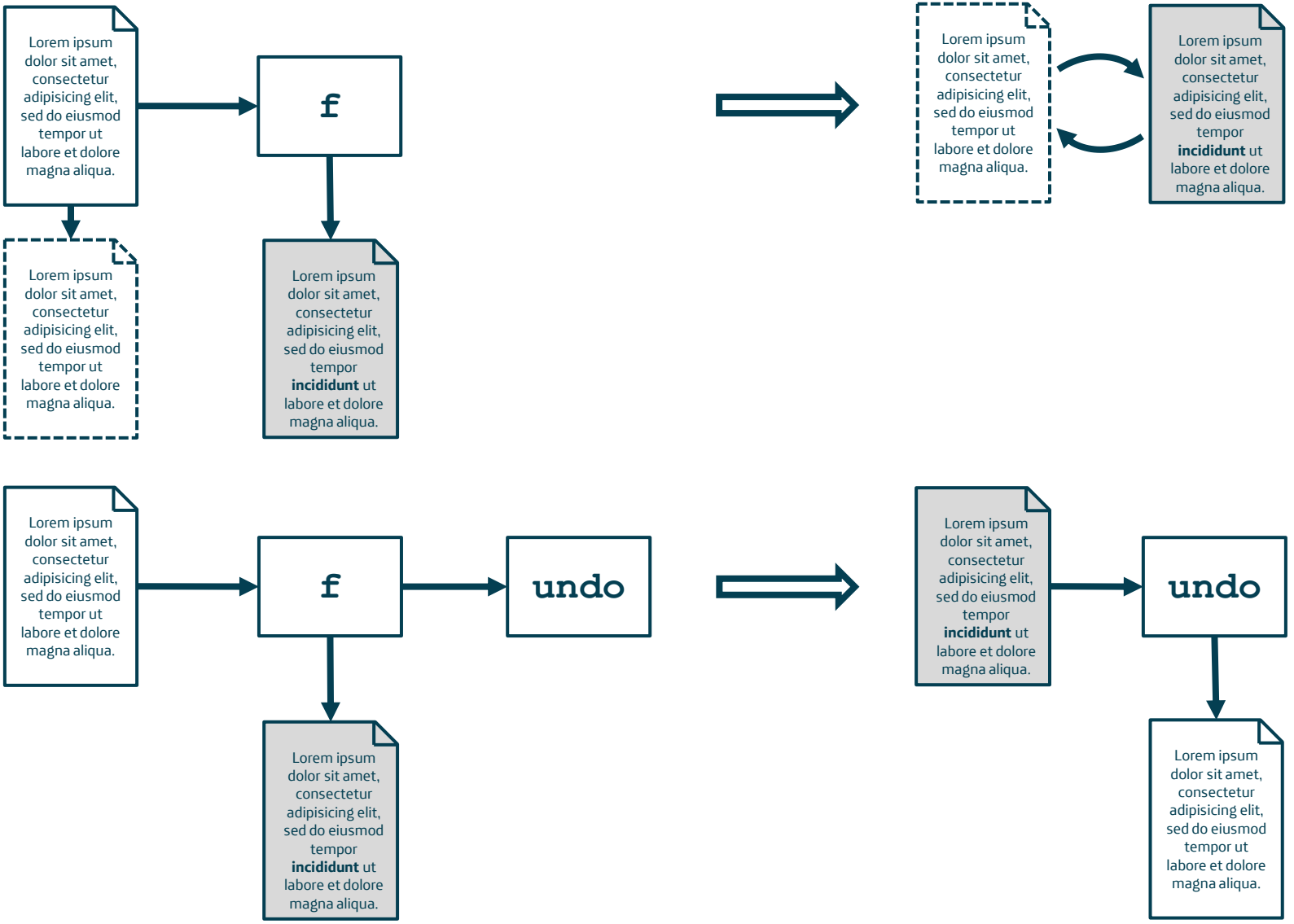
$$f'(x) = \lim_{h \to 0} \frac{f(x+h) - f(x-h)}{2h}$$

Caso 2: reversión de comandos

- Implementar un framework para añadir la capacidad de deshacer comandos a un procesador de textos
  - Requisito 1: eficiente
  - Requisito 2: extensible mediante plug-ins

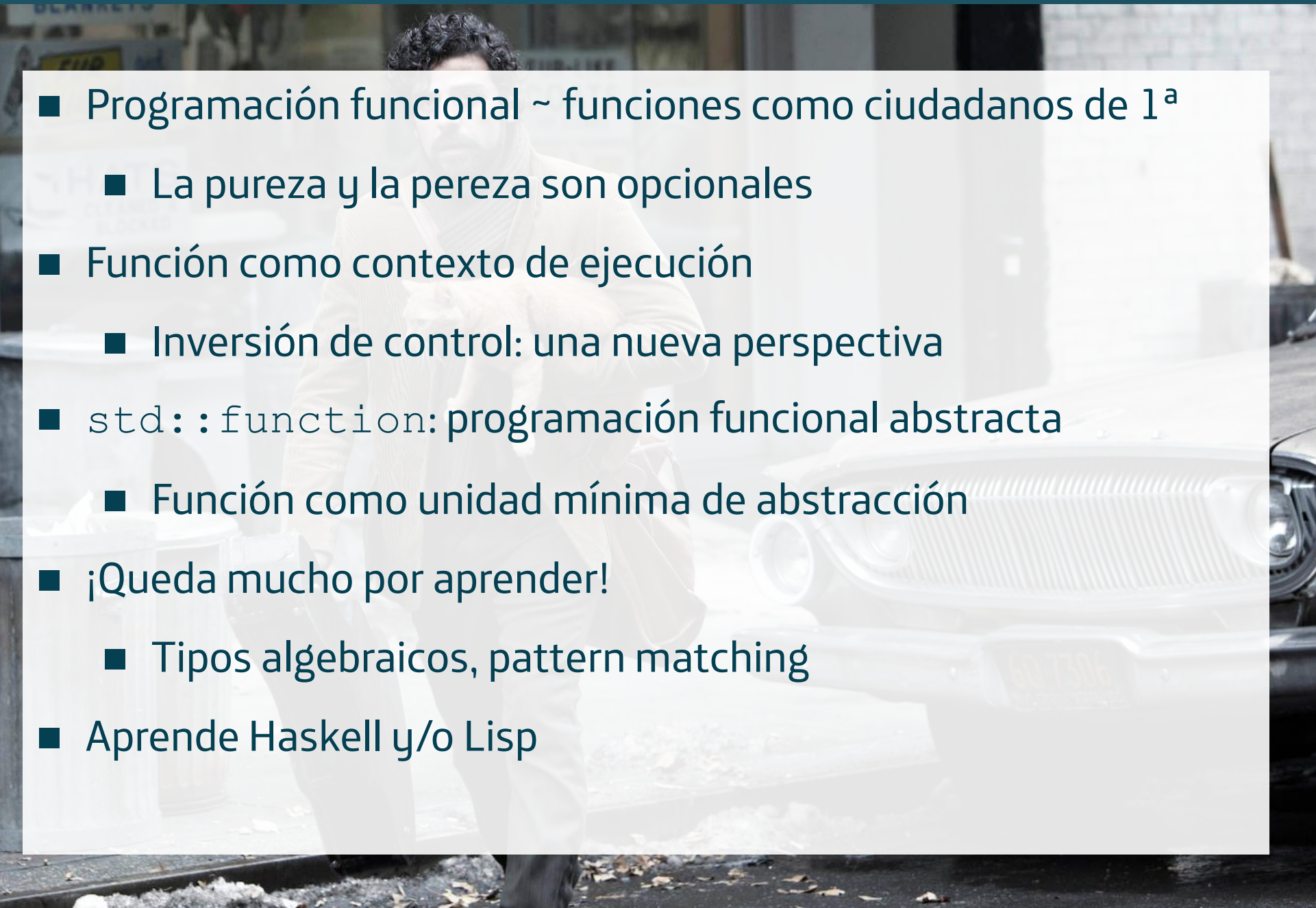
```
class document
{
public:
  typedef vector<string> data;
  bool undo();
  //...
private:
  data dat;
};
//...
append(doc,“martes");
insert(doc,3,"ustedes");
doc.undo();
doc.undo();
```

Caso 2: reversión de comandos



Unas notas antes de partir

Unas notas antes de partir



- Programación funcional ~ funciones como ciudadanos de 1ª
  - La pureza y la pereza son opcionales
- Función como contexto de ejecución
  - Inversión de control: una nueva perspectiva
- `std::function`: programación funcional abstracta
  - Función como unidad mínima de abstracción
- ¡Queda mucho por aprender!
  - Tipos algebraicos, pattern matching
- Aprende Haskell y/o Lisp

Introducción a la programación funcional en C++

Gracias

github.com/joaquintides/usingstdcpp2014

`using std::cpp 2014`
Joaquín Mª López Muñoz <joaquin@tid.es>
Madrid, octubre 2014

Telefónica