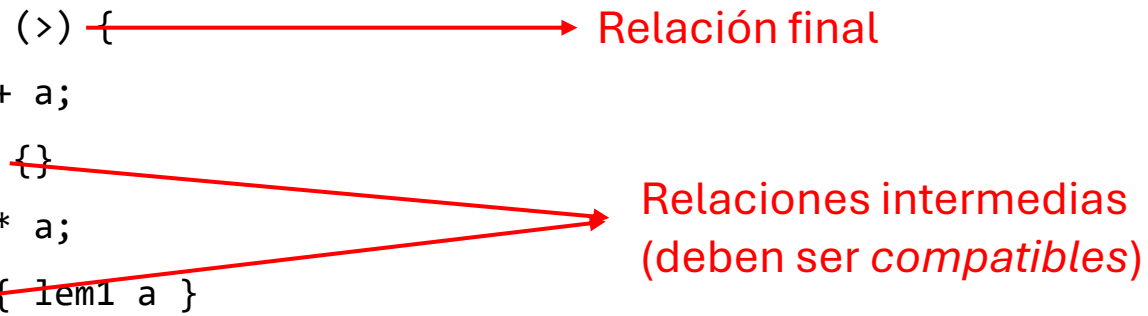
Introducción a la Verificación Formal

Clase 11 – 04/12/2025

Pruebas calculacionales

```
let lem1 (a : pos) : Lemma (2 * a > a) = ()
let calc0 (a : pos) : Lemma (a + a > a) =
  calc (>) {
    a + a;
    == {}
    2 * a;
    > { lem1 a }
    a;
  }
```



Pruebas calculacionales, elaboradas

```
let lem1 (a : pos) : Lemma (2 * a > a) = ()
let calc0_desugared (a : pos) : Lemma (a + a > a) =
  calc_finish (fun x y -> (>) x y <: Type) (fun () ->
    calc_step (fun x y -> (>) x y <: Type) a (fun () ->
      calc_step (fun x y -> (==) x y <: Type) (2 * a) (fun () ->
        calc_init (a + a)
      ) (fun () -> ())
    ) (fun () -> lem1 a)
  )
```

- Cada paso se chequea *independientemente*: la prueba de uno (o **`admit()`**) no puede afectar al otro.
- La implementación del módulo Calc está verificada, no puede introducir bugs
  - Agda tiene algo similar

Pruebas calculacionales

(demo)

Clases de Tipo

- Polimorfismo *ad-hoc*
  - En contraste con polimorfismo *paramétrico* (Sistema F)
  - Esencialmente sobrecarga de operadores, pero extensible y bien definido
  - Wadler, Blott – How to make ad-hoc polymorphism less ad-hoc
- Extensible
  - Agregar tipos

    ```
    instance Eq MyType where { (==) = … }
    ```
  - Agregar operadores:

    ```
    class Monoid a where { mempty :: a; … }
    ```

Clases de Tipo: la alternativa

```
let rec eq_nat (x y : nat) : bool =
  match x, y with
  | Z, Z -> true
  | S x, S y -> eq_nat x y
  | _ -> false

let rec eq_list (#t : Type)
  (eq_t : t -> t -> bool) (xs ys : list t) : bool =
  match xs, ys with
  | [], [] -> true
  | x::xs, y::ys -> eq_t x y && eq_list eq_t xs ys
  | _ -> false

let test = (eq_list eq_nat) [Z] []
```

- Sin clases de tipo, tenemos que usar argumentos auxiliares para pasar las funciones relevantes
  - Definir funciones base (`eq_nat`)
  - Definir combinadores (`eq_list`)
  - Pasar funciones para los tipos asumidos (`eq_t`)
  - Llamar a la función específica de cada tipo (`eq_list eq_nat`)

Clases de Tipo: elaboración

```
let rec eq_nat (x y : nat) : bool =
  match x, y with
  | Z, Z -> true
  | S x, S y -> eq_nat x y
  | _ -> false
```

instance _ : eq nat = { … }

```
let rec eq_list (#t : Type)
  (eq_t : t -> t -> bool) (xs ys : list t) : bool =
  match xs, ys with
  | [], [] -> true
  | x::xs, y::ys -> eq_t x y && eq_list eq_t xs ys
  | _ -> false
```

instance eq_list #t (_ : eq t) :
  eq (list t) = { … }

```
let test = (eq_list eq_nat) [Z] []
```

resuelto automáticamente

Clases de Tipo: canonicidad/coherencia

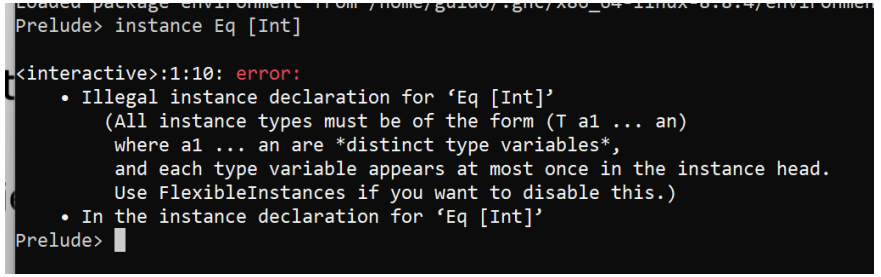
- Una de las propiedades importantes (al menos en Haskell) es la *coherencia:*
  - Las decisions del *type-checker* no tienen que influir en la semántica del programa
  - Si declaramos `instance Eq [Int]` ¿coincide con la composición de estas?

    ```
    instance Eq a => Eq [a]
    instance Eq Int
    ```

  - Por la misma razón, no se permiten instancias de la forma

    ```
    instance Ord a => Eq a
    ```

  - F* **no** tiene ninguna garantía de canonicidad/coherencia
    - En general los lenguajes con tipos dep. no lo hacen



Improving Typeclass Relations by Being Open

Guido Martínez
CIFASIS-CONICET
Rosario, Argentina
martinez@cifasis-conicet.gov.ar

Mauro Jaskelioff
CIFASIS-CONICET
Rosario, Argentina
jaskelioff@cifasis-conicet.gov.ar

Guido De Luca
Universidad Nacional de Rosario
Rosario, Argentina
gdeluca@dcc.fceia.unr.edu.ar

Clases de Tipo: F*

(demo)

Tareas

- Ya terminamos con las clases normales.
- La semana que viene posiblemente sea clase invitada + consultas. O solo consulta.
- Pongansé en contacto por los proyectos.