

Tesis de Licenciatura

λ Page

Un bloc de notas para desarrolladores Haskell

Departamento de Computación
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires



Alumno

Fernando Benavides (LU 470/01)

greenmellon@gmail.com

Directores

Dr. Diego Garbervetsky

Lic. Daniel Gorín

Abstract

El presente documento describe una herramienta para desarrolladores *Haskell* que pretende facilitar la tarea de “debuggear”, analizar y entender código, llamada **λ Page**. Con ella el usuario puede manipular “páginas” de texto libre que contengan expresiones *Haskell*, intentar interpretar éstas expresiones independientemente y analizar los resultados obtenidos.

Índice

1. Estructura del Informe	4
2. Introducción	5
2.1. Motivación	5
2.2. Trabajos Relacionados	6
2.3. <i>λPage</i>	7
3. Descubriendo <i>λPage</i>	8
3.1. Instalación	8
3.1.1. Windows	8
3.1.2. Linux	8
3.2. Caso de Uso: Aprobando PLP con <i>λPage</i>	9
3.2.1. Pasos previos	9
3.2.2. Definición de Tipos y Currificación	11
3.2.3. Listas por Comprensión	12
3.2.4. Alto Orden y Esquemas de Recursión	16
3.2.5. Conclusiones	25
3.3. Caso de Uso: Ganando al 4 en Línea con <i>λPage</i>	26
3.3.1. Introducción	26
3.3.2. Primeros Pasos	26
3.3.3. Entendiendo el Proyecto	29
3.3.4. Utilizando <i>λPage</i>	31
3.3.5. Creando al <i>Jugador Computadora</i>	36
3.3.6. Conclusiones	42
4. Desarrollo - ¿Cómo se hizo <i>λPage</i>?	43

4.1. Arquitectura General	43
4.2. Diseño	47
4.2.1. Concurrencia	47
4.2.2. Bottoms	47
4.2.3. Integración	48
4.3. Implementación	48
4.3.1. eprocess	49
4.3.2. Servers	50
4.3.3. Módulos de <i>λPage</i>	51
4.3.4. UI	53
5. Resultados	53
5.1. Objetivos Alcanzados	53
5.2. Trabajo a Realizar	55
6. Agradecimientos	56

1. Estructura del Informe

El presente informe pretende presentar a **λ Page**, una herramienta para facilitar el trabajo de los desarrolladores *Haskell*. El mismo se encuentra dividido en cuatro secciones.

La primera es una sección en la que describiremos los motivos que nos llevaron a desarrollar esta herramienta, hablaremos también de otras herramientas similares y presentaremos **λ Page** de modo general, mostrando principalmente el lugar que pretendemos que ocupe dentro del mundo *Haskell*.

En la siguiente sección intetaremos mostrar, a través de dos tutoriales, cómo utilizar **λ Page** y daremos a conocer sus virtudes y capacidades. Para comenzar, aprenderemos cómo instalarlo, de modo que el lector pueda, una vez instalado el sistema, seguir los tutoriales paso a paso y realizar sus propias experiencias.

Luego, presentaremos un tutorial destinado al público “académico” que nos mostrará cómo utilizar la herramienta para resolver ejercicios prácticos típicos de varias materias de la facultad. Veremos allí la facilidad de trabajo que brinda **λ Page** al alumno permitiéndole descubrir paso a paso el lenguaje y sus características principales.

El segundo tutorial que presentaremos está apuntado a aquellos desarrolladores que trabajan con proyectos *Haskell* de dimensiones mayores a lo visto en el ámbito académico. La idea de este tutorial es mostrar cómo **λ Page** puede ayudarlos a entender código existente y también a generar y testear nuevo código de manera sencilla y veloz.

Una vez observado **λ Page** en funcionamiento y destacadas sus características principales, observaremos cómo ha sido diseñado y construído. Podremos ver los requerimientos que guiaron su diseño, la arquitectura conceptual que lo subyace y las principales decisiones de diseño e implementación que se han tomado durante su desarrollo.

Finalmente observaremos los resultados obtenidos y los contrastaremos con los objetivos planteados al inicio de este desarrollo. Estableceremos el estado del proyecto en general, cuáles son los siguientes pasos a dar y qué otras tareas pueden llevarse a cabo a partir de ahora.

2. Introducción

2.1. Motivación

Motivation is what gets you started. Habit is what keeps you going

Jim Rohn

Essstamo mo-ti-va-do, nene

El “Bambino” Veira

Actualmente estamos presenciando un importante cambio en el desarrollo de sistemas, gracias al éxito de proyectos como [CouchDB](#) [1], [ejabberd](#) [2] y el chat de [Facebook](#) [33], todos ellos desarrollados utilizando lenguajes del paradigma funcional.

Ejemplos de éstos lenguajes de programación, como [Haskell](#) [9] o [Erlang](#) [3], demuestran ser maduros, confiables y presentan claras ventajas en comparación con los lenguajes tradicionales del paradigma imperativo. Sin embargo, los desarrolladores que deciden realizar el cambio de paradigma se encuentran con el problema de la escasez de ciertas herramientas que les permitan realizar su trabajo más eficientemente. Por el contrario, éstas herramientas abundan en el desarrollo de proyectos utilizando lenguajes orientados a objetos. En particular, nuestro foco de atención se centra sobre aquellas herramientas que permiten realizar *debugging* y *entendimiento* de código a través de “*micro-testing*”¹.

Los desarrolladores Haskell cuentan actualmente con dos herramientas de este tipo:

GHCi [4] La consola que provee [GHC](#) [7] permite a los desarrolladores evaluar expresiones, verificar su tipo o su clase. Cuenta también con un [mecanismo de debugging](#) [5] integrado que permite realizar la evaluación de expresiones paso a paso. Pese a ser la herramienta más utilizada por los desarrolladores, *GHCi* tiene varias limitaciones. En particular:

- No permite editar más de una expresión a la vez
- No permite intercalar expresiones con definiciones
- Si bien permite utilizar definiciones, éstas se pierden al recargar módulos
- No es sencillo utilizar en una sesión las definiciones y/o expresiones creadas en sesiones anteriores

Hat [12] Un herramienta para realizar seguimiento a nivel de código fuente. A través de la generación de trazas de ejecución, *Hat* ayuda a localizar errores en los programas y es útil para entender su funcionamiento. Sin embargo, por estar basado en la generación de trazas, requiere la compilación y ejecución de un programa para poder utilizarlo y esto no siempre es cómodo para el desarrollador que puede querer simplemente analizar una expresión particular que incluso quizás no compile aún. Además, su mantenimiento activo parece haber cesado hace más de un año y en su página se observa una importante lista de problemas conocidos y características deseadas.

¹Entiéndase *micro-testing* como la tarea de realizar tests eventuales para entender o evaluar algún aspecto de un programa

2.2. Trabajos Relacionados

If I have seen further it is only by standing on
the shoulders of giants

Isaac Newton

I like work; it fascinates me. I can sit and look
at it for hours

Jerome Klapka

En el mundo de la programación orientada a objetos podemos encontrar herramientas como [Java Scrapbook Pages](#) [14] para [Java](#) [20] y [Workspace](#) [17,30] para [SmallTalk](#) [16]. Utilizando estos aplicativos, los desarrolladores pueden introducir pequeñas porciones de código, ejecutarlas y luego inspeccionar y analizar los resultados obtenidos. Un concepto compartido por ambas herramientas es el de presentar “páginas” de texto en las que varias expresiones pueden intercalarse con partes de texto libre y permitir al desarrollador intentar evaluar sólo una porción de todo lo escrito. Estas páginas pueden ser guardadas y luego recuperadas de modo de poder analizar nuevamente las mismas expresiones. Además permiten crear objetos (lo que para los lenguajes funcionales equivaldría a definir expresiones) locales a la página en uso y utilizarlos en ella.

Dentro del paradigma funcional, con un enfoque similar, aunque un poco más orientado a la presentación y visualización de documentos, [Keith Hanna](#) de la Universidad de Kent, ha desarrollado [Vital](#) [28]. Vital es una implementación de un entorno de visualización de documentos para *Haskell*. Pretende presentar *Haskell* de una manera apropiada para usuarios finales en áreas de aplicación como la ingeniería, las matemáticas o las finanzas. Dentro de esta herramienta, los módulos *Haskell* son presentados como documentos en los que pueden visualizarse los valores que en ellos se definen directamente en el lugar en el que aparecen, ya sea de modo textual o gráfico (como “vistas”).

Durante el desarrollo de [\$\lambda\$ Page](#) hemos tenido que enfrentar varios desafíos relacionados principalmente con el desarrollo de interfaces visuales dentro del paradigma funcional. Volcando el conocimiento adquirido durante ese proceso, hemos desarrollado [wxhNotepad](#) [24] que es, ante todo, una prueba de concepto sobre cómo desarrollar editores de texto con *wxHaskell*. Gracias a [Jeremy O'Donoghue](#), *wxhNotepad* está siendo publicado como [un tutorial](#) [31] en sucesivos artículos en su blog

2.3. λ **P**age

Ancorché lo ingegno umano faccia invenzioni varie, rispondendo con vari strumenti a un medesimo fine, mai esso troverà invenzione più bella, né più facile né più breve della natura, perché nelle sue invenzioni nulla manca e nulla è superfluo

Leonardo da Vinci

La programación intensiva y el uso prolongado de Tetris sólo lleva a ver estructuras de orden y secuencias en la verdulería y a querer apilar los autos para formar líneas sólidas

Darío Ruellan

λ Page [23] se presenta como una herramienta similar al Workspace de *Smalltalk*, que permite a los desarrolladores trabajar con documentos de texto libre que incluyan expresiones y definiciones. **λ P**age es capaz de identificar las expresiones y definiciones válidas y permite al desarrollador inspeccionarlas, evaluarlas, conocer su tipo y su clase.

En el espíritu de las herramientas provistas por la comunidad de desarrolladores *Haskell*, **λ P**age se integra con **Cabal** [10] y **Hayoo!** [13] y se encuentra ya disponible en **HackageDB** [8].

λ Page presenta una interfaz simple e intuitiva, desarrollada utilizando **wxHaskell** [18], lo que lo convierte en una aplicación multiplataforma.

Por ser una herramienta desarrollada con *Haskell* para *Haskell*, **λ P**age se diferencia de sus pares del mundo de objetos, al aprovechar conceptos claves como son el tipado estático, que permite detectar errores de tipo velozmente, evitando el costo de evaluar expresiones complejas, y la evaluación perezosa, que permite evaluar expresiones infinitas e ir exhibiendo resultados progresivamente.

A diferencia de *GHCi* que es una herramienta “de consola”, **λ P**age permite visualizar resultados de manera más dinámica, permitiendo que errores intermedios, detectados durante la evaluación de una expresión no impidan continuar con la misma hasta llegar a un resultado más completo.

λ Page se encuentra desarrollado utilizando **eprocess** [22], una librería que facilita el manejo de “threads” en un estilo similar al de los procesos *Erlang*. Gracias al uso de esta librería, **λ P**age puede realizar tareas en paralelo y por lo tanto permitir al usuario continuar editando los documentos en los que está trabajando mientras espera que se evalúe una expresión e incluso cancelar una evaluación conservando la porción del resultado obtenida hasta ese momento. También gracias al uso de **eprocess**, **λ P**age permite detectar cálculos infinitos e informar sobre este hecho al usuario para que ya no siga esperando indefinidamente el resultado de la evaluación solicitada.

3. Descubriendo *λ Page*

3.1. Instalación

As a rule, software systems do not work well until they have been used, and have failed repeatedly, in real applications.

Dave Parnas

The #1 programmer excuse for legitimately slacking off: “My code is compiling”

David Knutz

Para instalar *λ Page* en *OSX* o *Windows*, se proveen instaladores en el sitio web de *λ Page*, pero, como ya se ha dicho, *λ Page* se encuentra en *HackageDB* y por lo tanto el modo oficial de instalarlo es utilizando *Cabal*, con el siguiente comando:

```
$ cabal install hpage
```

Sin embargo, para ello, previamente se deben satisfacer las siguientes dependencias:

wxWidgets 2.8.10+ [19] El framework de desarrollo para interfaces de usuario que utiliza *wxHaskell*. Debe ser instalado con los módulos unicode, cmdline, config, log, stl, richtext y clipboard, al menos y con el módulo odbc desactivado.

Haskell Platform [11] Una distribución de *Haskell* que incluye todo lo necesario para compilar e instalar programas desarrollados en este lenguaje (de particular interés para *λ Page*: GHC y happy).

3.1.1. Windows

Para el correcto funcionamiento de *λ Page* los usuarios de *Windows XP* deben instalar el **C++ 2008 SP1** [15].

3.1.2. Linux

En algunas distribuciones de Linux es conveniente, además de la instalación de *Haskell Platform* instalar las librerías de *Monad Transformers* ejecutando, por ejemplo:

```
$ sudo aptitude install libghc6-mtl-dev libghc6-mtl-doc
```

3.2. Caso de Uso: Aprobando PLP con λ **P**age

Es como un árbol, pero al revés: con la raíz abajo

Eduardo Bonelli, profesor de PLP
How is education supposed to make me feel
smarter? Besides, every time I learn something
new, it pushes some old stuff out of my brain -
remember when I took that home winemaking
course, and I forgot how to drive?

Homer Simpons

Mostraremos a continuación, a través de un ejemplo, cómo utilizar λ **P**age. En este caso, hemos tomado prestada una práctica de la materia *Paradigmas de Lenguajes de Programación* [26]. Exhibiremos entonces, cómo un alumno podría utilizar λ **P**age para resolver algunos de los ejercicios que allí se presentan. Seleccionamos sólo aquellos que a nuestro criterio son los más representativos a la hora de entender cómo λ **P**age ayuda al alumno en su resolución.

3.2.1. Pasos previos

Antes de comenzar a resolver los ejercicios, el alumno ejecuta λ **P**age y clickea en el botón New. El programa presentará una pantalla similar a la de la figura 1.

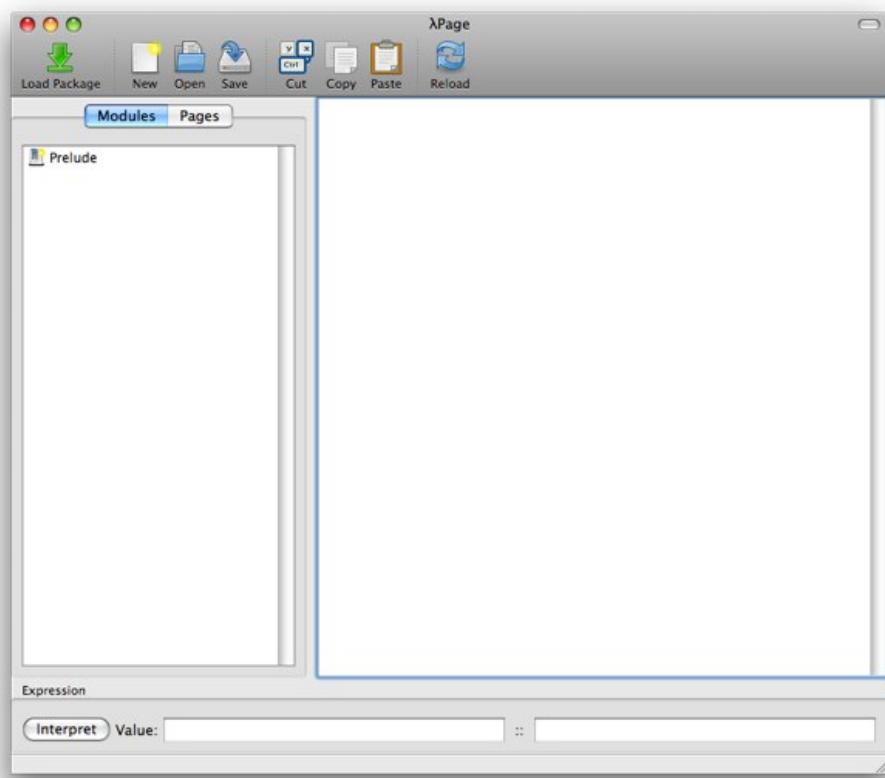


Figura 1: Tutorial 1 - Previo a comenzar

3.2.2. Definición de Tipos y Currificación

Ejercicio 1 Dado el siguiente programa, ¿Cuál es el tipo de ys?

```
xs = [ 1 , 2 , 3 ] :: [ Float ]
ys = map (+) xs
```

Resolución Para resolver este ejercicio, el alumno simplemente ingresa el código provisto por la cátedra en la página de *λPage*, separando ambas expresiones por un renglón en blanco y agregando la expresión de la que desea conocer el tipo (ys) al final. Luego de ello, simplemente presiona el botón *Interpret* y puede observar el tipo del resultado (*[Float ->Float]*), tal como lo muestra la figura 2.

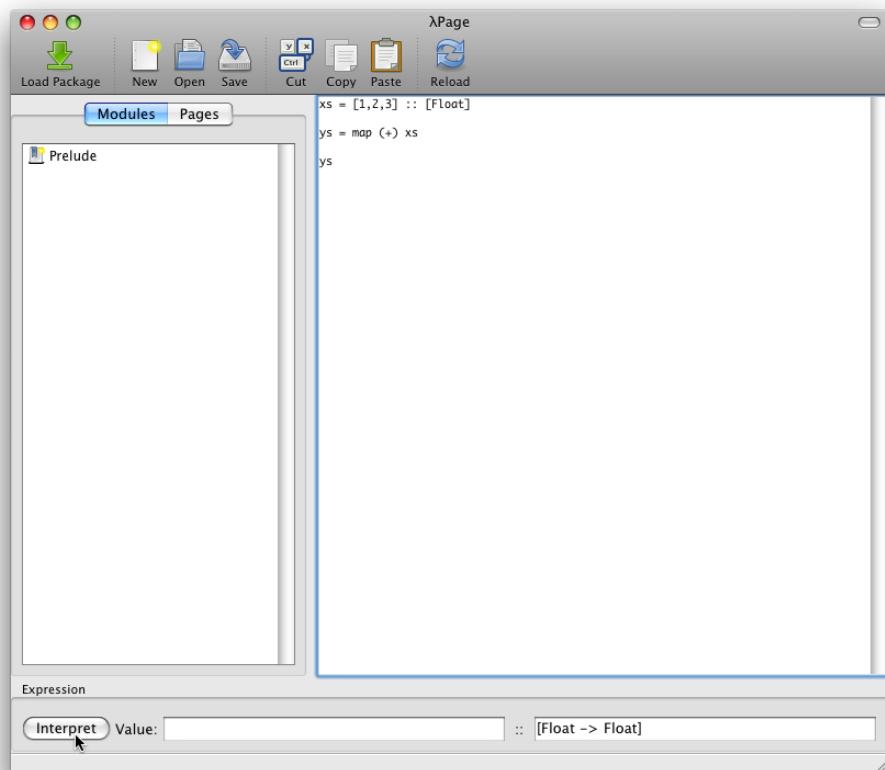


Figura 2: Tutorial 1 - Ejercicio 1

3.2.3. Listas por Comprensión

Ejercicio 4 ¿Cuál es el valor de esta expresión?

```
[ x | x <- [1..4], y <- [x..5], (x+y) `mod` 2 == 0 ]
```

Resolución Este ejercicio se resuelve simplemente copiando y pegando el código dentro de **λPage**, seleccionando la expresión a evaluar (si es que no se ha borrado las expresiones anteriores) y evaluándola con el botón **Interpret**. **λPage** mostrará entonces el resultado: **[1,1,1,2,2,3,3,4]** como se ve en la figura 3.

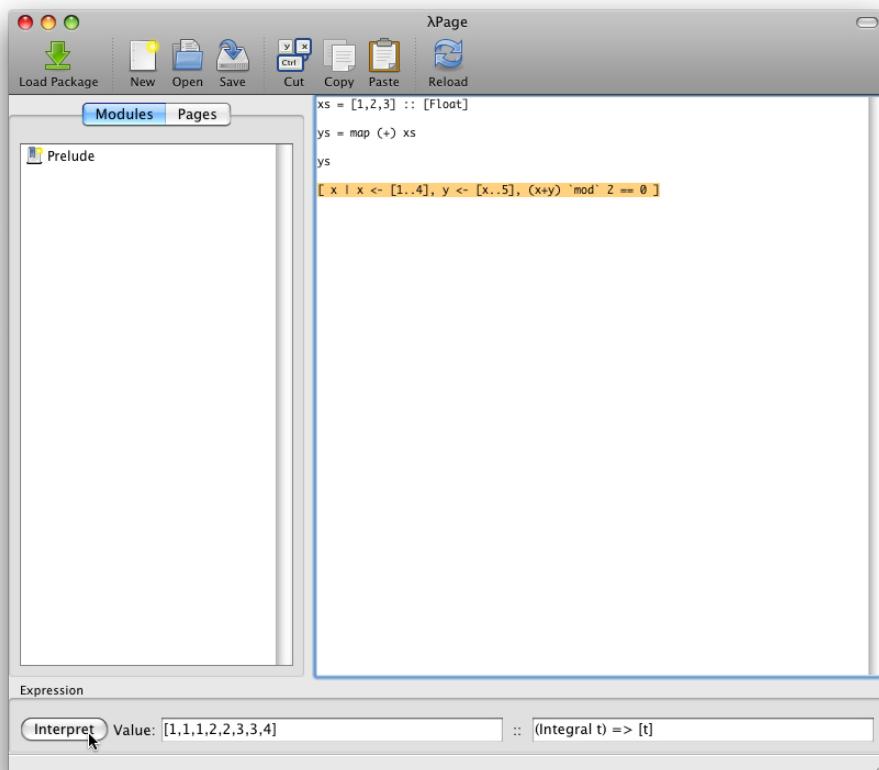


Figura 3: Tutorial 1 - Ejercicio 4

Ejercicio 5 Una tripla pitagórica es una tripla (a, b, c) de enteros positivos tal que $a^2 + b^2 = c^2$. La siguiente es una definición de una lista (infinita) de triples pitagóricas. Explicar por qué esta definición no es muy útil. Dar una definición mejor.

Resolución Para resolver este ejercicio, el alumno podría comenzar por intentar evaluar la lista que se le provee, para ello reacomodará su definición tal como se observa en la figura 4 y presionará el botón *Interpret*.

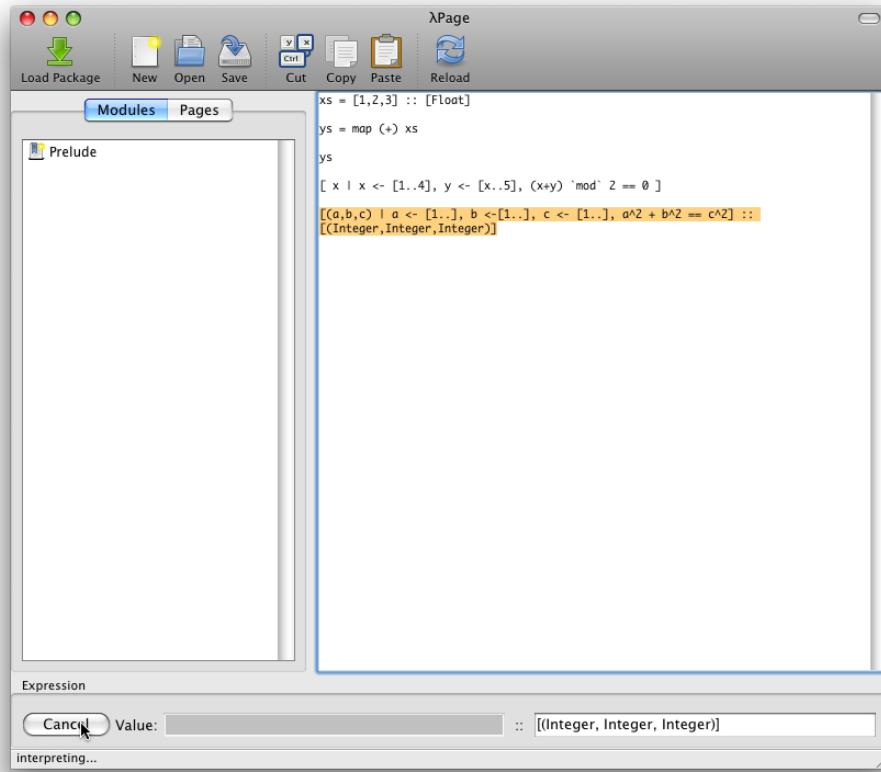


Figura 4: Tutorial 1 - Ejercicio 5 - Primer intento

El alumno podrá observar entonces que el resultado de la interpretación (si bien tiene un tipo válido) nunca aparece por pantalla. Esto se debe al modo en el que se evalúan las listas por comprensión en *Haskell*: En este caso teniendo tres generadores (**a**, **b** y **c**), para generar el primer elemento de la lista, *Haskell* toma el primer valor posible para **a** (o sea 1), el primer valor posible para **b** (o sea 2) y luego itera sobre **c**, con lo que intentará verificar en cada paso de esta iteración que $1^2 + 1^2 = c$. Pero $1^2 + 1^2 = 2$ y sabemos que no existe ningún número natural que elevado al cuadrado sea 2, por lo tanto, *Haskell* nunca encontrará el primer elemento de esta lista. **λPage** permite al alumno, pues, presionar el botón *Cancel* de modo de interrumpir la evaluación y poder continuar trabajando.

Luego de presionar el botón *Cancel*, o incluso durante el lapso en el que **λPage** trata de evaluar la expresión, el alumno puede modificar la expresión para cumplir con la consigna del ejercicio. Podría, por ejemplo, reformularla como muestra la figura 5 e intentar interpretarla, considerando que, dentro de los números naturales se cumple

que $a > c \Rightarrow a^2 > c^2$ y $b > c \Rightarrow b^2 > c^2$. λPage entonces, comenzará a exhibir resultados hasta que el alumno presione el botón *Cancel*.

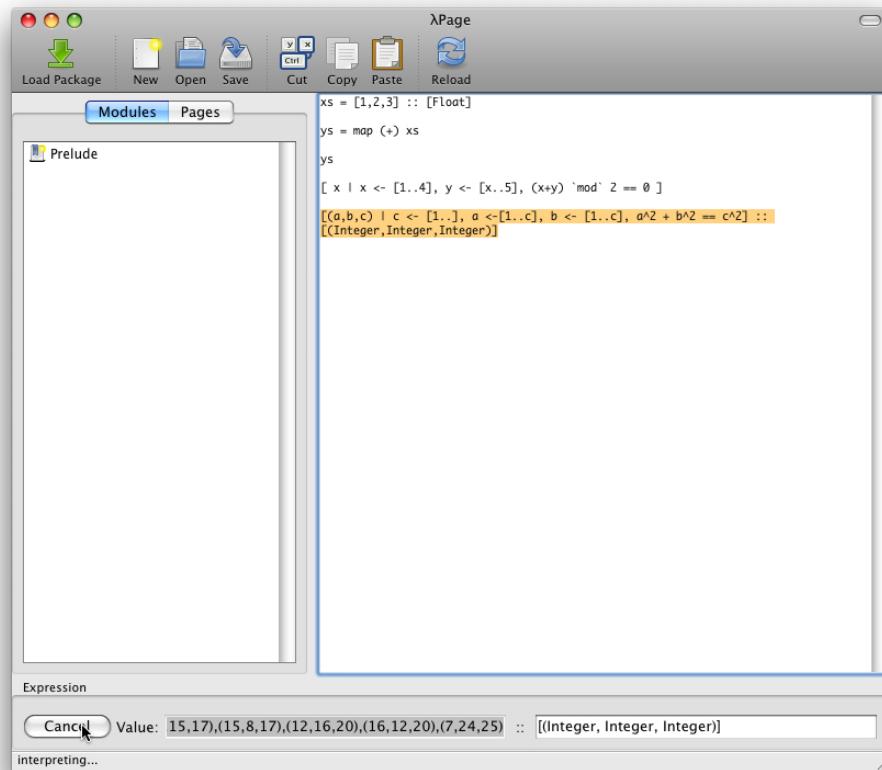


Figura 5: Tutorial 1 - Ejercicio 5 - Segundo intento

Finalmente, el alumno podría también verificar que puede obtener sólo las 5 primeras tuplas pitagóricas, definiendo la serie pitagórica y tomando sólo sus primeros 5 elementos como lo muestra la figura 6. De este modo no necesitaría presionar el botón *Cancel*.

The screenshot shows the XPage interface. The top menu bar includes 'Load Package', 'New', 'Open', 'Save', 'Cut', 'Copy', 'Paste', and 'Reload'. The main workspace is titled 'λPage' and contains a code editor. The code editor has tabs for 'Modules' and 'Pages', with 'Modules' selected. It displays the following Haskell code:

```
xs = [1,2,3] :: [Float]
ys = map (+) xs
ys
[ x | x <- [1..4], y <- [x..5], (x+y) `mod` 2 == 0 ]
pitagorica = [(a,b,c) | c <- [1..], a <- [1..c], b <- [1..c], a^2 + b^2 == c^2] :: [(Integer, Integer, Integer)]
take 5 pitagorica
```

To the left of the code editor is a vertical pane labeled 'Prelude' which is currently empty. Below the code editor is an 'Expression' bar. The 'Interpret' button is highlighted with a mouse cursor. The 'Value:' field contains the list of Pythagorean triplets: `[(3,4,5),(4,3,5),(6,8,10),(8,6,10),(5,12,13)]`. The type annotation `:: [(Integer, Integer, Integer)]` is also present in the expression bar.

Figura 6: Tutorial 1 - Ejercicio 5 - Tercer intento

3.2.4. Alto Orden y Esquemas de Recursión

Ejercicio 9

- I. Definir la función `genLista`, que genera una lista de una cantidad dada de elementos, a partir de un elemento inicial y de una función de incremento entre los elementos de la lista. Dicha función de incremento, dado un elemento de la lista, devuelve el elemento siguiente.
- II. Usando `genLista`, definir la función `dh`, que dado un par de números (el primero menor que el segundo), devuelve una lista de números consecutivos desde el primero hasta el segundo.

Resolución En este caso, ciertamente `λPage` no puede ayudar al alumno a crear las funciones que se le solicitan, pero sí puede ayudarlo a testearlas. Supongamos pues que el alumno crea una nueva página y define en ella las funciones `genLista` y `dh` tal como se ve en la figura 7. Luego, intenta testear su ejercicio y, tal como se ve en la figura 8, puede comprobar que sus funciones generan una recursión infinita. Observa entonces que a `genLista` le falta un **caso base** y lo agrega, para luego volver a testear sus funciones como se ve en la figura 9 y obtener así el resultado esperado.

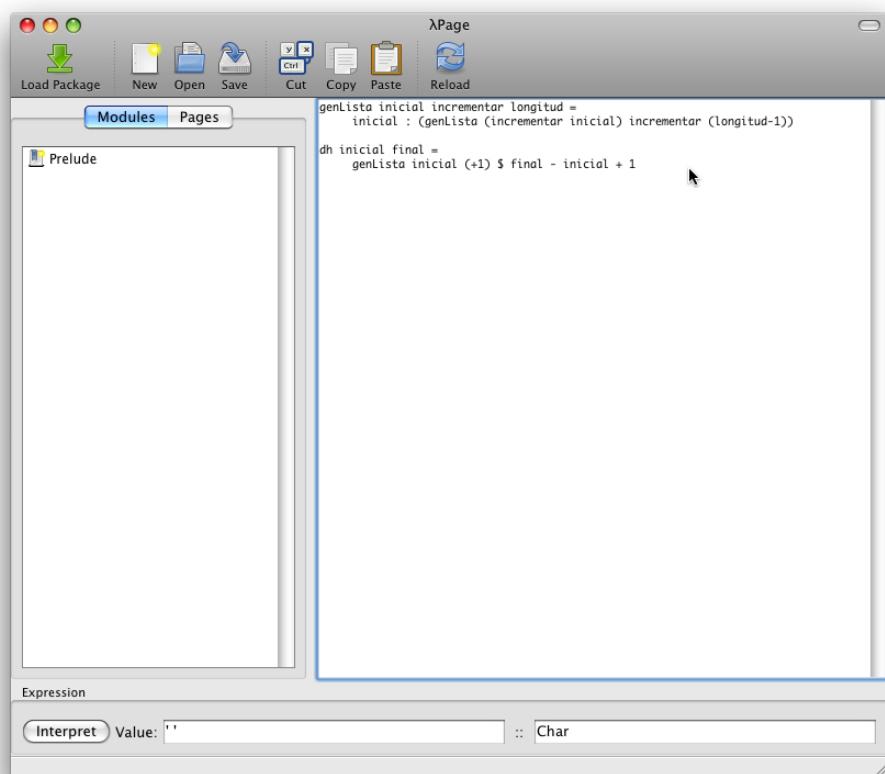


Figura 7: Tutorial 1 - Ejercicio 9 - Primer Intento

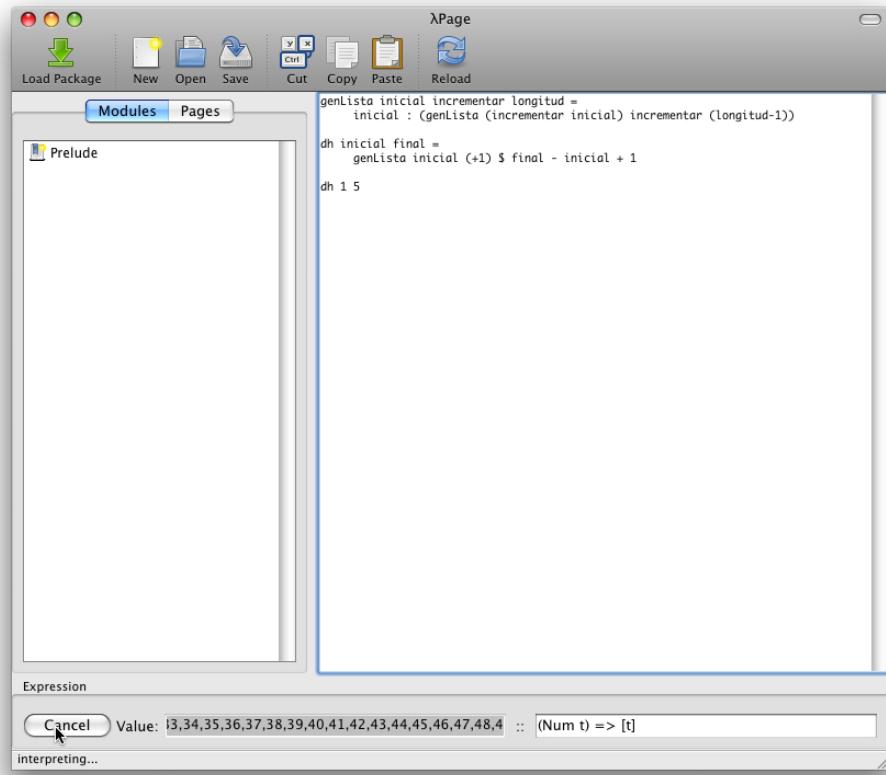


Figura 8: Tutorial 1 - Ejercicio 9 - Recursión Infinita

Cabe aclarar que lo hecho en este ejercicio no es (ni pretende tampoco) ser un completo test de las funciones creadas. Es simplemente lo que hemos llamado *micro-testing*: El ejercicio de realizar pequeñas pruebas “a mano” utilizando expresiones cuyo resultado de evaluación es previsible.

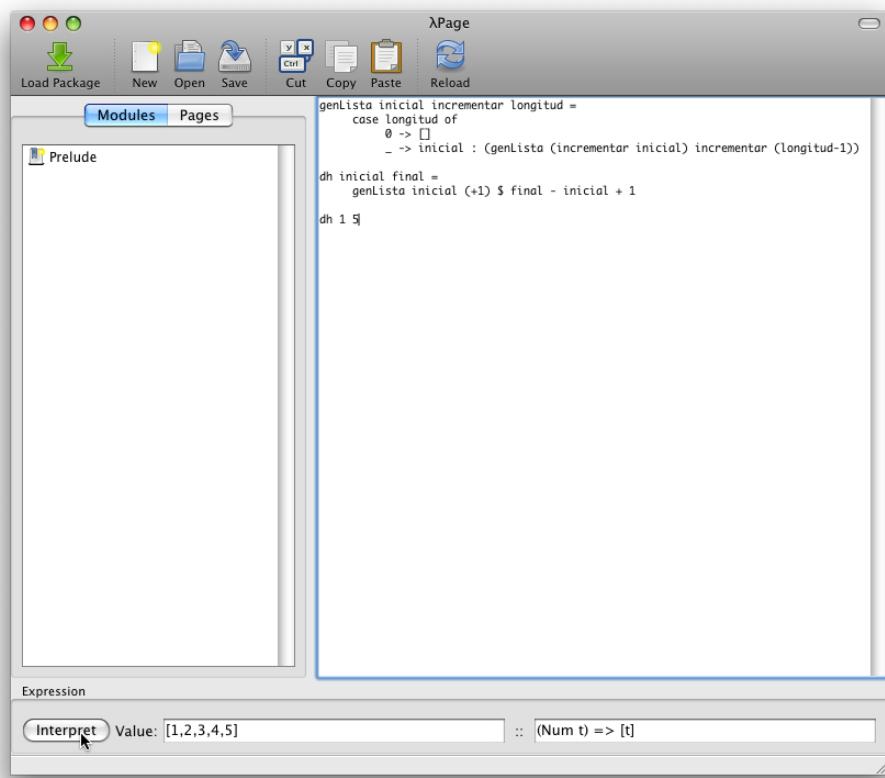


Figura 9: Tutorial 1 - Ejercicio 9 - Segundo Intento

Ejercicio 23 Definimos el siguiente tipo:

```
data Agenda p t = Vacia | Telefonos p [t] (Agenda p t)
```

Este tipo modela una agenda de teléfonos. A una agenda se le puede agregar una nueva entrada, donde se registra para una persona una lista de teléfonos. Una misma persona puede aparecer en varias entradas. La lista de teléfonos de una entrada puede contener repetidos. Ejemplo:

```
miAgenda = Telefonos "Letincho" [42079999,43834567]
          (Telefonos "Javi" [47779830] (Telefonos "Letincho" [42079999] Vacia))
```

...

Resolución El ejercicio continúa, pero en este caso, el alumno podría verse tentado a intentar evaluar `miAgenda` directamente en `λPage` y obtendría el resultado de la figura 10. Ésto se debe a que `λPage` no soporta definiciones de tipos de datos directamente en el texto.

Para conseguir el efecto deseado, el alumno puede crear un módulo (sin salir de `λPage`) y guardarlo utilizando la opción `Page → Save As...` o el botón `Save`) tal como se observa en la figura 11. Luego, utilizando la opción `Haskell → Load Modules...` puede cargar el módulo recién creado, seleccionar la expresión `miAgenda` y evaluarla normalmente. Observamos el resultado de esta operación en la figura 12.

Podemos ver, por un lado, que el resultado no ha sido mostrado, sino que sólo se informó su tipo. Esto se debe a que el tipo `Agenda` no es instancia de la clase `Show`. Para visualizar el resultado, el alumno podría agregar la cláusula `deriving (Show)` al tipo `Agenda`, grabar el módulo modificado, presionar el botón `Reload` y luego evaluar nuevamente `miAgenda` tal como se ve en la figura 13.

Por otra parte, aprovecharemos este ejercicio simple para mostrar lo que `λPage` permite hacer con los elementos de la lista `Modules`. Presionando botón derecho del mouse sobre un ítem, `λPage` despliega un menú que nos permite, entre otras opciones “navegar” el módulo y observar los elementos que exporta. La figura 14 nos muestra el “árbol” que se desprende de nuestro módulo `Temp`.

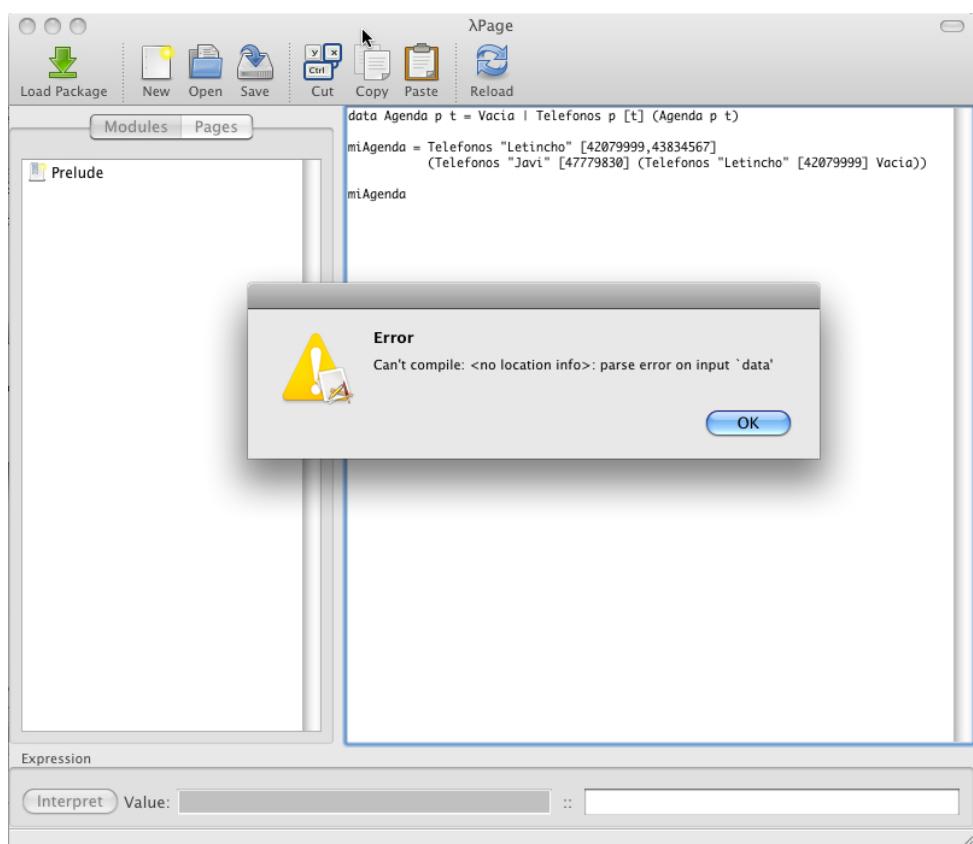


Figura 10: Tutorial 1 - Ejercicio 23 - Primer Intento

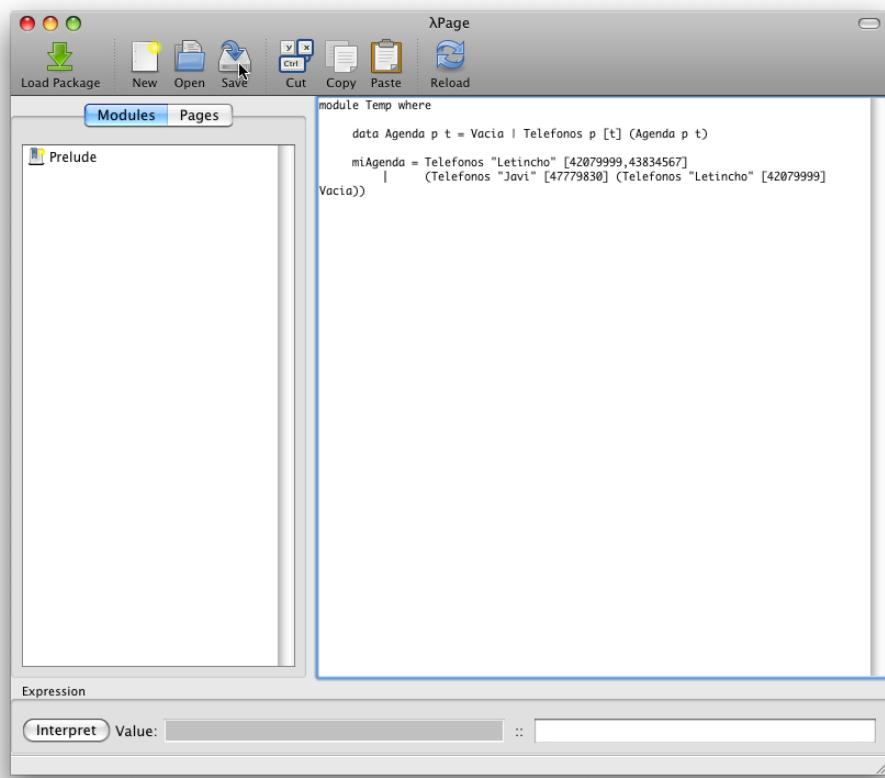


Figura 11: Tutorial 1 - Ejercicio 23 - Crear Módulo

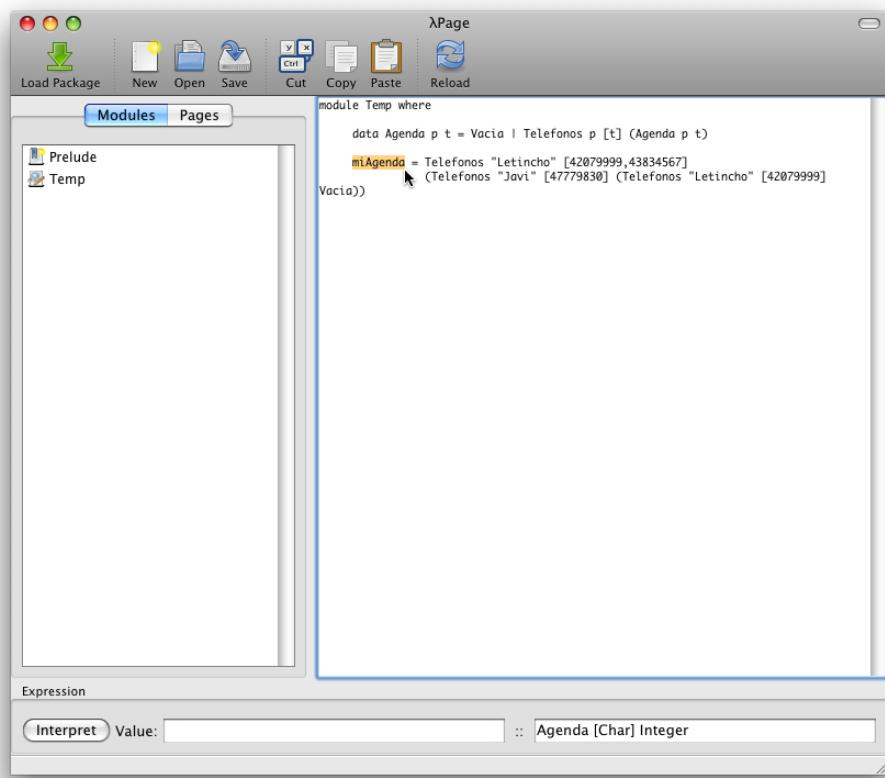


Figura 12: Tutorial 1 - Ejercicio 23 - Segundo Intento

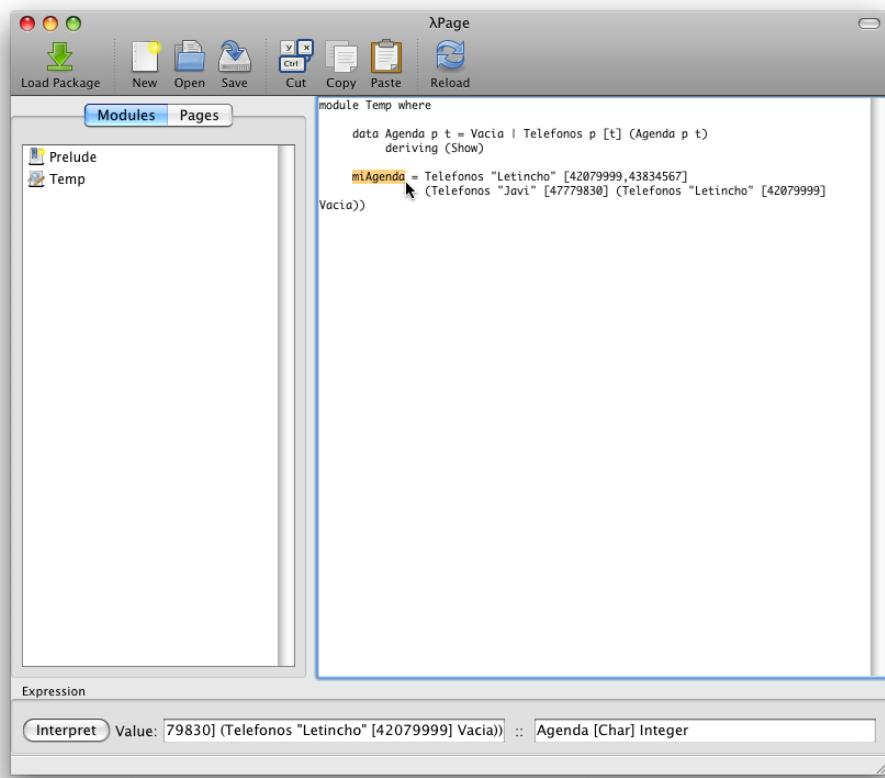


Figura 13: Tutorial 1 - Ejercicio 23 - Tercer Intento

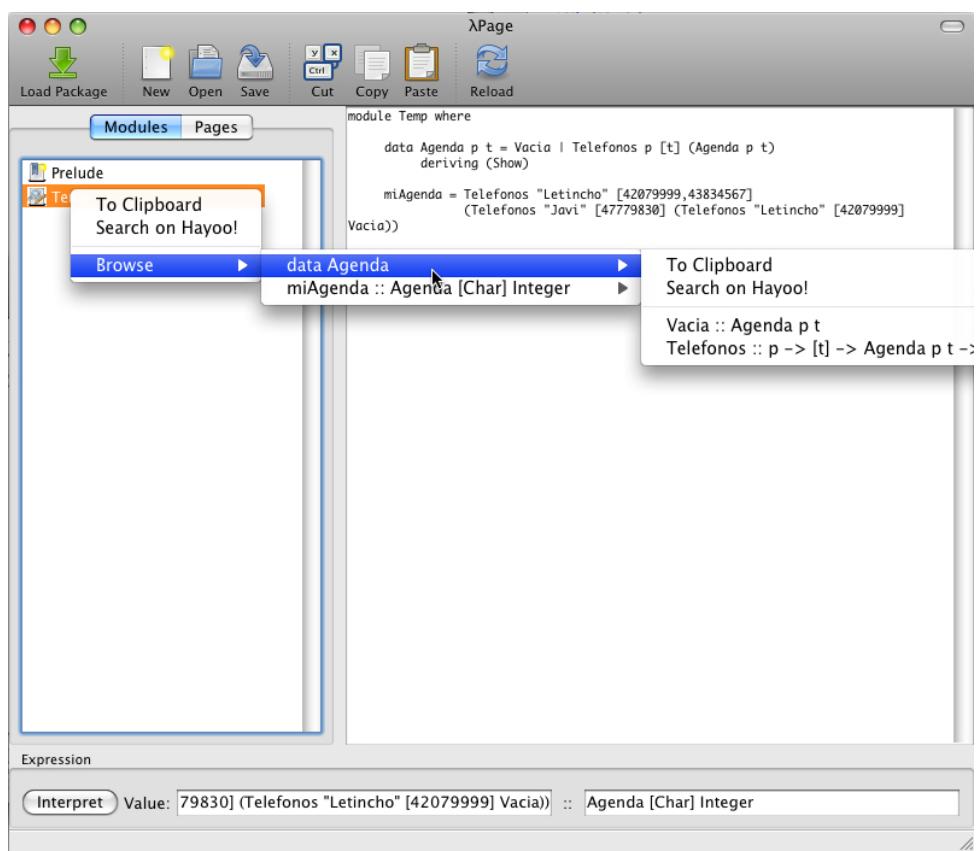


Figura 14: Tutorial 1 - Navegando Módulos

3.2.5. Conclusiones

En este tutorial hemos demostrado un uso sencillo de **λ Page** como herramienta de *micro-testing*, permitiendo al usuario trabajar con las funciones definidas en el **Prelude** de *Haskell* además de las que él mismo desee definir localmente.

Pudimos apreciar cómo **λ Page** permite definir expresiones y funciones, para luego evaluarlas de manera individual o combinada. Dichas evaluaciones pueden generar diversos resultados y hemos visto cómo se maneja **λ Page** con algunos de ellos:

- Para aquellas expresiones cuyo valor no puede ser expresado en forma de texto, hemos visto cómo **λ Page** nos permite conocer su tipo.
- En el caso de expresiones cuyo valor es de longitud infinita, **λ Page** exhibe todo lo que el usuario deseé del resultado, culminando cuando éste presiona el botón *Cancel*.
- Y en relación a aquellas que requieren un cálculo infinito para determinar su valor, **λ Page** muestra su tipo y permite al usuario continuar trabajando con las demás expresiones hasta que decida presionar el botón *Cancel* e interrumpir de esa manera el cálculo.

Esta forma de trabajar con los resultados, combinada con la posibilidad que brinda **λ Page** de editar definiciones de manera simple y directa, para luego volver a evaluar expresiones que las usan, permite al usuario trabajar fluidamente y le da la libertad de cometer errores, detectarlos, corregirlos y luego continuar su trabajo. Esta característica de **λ Page** es muy importante sobre todo para quienes se encuentran dando sus primeros pasos en el mundo de *Haskell* pues, entendemos, facilita el aprendizaje del lenguaje.

También hemos visto en este tutorial cómo se puede utilizar **λ Page** para crear, cargar, modificar y recargar módulos, trabajando siempre en una única página de texto. Ésta es otra característica de **λ Page** que facilita el trabajo ya no sólamente a los estudiantes sino a todo tipo de desarrolladores *Haskell*.

3.3. Caso de Uso: Ganando al 4 en Línea con λ Page

We learn by example and by direct experience
because there are real limits to the adequacy of
verbal instruction

Malcom Gladwell
Look behind you, a Three-Headed Monkey!

Guybrush Threepwood

Incluimos en este informe un segundo tutorial, apuntando esta vez a demostrar cómo λ Page puede ser de utilidad para un programador Haskell que se enfrenta a un problema más lejano al mundo académico. En él veremos cómo trabajar con herramientas tales como Cabal, Hayoo! y wxHaskell. Veremos como λ Page ayuda al usuario a “entender” código escrito por otra persona (o quizás por el mismo, algún tiempo atrás).

3.3.1. Introducción

La historia comienza cuando nuestra amiga desarrolladora, a quien llamaremos Fátima² para darle un poco de personalidad, se encuentra con la misión de modificar una implementación de un juego de 4 en Línea, llamada hfiar [25]. Fátima tiene que adaptar el juego de modo que permita *jugar contra la computadora* pues actualmente sólo permite jugar a dos seres humanos entre sí.

Como es de suponer, Fátima no conoce al creador del juego y no puede contactarlo por lo que sus únicas herramientas, más allá de su conocimiento de Haskell y del juego en sí, son el código fuente de hfiar y λ Page.

3.3.2. Primeros Pasos

Para comenzar, Fátima descarga el código del programa desde HackageDB y lo descomprime o bien clona el repositorio Git con el siguiente comando:

```
$ git clone git://github.com/elbrujojalcon/hfiar.git
```

Una vez hecho eso, puede observar la estructura del proyecto, tal como se ve en la figura 15. Conociendo la estructura básica de los proyectos desarrollados en Haskell, podemos describir los archivos allí presentes de la siguiente manera:

hfiar.cabal Archivo de descripción de proyecto Cabal. Fátima puede obtener de él información general del proyecto, sus módulos, las extensiones que se necesitan para compilarlo y demás.

²El nombre lo hemos elegido en honor a quien, hace ya casi 15 años y utilizando el sobrenombre Perséfone, fue la maestra y principal rival de 4 en Línea de Fernando Benavides en CyberJuegos

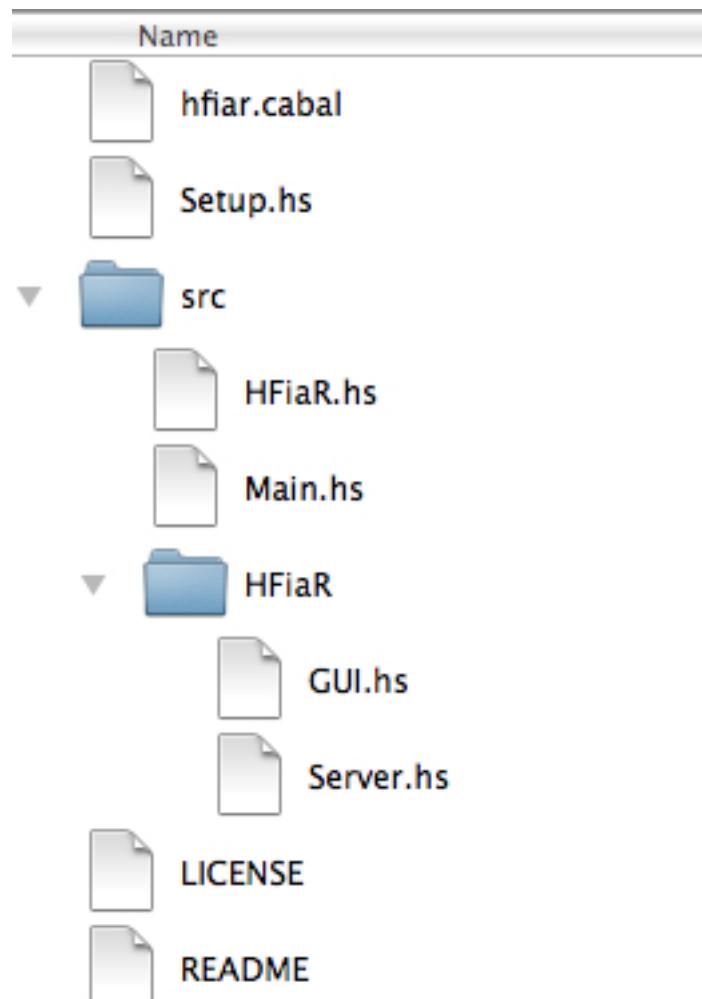


Figura 15: Tutorial 2 - Archivos Originales

Setup.hs Archivo Haskell utilizado por *Cabal* para realizar tareas especiales al momento de configurar, compilar o instalar la aplicación. Junto con **hfiar.cabal** permite instalar el proyecto utilizando las instrucciones de la figura 17.

```
$ cabal configure --user  
$ cabal build  
$ cabal install
```

Figura 16: Tutorial 2 - Instalación

src Carpeta que contiene los archivos de código fuente del proyecto. Fátima deberá analizar cada uno de ellos por separado para poder comprender su funcionamiento.

LICENSE Tradicional archivo con la descripción de la licencia del proyecto.

README En el caso de este proyecto, no se trata de algo demasiado útil, dice simplemente:

```
Four in a Row in Haskell!!  
See http://hackage.haskell.org/package/hfiar
```

3.3.3. Entendiendo el Proyecto

Para comenzar a entender cómo está estructurada la aplicación, Fátima observa el archivo **hfiar.cabal** (al que podemos ver en la figura 18) y observa que el proyecto se encuentra compuesto por una librería (que incluye sólamente al módulo **HFiaR**) y un ejecutable llamado **hfiar** que, más allá del módulo **Main**, incluye a los módulos **HFiaR.GUI** y **HFiaR.Server**. Fátima puede ver además que, para compilar los módulos del proyecto, debe utilizar las extensiones **MultiParamTypeClasses** y **GeneralizedNewtypeDeriving**.

Habiendo realizado este análisis, Fátima configura el proyecto ejecutando la siguiente instrucción:

```
$ cabal configure --user
```

Sabiendo que existe una librería en el proyecto, Fátima intenta generar su documentación, ejecutando:

```
$ cabal haddock
```

En el caso de *hfiar*, ese comando genera la documentación en formato HTML, siendo su página principal `dist/doc/html/hfiar/index.html`. Fátima encuentra allí una descripción de los componentes del módulo **HFiaR**. Armada con estos datos, se dispone a utilizar **λ Page** para comprender cómo funcionan esos componentes.

```

name: hfiar
version: 1.0.0
cabal-version: >=1.6
build-type: Custom
license: BSD3
license-file: LICENSE
copyright: 2010 Fernando "Brujo" Benavides
maintainer: greenmellon@gmail.com
stability: stable
homepage: http://github.com/elbruojohalcon/hfiar
package-url: http://code.haskell.org/hfiar
bug-reports: http://github.com/elbruojohalcon/hfiar/issues
synopsis: Four in a Row in Haskell!!
description: The classical game, implemented with wxHaskell
category: Game
author: Fernando "Brujo" Benavides
tested-with: GHC ==6.10.4
data-files: LICENSE README
data-dir: ""
extra-source-files: Setup.hs
extra-tmp-files:

source-repository head
  type: git
  location: git://github.com/elbruojohalcon/hfiar.git

Library
  build-depends: base >= 4,                                base < 5,
                 mtl >=1.1.0,                               mtl < 1.2,
                 eprocess >= 1.1.0,                         eprocess < 2
  extensions: MultiParamTypeClasses, GeneralizedNewtypeDeriving
  exposed-modules: HFiaR
  hs-source-dirs: src

Executable hfiar
  build-depends: wxcore >=0.11.1,                          wxcore < 0.13,
                 wx >=0.11.1,                               wx < 0.13
  extensions: MultiParamTypeClasses, GeneralizedNewtypeDeriving
  main-is: Main.hs
  buildable: True
  hs-source-dirs: src
  other-modules: HFiaR.GUI, HFiaR.Server
  ghc-options: -fwarn-unused-imports -fwarn-missing-fields
               -fwarn-incomplete-patterns

```

Figura 17: Tutorial 2 - hfiar.cabal

3.3.4. Utilizando λ Page

Una vez abierto λ Page, Fátima intentar cargar el proyecto utilizando la opción *Haskell → Load Package...* o el botón *Load Package*. Eso abre una ventana en la que Fátima debe seleccionar el archivo **setup-config** generado por Cabal, tal como se ve en la figura 18.

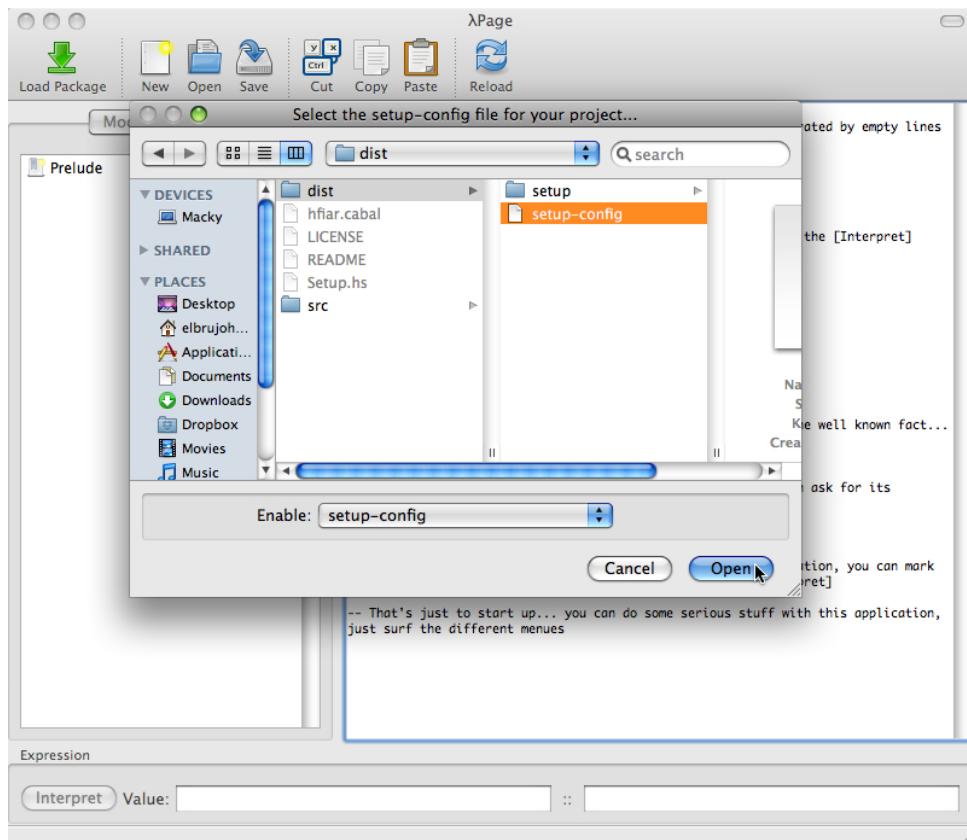


Figura 18: Tutorial 2 - Cargando un proyecto Cabal

Fátima tendrá entonces a su disposición los módulos que componen la aplicación y, haciendo click derecho en ellos, podrá cargarlos, como se ve en la figura 19.

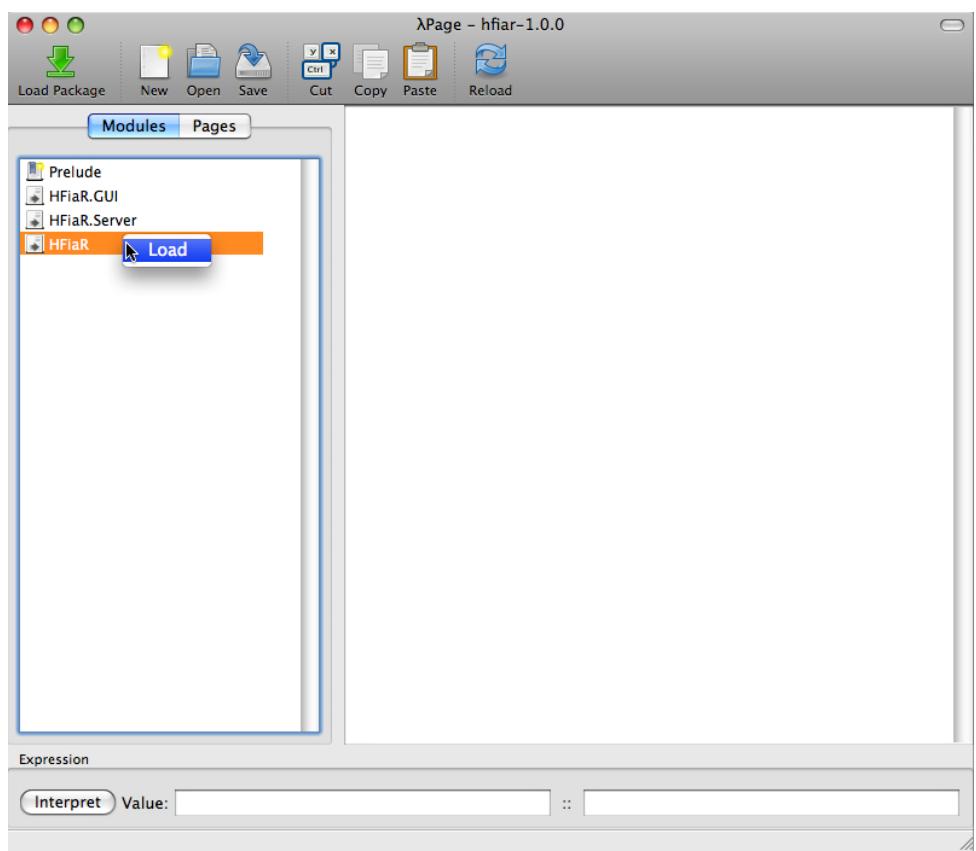


Figura 19: Tutorial 2 - Proyecto *Cabal* cargado

Recordando que el proyecto incluía una librería compuesta únicamente por el módulo `HFiaR`, nuestra amiga Fátima decide cargarlo y navegarlo utilizando el menú desplegable que nos muestra la figura 20.

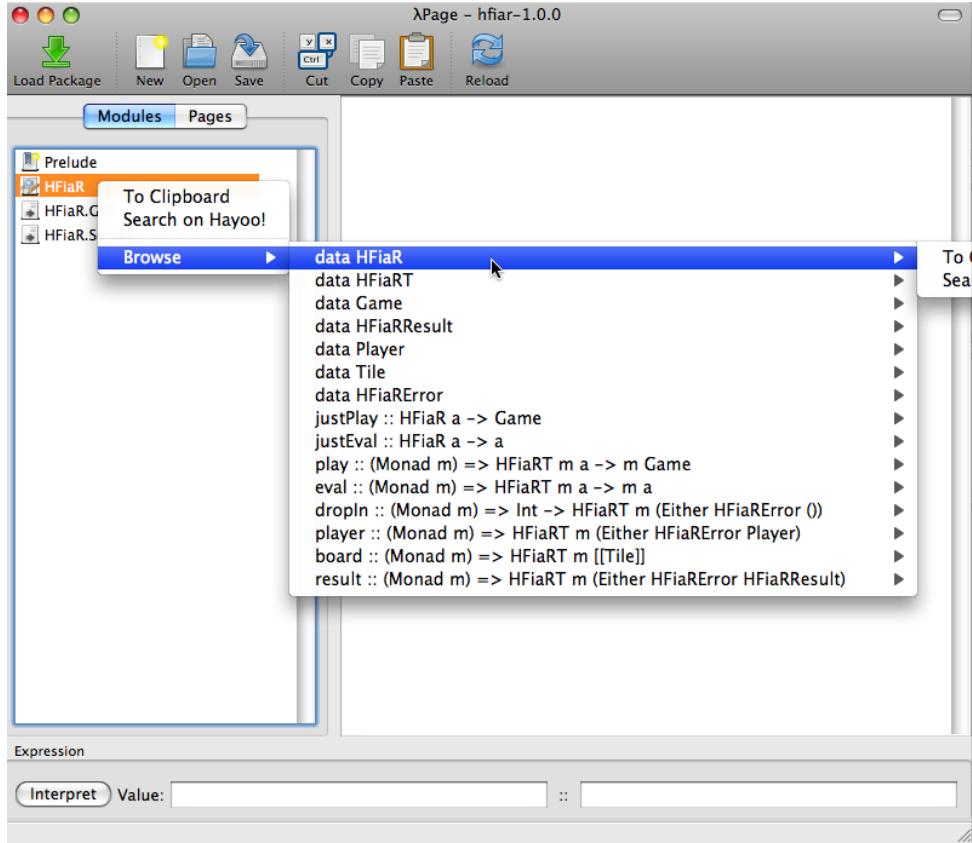


Figura 20: Tutorial 2 - Módulo HFiaR

Gracias a la documentación generada previamente, puede observar que la dinámica del juego está modelada con una mónada que permite describir las acciones llevadas a cabo durante un partido (básicamente utilizando la función `dropIn`, que equivale a la acción que realiza el jugador actual al momento de dejar caer una ficha en una columna). Esta mónada también permite observar un juego utilizando las funciones `player` (para conocer el jugador actual), `board` (para observar el tablero, que es modelado como una lista de listas de `Tiles`, o sea fichas) y `result` para verificar el resultado del partido.

Puede ver también que dichas acciones pueden ser ejecutadas dentro de cualquier mónada, gracias a las funciones `play` y `eval` y al hecho de que la mónada está implementada utilizando la técnica de *Monad Transformers* [32].

Finalmente, y de modo muy conveniente, Fátima observa que el creador del módulo proveyó las funciones `justPlay` y `justEval` que permiten simplemente ejecutar las acciones de la mónica y obtener su resultado. Utilizando estas funciones, Fátima comienza a realizar su tarea de *micro-testing*. Su primera prueba consiste en *jugar* un partido en el que nada pasa, sólo para ver qué información puede obtener de él. Coloca entonces en la página la expresión que presentamos a continuación e intenta interpretarla tal como se ve en la figura 21

```
justPlay $ return ()
```

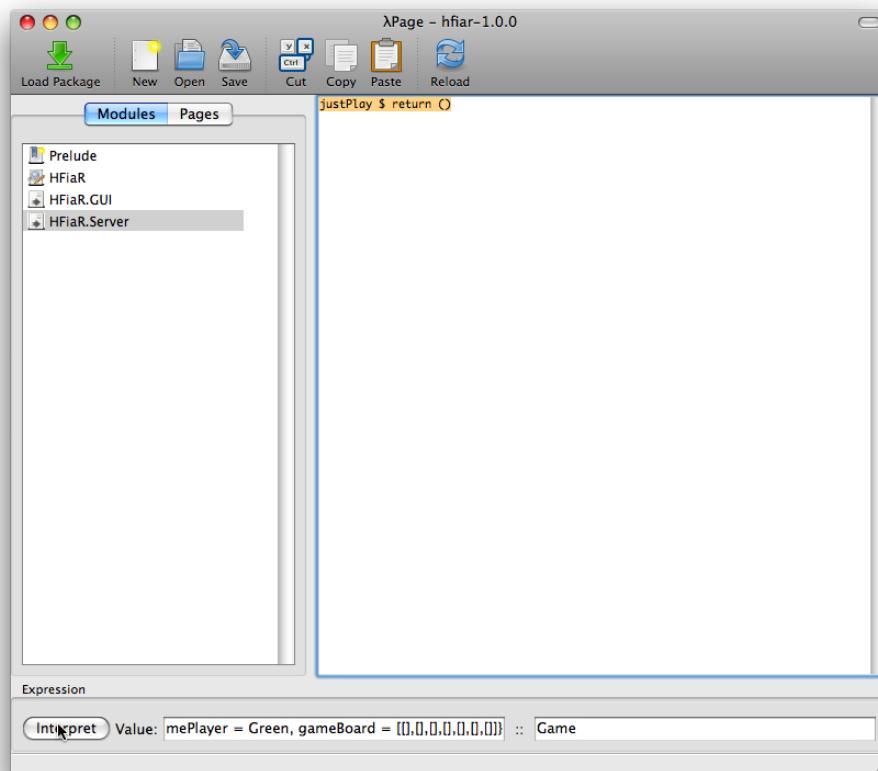


Figura 21: Tutorial 2 - Juego Mínimo

El resultado obtenido es el que sigue y puede interpretarse como “el partido se encuentra en curso, es el turno del jugador que juega con fichas verdes y el tablero está vacío”.

```
OnCourse {gamePlayer = Green,
          gameBoard = [[] ,[] ,[] ,[] ,[] ,[] ,[]]}
```

Usando λPage , Fátima realiza varias otras pruebas que consignamos en la tabla del cuadro 1. Con ellas puede entender el funcionamiento general de la mónada HFiaR y de ese modo determinar cómo su jugador de inteligencia artificial puede observar el desarrollo del juego (saber si el mismo ha concluido o no, si es su turno y el estado del tablero) y elegir cómo jugar. Cabe notar que los resultados de tipo Left HFiaRError se exhiben como texto porque el desarrollador de hfiar ha decidido utilizar la función `show` para describir los errores en lugar de exhibir su constructor.

Expresión	Resultado
<code>justPlay \$ return ()</code>	OnCourse {gamePlayer = Green, gameBoard = [[],[],[],[],[],[],[]]}
<code>justEval \$ player</code>	Right Green
<code>justEval \$ dropIn 1 >> board</code>	[[],[Green],[],[],[],[],[]]
<code>justEval \$ dropIn 7</code>	Left That column doesn't exist
<code>justPlay \$ dropIn 4 >> dropIn 1 >> dropIn 4 >> dropIn 1 >> dropIn 4 >> dropIn 1 >> dropIn 4</code>	Ended {gameResult = WonBy Green, gameBoard = [[], [Red, Red, Red], [], [], [Green, Green, Green, Green], [], []]}
<code>justEval \$ dropIn 4 >> dropIn 1 >> dropIn 4 >> dropIn 1 >> dropIn 4 >> dropIn 1 >> dropIn 4 >> result</code>	Right (WonBy Green)
<code>justEval \$ dropIn 4 >> dropIn 1 >> dropIn 4 >> dropIn 1 >> dropIn 3 >> dropIn 1 >> dropIn 4 >> result</code>	Left Game is on course yet
<code>justEval \$ dropIn 1 >> dropIn 1 >> dropIn 1 >> dropIn 1 >> dropIn 1 >> dropIn 1 >> dropIn 1 >> dropIn 1</code>	Left That column is full

Cuadro 1: Tutorial 2 - Pruebas realizadas en λPage

3.3.5. Creando al *Jugador Computadora*

Con el conocimiento adquirido en el uso de `HFiaR`, Fátima decide crear la función `aiDropIn`, que se ejecutará dentro de la mónada `HFiaR`. La figura 22 nos muestra la aridad de dicha función.

```
-- | Drop a tile in a column chosen by the Artificial Intelligence
aiDropIn :: Monad m => HFiaRT m (Either HFiaRError ())
```

Figura 22: Tutorial 2 - Aridad de `aiDropIn`

Para crear `aiDropIn`, Fátima no cierra $\lambda Page$. Por el contrario, define la función allí mismo, como podemos ver en la figura 24, componiéndola con otra función a la que denomina `bestColumnFor`. Esta función se ejecutará fuera del contexto monádico y sólo en el caso de que el partido no haya concluido. La idea es que en ella estará el algoritmo principal de selección de columna a jugar (o sea, el verdadero motor de *inteligencia artificial*), el cual se irá perfeccionando paso a paso. La primera versión de `bestColumnFor`, con más de artificial que de inteligencia, simplemente elegirá la primer columna que no esté llena y `aiDropIn` arrojará la ficha ahí.

Una vez definidas ambas funciones, Fátima decide testearlas y, para ello, no necesita más que evaluar un juego en el que conozca el resultado. En particular, Fátima elige hacer jugar a la computadora contra sí misma 8 movimientos y verifica que las fichas han quedado intercaladas en la primer columna y luego el siguiente jugador ha colocado una en la segunda.

El siguiente paso es agregar un poco de inteligencia a `bestColumnFor` de modo que realmente sea competitivo. Para ello, Fátima prevé que necesitará varias funciones auxiliares y una buena cantidad de código, por lo que decide convertir su página actual en un módulo al que denomina `HFiaR.AI` y graba en el lugar correspondiente entre los fuentes del proyecto, utilizando la opción *Page* → *Save As...* o el botón *Save* tal como se observa en la figura 24. Luego lo carga utilizando la opción *Haskell* → *Load Modules...* y, seleccionando `testGame` puede realizar la misma prueba de la figura 22. Es interesante notar que, pese a que el módulo creado sólo exporta la función `aiDropIn`, Fátima pudo interpretar sin problemas la función `testGame`, pues había cargado el módulo y eso le da acceso a todas las funciones del mismo, tanto públicas como privadas.

The screenshot shows the λPage interface for the HFiAR version 1.0 application. The window title is λPage - hfiar-1.0.0. The menu bar includes Load Package, New, Open, Save, Cut, Copy, Paste, and Reload. The left sidebar lists modules: Prelude, HFiAR, HFiAR.GUI, and HFiAR.Server. The main area displays the source code for the aiDropIn module:

```
-- I Drop a tile in a column choosen by the Artificial Intelligence
aiDropIn =
do {
    r <- result;
    case r of {
        Left GameNotEnded =>
            do {
                Right p <- player;
                b <- board;
                dropIn $ bestColumnFor p b
            };
        Left err =>
            return $ Left err;
        Right _ ->
            return $ Left GameEnded
    }
}
bestColumnFor _p = length . takeWhile (\c -> length c == 7)
justEval $ aiDropIn >> aiDropIn >>
aiDropIn >> aiDropIn >>
aiDropIn >> aiDropIn >>
aiDropIn >> aiDropIn >> board
```

The bottom expression bar shows the value: [[Green,Red,Green,Red,Green,Red,Green],[Red],[] :: [[Tile]]]. The Interpret button is highlighted.

Figura 23: Tutorial 2 - aiDropIn versión 1

The screenshot shows the λPage interface with the title bar "λPage - hfiaR-1.0.0". The menu bar includes "File" (Load Package, New, Open, Save, Cut, Copy, Paste, Reload), "Edit" (Ctrl), and "Help". The left sidebar lists modules: Prelude, HFiaR, HFiaR.AI (selected), HFiaR.GUI, and HFiaR.Server. The main area displays the code for the HFiaR.AI module:

```

module HFiaR.AI (aiDropIn) where
  import HFiaR

  -- I Drop a tile in a column chosen by the Artificial Intelligence
  aiDropIn :: Monad m => HFiaRT m (Either HFiaRError ())
  aiDropIn =
    do {
      r <- result;
      case r of {
        Left GameNotEnded ->
          do {
            Right p <- player;
            b <- board;
            dropIn $ bestColumnFor p b
          };
        Left err ->
          return $ Left err;
        Right _ ->
          return $ Left GameEnded
      }
    }

  bestColumnFor :: Player -> [[Tile]] -> Int
  bestColumnFor _p = length . takeWhile (\c -> length c == 7)

  testGame :: [[Tile]]
  testGame = justEval $ aiDropIn >> aiDropIn >>
             aiDropIn >> aiDropIn >>
             aiDropIn >> aiDropIn >> board

```

The bottom panel shows an "Expression" input field with the value: [[Green,Red,Green,Red,Green,Red,Green],[Red],[]] :: [[Tile]].

Figura 24: Tutorial 2 - El módulo HFiaR.AI

Para la segunda (y a los fines de este tutorial, definitiva) versión de `bestColumnFor`, Fátima, experta jugadora de 4 en línea como es, pone un poco de criterio y decide que la función tenga en cuenta las condiciones que enumeramos a continuación. La nueva versión de `bestColumnFor` y sus funciones adicionales las podemos observar en la figura 25. El resto del módulo permanece tal como estaba.

- Si poniendo la ficha en alguna columna el jugador gana el partido, se debe elegir esa columna.
- Si poniendo la ficha en alguna columna se impide que el jugador rival gane el partido (pues acumula 3 alineadas convenientemente) se debe elegir esa columna.
- En otro caso, de ser posible, debe elegirse la columna 3 (o sea, la columna central) pues para formar líneas de 4 fichas horizontales o diagonales se requiere una ficha en dicha columna

La función `testGame` ya no es suficiente para testear el funcionamiento de `aiDropIn` pero, como el código está en un módulo que ha sido cargado dentro de `λPage`, lo que Fátima puede hacer es crear una nueva página utilizando la opción `Page → New` e ir construyendo paso a paso una expresión que represente un partido entre ella y *el Jugador Computadora*. Para ello, define la función auxiliar `round` y, tal como lo vemos en la figura 26, la utiliza una y otra vez para modificar el partido que pretende “jugar”. De ese modo puede probar el comportamiento de su módulo de inteligencia artificial ante las distintas circunstancias de un partido tan extenso como ella deseé.

Resta pues modificar la interfaz gráfica para que permita al usuario jugar contra la computadora, utilizando la función `aiDropIn` en los turnos correspondientes a la máquina. Para ello, Fátima abre el módulo `HFiaR.GUI` y realiza los cambios pertinentes. Estos cambios puede realizarlos utilizando `λPage` o cualquier otro editor, pues por la naturaleza “imperativa” del código a modificar, `λPage` no representará un beneficio importante. Por el mismo motivo, no los detallamos en este informe. Para quien desee observarlos puede encontrarlos en [la página web del proyecto hfiar en github](#) [25]

El último paso que Fátima debe realizar es incluir su nuevo módulo en la lista de módulos del ejecutable `hfiar` dentro del archivo `hfiar.cabal`. Una vez hechas estas modificaciones, puede ejecutar los siguientes comandos y disfrutar de un partido de su juego favorito contra la computadora:

```
$ cabal configure --user
$ cabal build
$ cabal install
$ ./cabal/bin/hfiar &
```

```

bestColumnFor :: Player -> [[ Tile ]] -> Int
bestColumnFor p b =
  case columnWhereWins p b of
    Nothing ->
      case columnWhereLooses p b of
        Nothing ->
          case length (b !! 3) of
            7 -> length $ takeWhile (\c -> length c == 7) b
            _ -> 3
        Just cwl -> cwl
    Just cww -> cww

columnWhereWins :: Player -> [[ Tile ]] -> Maybe Int
columnWhereWins P1{tiles=tile} b =
  case (length $ takeWhile (not . wins tile b) [0..6]) of
    7 -> Nothing
    x -> Just x

columnWhereLooses :: Player -> [[ Tile ]] -> Maybe Int
columnWhereLooses P1{tiles=tile} b =
  let otherTile = case tile of {Green -> Red; Red -> Green}
  in case (length $ takeWhile (not . wins otherTile b) [0..6]) of
    7 -> Nothing
    x -> Just x

wins :: Tile -> [[ Tile ]] -> Int -> Bool
wins t b c =
  let newBoard = (take c b) ++ ((t : (b !! c)) : drop (c+1) b)
  col = newBoard !! c
  getRow r = map (cell r)
  getDiagUpRight c r xss = map (\i -> cell (i+r-c) (xss !! i)) [0..6]
  getDiagUpLeft c r xss = map (\i -> cell (r+c-i) (xss !! i)) [0..6]
  cell c xs = if (c >= 0 && c < length xs)
    then Just $ (reverse xs) !! c
    else Nothing
  fourIn [] = False
  fourIn (Nothing:xs) = fourIn xs
  fourIn (Just p:xs) = ([Just p,Just p,Just p] == take 3 xs) || fourIn xs
  in ([t,t,t,t] == take 4 col) ||
    fourIn (getRow (length col - 1) newBoard) ||
    fourIn (getDiagUpRight c (length col - 1) newBoard) ||
    fourIn (getDiagUpLeft c (length col - 1) newBoard)

```

Figura 25: Tutorial 2 - Versión definitiva de HFiaR.AI

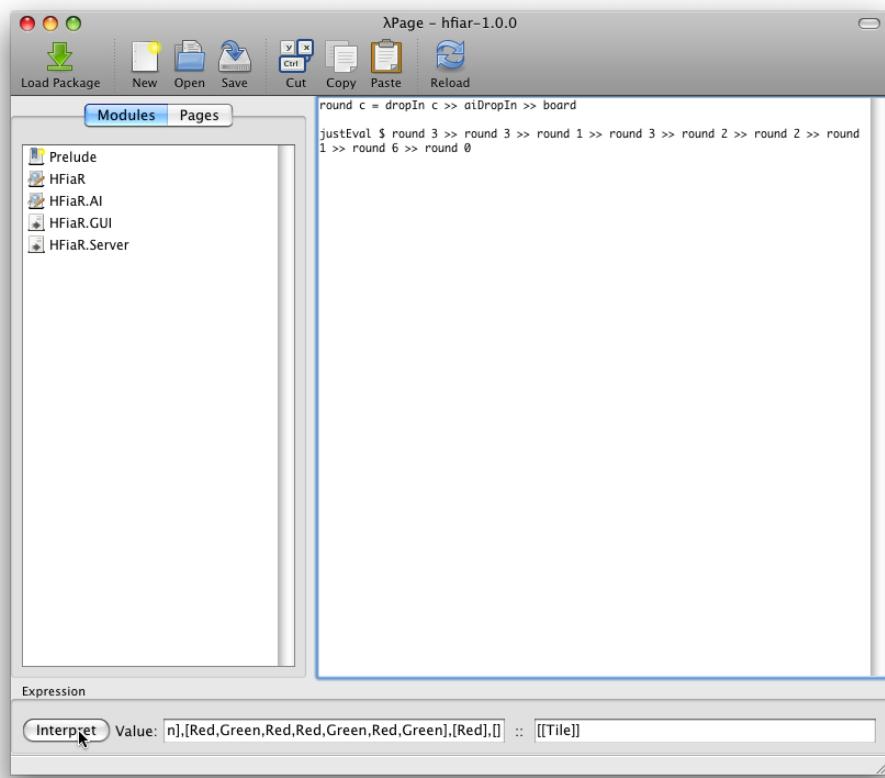


Figura 26: Tutorial 2 - Jugando contra HFiaR.AI

3.3.6. Conclusiones

A lo largo de este tutorial hemos podido ver cómo utilizar λPage para comprender código *Haskell* a través de *micro-testing*. Hemos visto también como, utilizando esa misma técnica, podemos construir paso a paso módulos *Haskell* medianamente complejos. Pudimos ver cómo λPage nos permite editar los módulos al tiempo que los testeamos, de modo de utilizar un único aplicativo para ambas cosas y no necesitar recurrir a la consola.

Hemos podido ver cómo λPage se encuentra integrado con *Cabal* para permitir cargar proyectos previamente configurados y evitar al desarrollador lidiar con el manejo de extensiones, carpetas y módulos manualmente. Esto es una importante ventaja que ofrece λPage dado que la mayoría de los proyectos desarrollados en *Haskell* se encuentran organizados en paquetes *Cabal*.

También hemos observado la forma gráfica con la que λPage describe y permite navegar los módulos cargados, sus funciones y sus estructuras de datos para luego utilizarlas en nuestro código.

4. Desarrollo - ¿Cómo se hizo λ Page?

4.1. Arquitectura General

If you think good architecture is expensive, try bad architecture

Brian Foote and Joseph Yoder

Las principales decisiones de arquitectura que se tomaron durante el desarrollo de λ Page tuvieron como principales motivaciones los siguientes requerimientos:

Conexión con GHC λ Page debía conectarse con el motor de GHC a través de su API de modo de poder detectar e interpretar expresiones. Para ello se utilizó `hint` [27]

Paralelismo λ Page debía permitir al usuario editar sus documentos mientras esperaba el resultado de la evaluación de alguna expresión. Para ello se creó `eprocess` y se implementó un modelo de procesos utilizandoarlo.

Errores Controlados λ Page no debía fallar si la evaluación de una expresión fallaba. Más aún, también debía detectar posibles evaluaciones infinitas e informar estas situaciones al usuario

Compatibilidad con GHCi λ Page debía ser capaz de reemplazar a `GHCi` y, por lo tanto, brindar toda las funcionalidades que esta aplicación brinda. En particular, debía:

- ser multiplataforma
- detectar expresiones sintácticamente inválidas
- identificar el tipo de cualquier expresión sintácticamente válida
- identificar la clase de cualquier tipo sintácticamente válido
- interpretar expresiones de cualquier tipo que sea instancia de la clase `Show`
- ejecutar e imprimir el resultado de expresiones de tipo `Show a ⇒ IO a`

Teniendo en cuenta estos requerimientos, la arquitectura resultante puede ser descripta con el diagrama de la figura 27. Esta figura presenta el estado del sistema en un instante dado. Cada bloque representan un proceso o “thread” en ejecución. Cada uno de estos procesos se ejecuta dentro del entorno de una mónada, la cual se encuentra identificada en la esquina superior derecha del bloque. En el diagrama podemos identificar los siguientes componentes:

UI Manager Este es el thread que inicia el programa, genera y administra la interfaz del usuario utilizando las herramientas provistas por `wxHaskell`. En este thread se mantiene el estado visual de la aplicación: el estado de los controles, la última búsqueda realizada, etc.

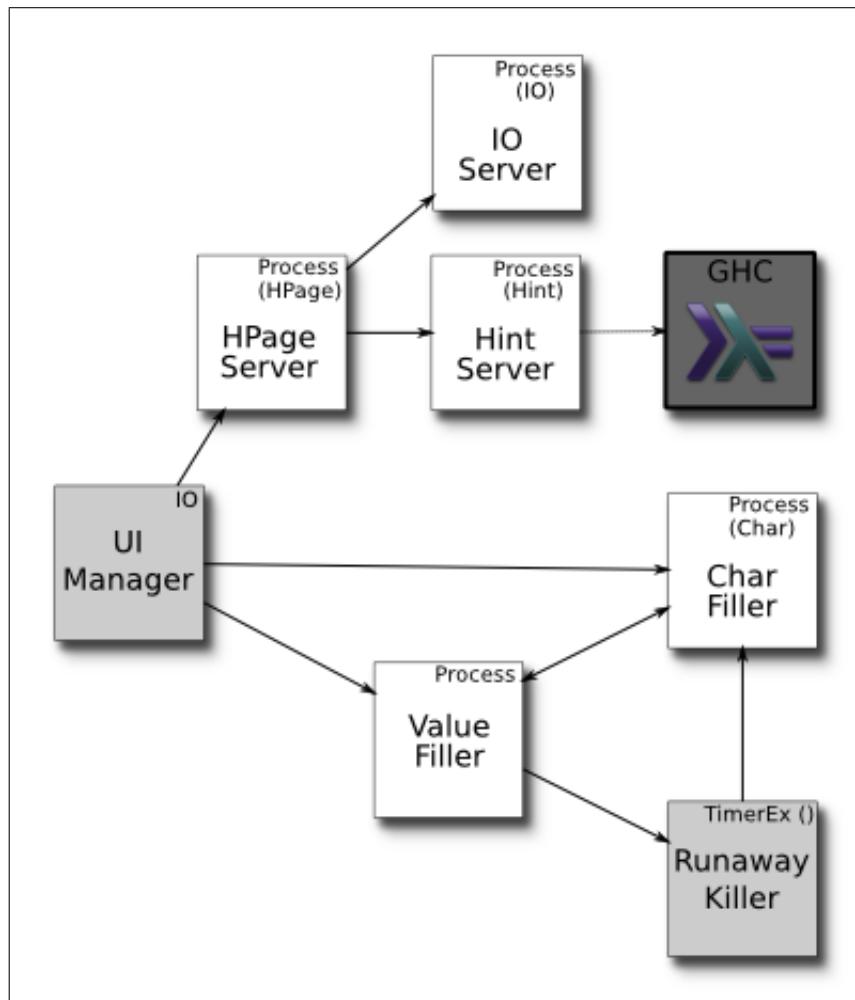


Figura 27: Arquitectura de λ Page

HPage Server Este proceso, iniciado por el **UI Manager**, es el que comunica a la interfaz del usuario con la máquina virtual de GHC, a través del **Hint Server**, captura sus errores y lo reinicia en caso de ser necesario. En el caso de expresiones de tipo **IO a**, este mismo proceso se comunica con el **IO Server** para ejecutarlas y obtener su resultado o capturar sus errores. En este proceso se mantiene el estado general de la aplicación: sus páginas, expresiones, paquetes y módulos cargados, etc.

IO Server Este proceso, iniciado por el **HPage Server**, es el encargado de ejecutar acciones de tipo **IO a** en un entorno controlado y obtener su resultado.

Hint Server Este proceso, iniciado por el **HPage Server**, mantiene una conexión con la máquina virtual de GHC (a la cual se muestra en la figura conectado a través de una línea de puntos)

Char Filler Este proceso, iniciado por el **UI Manager** cumple una muy sencilla función: utilizando los procedimientos de envío y recepción de mensajes provistos por eprocess, espera recibir un carácter (o sea, una expresión de tipo Char), para luego evaluarlo y enviar como respuesta su valor en forma normal.

Value Filler Este proceso, iniciado por el **UI Manager** es el encargado de procesar el resultado obtenido del **HPage Server**. Cabe recordar aquí que Haskell trabaja con evaluación “lazy”, por lo cual el resultado obtenido no ha sido aún completamente procesado. El **Value Filler** espera recibir un resultado y, al recibirla, se encarga de evaluarlo y mostrarlo por pantalla, para ello envía y recibe mensajes del **Char Filler** a fin de procesar cada carácter a mostrar.

Runaway Killer Este thread, creado utilizando la clase *TimerEx* provista por *wxHaskell*, es iniciado por cada **Value Filler** al momento de enviar un nuevo carácter al **Char Filler**. El objetivo del **Runaway Killer** es el de detectar procesamiento “posiblemente” infinito. Básicamente, pasado un segundo de procesamiento, reinicia el **Char Filler** e informa al **Value Filler** que lo inició que el carácter que se esperaba procesar ha demorado demasiado y podría desencadenar una evaluación infinita.

Para un mayor detalle, la figura 28 nos muestra un diagrama de secuencia correspondiente a un proceso de evaluación. Para poder brindar un ejemplo completo, hemos “fabricado” un tipo que responde al siguiente código:

```
data WithInfiniteChar = WIC

instance Show WithInfiniteChar where
    show WIC = [ 'c' , head . show $ length [ 1 .. ] ]
```

Como puede observarse, al intentar mostrar la expresión **WIC**, $\lambda Page$ se encontrará con una cadena cuyo segundo carácter no puede computar pues requiere un cálculo infinito, en la figura representamos este carácter con la letra Ω . Allí es donde entra en acción el **Runaway Killer** para informar esta situación al usuario.

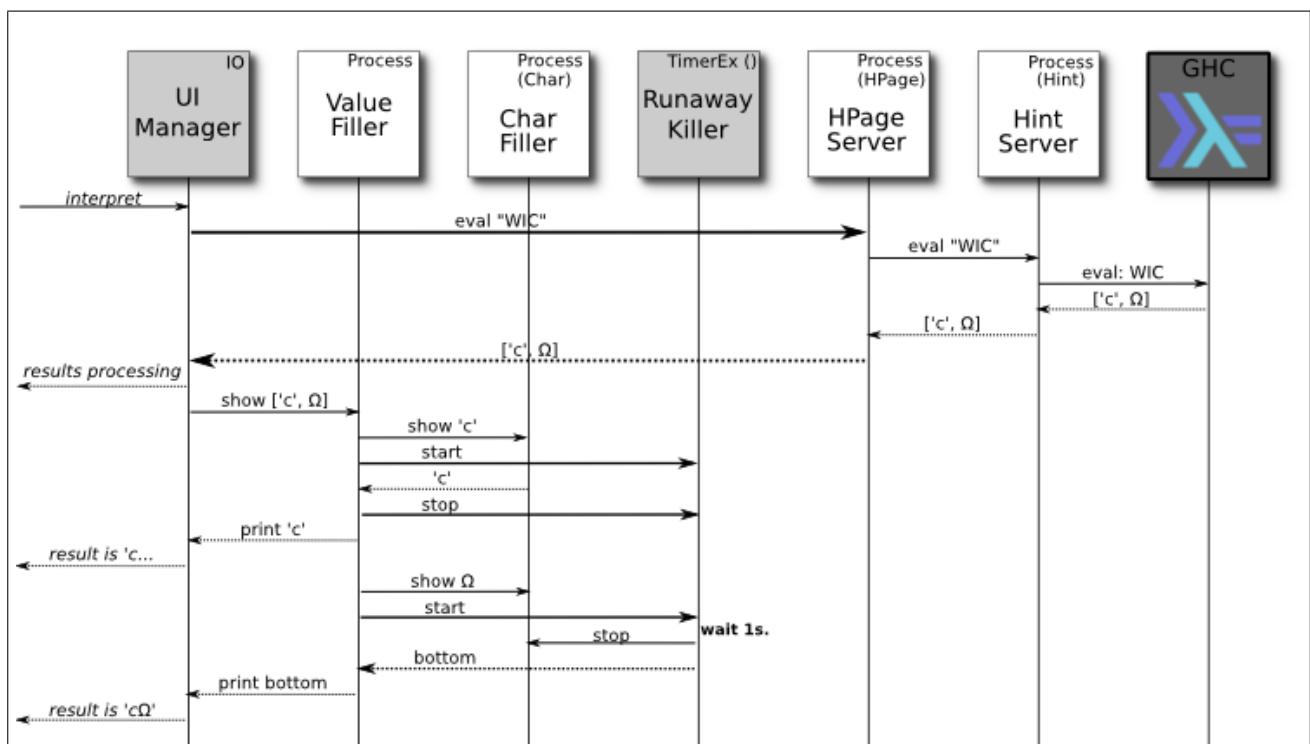


Figura 28: Secuencia de Evaluación de “WIC”

4.2. Diseño

Design and programming are human activities;
forget that and all is lost

Bjarne Stroustrup

Presentaremos a continuación las principales decisiones de diseño que se han tomado durante la creación de λPage . Todas ellas tienen como fundamento los requerimientos principales exhibidos en la sección anterior y también algunos requerimientos adicionales, como la integración con *Cabal* y *Hayoo!*.

4.2.1. Concurrencia

Como hemos visto en la sección anterior, al momento de diseñar λPage tuvimos que considerar la necesidad de paralelizar tareas, para permitir al usuario, por ejemplo, trabajar en un documento mientras el motor de λPage evalúa una expresión. También debemos considerar que estas tareas a realizar en paralelo no son totalmente independientes sino que requieren una sincronización. Tomando la idea del modo en que está diseñado el lenguaje de programación *Erlang*, decidimos implementar el paralelismo utilizando lo que denominamos procesos. Conceptualmente, los procesos son hilos de ejecución que se realizan en paralelo y pueden recibir o enviar mensajes. Esta característica de mensajería entre procesos es la que permite la sincronía cuando es necesaria. Por otra parte, a diferencia de *Erlang*, al utilizar *Haskell*, los mensajes enviados de un proceso a otro pueden ser mucho más complejos. Gracias al uso de mónadas, un proceso puede enviar a otro directamente las acciones que desea que éste ejecute, tal como deben ser ejecutadas. Esta es una característica esencial para reducir la complejidad de la implementación de todos nuestros procesos, en particular de aquellos que actúan como servidores (**IO Server**, **HPage Server** y **Hint Server**), como veremos luego en la sección *Implementación*.

4.2.2. Bottoms

El lenguaje *Haskell* tiene una característica única: *la evaluación perezosa* o *lazy evaluation*. Gracias a esta característica, las expresiones *Haskell* no son completamente evaluadas (reducidas a forma normal) hasta el momento en que realmente se necesita conocer su valor. Dado que λPage presenta al usuario un interprete de expresiones, es necesario que esté preparado para no sólo soportar sino también aprovechar esta característica. En particular, dentro de λPage las expresiones son reducidas a forma normal al momento de intentar mostrar el resultado de su evaluación al usuario. En ese momento, lo único que se sabe es que la expresión a mostrar es de clase *Show*, lo que quiere decir que la misma es de tipo `[Char]`. λPage intenta entonces evaluar la expresión a mostrar y pueden suceder varias cosas:

- Por supuesto, puede suceder que al evaluar la expresión se obtenga una cadena de caracteres, en cuyo caso λPage simplemente presentará el resultado al usuario
- Puede suceder que, intentando evaluar la expresión se obtenga una cadena de caracteres de longitud infinita. La política de λPage en este caso es permitir al usuario decidir cuándo desea abortar la evaluación y mostrar la porción del resultado obtenida hasta ese momento

- Puede suceder también que, intentando evaluar un carácter, se genere un cálculo “infinito” o una excepción. En este caso también, ***λPage*** permite al usuario cancelar la evaluación cuando lo considere apropiado.
- Otra posibilidad es que, luego de presentar un carácter, al intentar obtener el resto de la cadena, ***λPage*** encuentre un cálculo “infinito” o una excepción. En estos casos, se informa la situación al usuario y se aborta la evaluación de la expresión.

4.2.3. Integración

Una de las herramientas más comúnmente usada por los desarrolladores Haskell es *Cabal*. *Cabal* (Common Architecture for Building Applications and Libraries) es una API distribuida con GHC que permite a un desarrollador agrupar fácilmente un conjunto de módulos para producir un paquete. Es el sistema de compilación estándar para las aplicaciones y bibliotecas de *Haskell*. En un paquete *Cabal*, el desarrollador define los módulos que componen su aplicación o biblioteca, los lugares (carpetas) donde encontrar el código fuente y los recursos que éstos necesitan para funcionar, junto con las extensiones que se requieren para poder compilarlos.

λPage por su parte, permite al desarrollador cargar o importar módulos para poder utilizarlos al momento de evaluar expresiones. También permite definir los lugares donde el compilador puede encontrar archivos fuentes y las extensiones que éste debe utilizar al momento de compilar los archivos encontrados.

Observando estas similitudes, una integración con *Cabal* es algo que surge de manera natural y ***λPage*** lo provee. ***λPage*** permite al desarrollador cargar un paquete *Cabal* previamente configurado y de ese modo utilizar los módulos, extensiones y ubicaciones en él definidos.

Otra herramienta, quizás no tan popular como *Cabal*, pero también muy útil es *Hayoo!*. *Hayoo!* es un motor de búsqueda especializado en la documentación de la API de *Haskell*. El objetivo de *Hayoo!* es proporcionar una interfaz de búsqueda interactiva y fácil de usar para la documentación de varios paquetes y bibliotecas *Haskell*. Conociendo esta herramienta, decidimos integrarla con ***λPage*** de modo que el desarrollador pueda realizar consultas en su base de datos para obtener información sobre alguna función, tipo, módulo, clase o expresión que desee analizar.

4.3. Implementación

Nothing resolves design issues like an implementation

J. D. Horton

A child of five would understand this. Send someone to fetch a child of five

Groucho Marx

4.3.1. eprocess

Para la implementación de eprocess, nuestra librería de procesos, utilizamos dos herramientas de paralelismo y concurrencia que se encuentran muy bien descriptas en el libro *Real World Haskell* [32]. Utilizamos *Threads* para paralelizar procesos y *Channels* y *MVars* para permitirles comunicarse. Definimos entonces un tipo monádico para representar a las acciones a realizarse en procesos paralelos de tipo *m*, tales que retornan expresiones de tipo *a* y pueden recibir elementos de tipo *r*:

```
newtype ReceiverT r m a = RT { internalReader :: ReaderT (Handle r) m a }
    deriving (Monad, MonadIO, MonadTrans, MonadCatchIO)
```

Individualizamos luego este tipo genérico, definiendo el tipo **Process**:

```
type Process r = ReceiverT r IO
```

Finalmente definimos las funciones que permiten la ejecución y mensajería entre procesos:

```
spawn :: MonadIO m => Process r k -> m (Handle r)
kill :: MonadIO m => Handle a -> m ()
self :: Monad m => ReceiverT r m (Handle r)
sendTo :: MonadIO m => Handle a -> a -> m ()
recv :: MonadIO m => ReceiverT r m r
```

Las funciones **spawn** y **kill** inician y detienen un proceso respectivamente. **spawn** retorna como resultado un **Handle**, que identifica únicamente al proceso y permite enviarle mensajes utilizando la función **sendTo**. Cabe notar que esta función no necesita ser utilizada dentro de un *process* sino simplemente en cualquier instancia de la clase **MonadIO**. De este modo, el *thread* que haya ejecutado **spawn** puede ejecutar **sendTo** para enviar mensajes al proceso que ha iniciado.

Luego, dentro de una instancia de **ReceiverT** se puede utilizar la función **self** para conocer el propio **Handle** y **recv** para recibir mensajes. Cabe notar que **recv** se ejecuta de manera bloqueante, emulando el comportamiento de la función **receive** de *Erlang*.

4.3.2. Servers

Con el objetivo de separar la interacción con GHC del resto de la ejecución del sistema y de esta manera, poder capturar sus excepciones y aislarlas, hemos encapsulado la ejecución de estas acciones (correspondientes a la mónada **Interpreter**) en un proceso particular, al que denominamos **Hint Server**. Por otra parte, con objetivos similares, decidimos aislar la ejecución de las acciones propias de λ **PAGE** (correspondientes a la mónada **HPage**) de las relativas a la interfaz de usuario, para lo cual creamos el proceso **HPage Server**. A su vez, también fue necesario ejecutar acciones de la mónada **IO** en un contexto controlado, por lo que desarrollamos el proceso **IO Server**. Gracias al uso de mónadas y los mecanismos provistos por eprocess, pudimos construir éstos servers de una manera sencilla. Mostramos, a modo de ejemplo e incluyendo comentarios explicativos, el código más significativo de uno de ellos:

```

— Para comenzar definimos un tipo ‘‘ServerHandle’’, que debe ser utilizado para
— enviarle mensajes al servidor
newtype ServerHandle = SH {handle :: Handle (InterpreterT IO ())}

— Convertimos a (ReceiverT r m) en una instancia de MonadInterpreter para poder
— ejecutar las acciones que esperamos recibir como mensajes
instance MonadInterpreter m => MonadInterpreter (ReceiverT r m) where
    fromSession = lift . fromSession
    modifySessionRef a = lift . (modifySessionRef a)
    runGhc = lift . runGhc

— Definimos una función que inicia el servidor y retorna su handle
— El servidor simplemente recibe acciones de tipo MonadInterpreter
— y las ejecuta utilizando la función lift
start :: IO ServerHandle
start = (spawn $ makeProcess runInterpreter interpreter) >>= return . SH
    where interpreter =
        do
            setImports ["Prelude"]
            forever $ recv >>= lift

— Definimos una función para ejecutar acciones asincronicamente
— Esta función recibe la acciona a ejecutar junto con el handle del servidor
— y devuelve una MVar que llenara con el resultado de la acción
asyncRunIn :: ServerHandle -> InterpreterT IO a
    -> IO (MVar (Either InterpreterError a))
asyncRunIn server action = do
    resVar <- liftIO newEmptyMVar
    sendTo (handle server) $ try action >>= liftIO . putMVar resVar
    return resVar

— Definimos tambien una función para ejecutar resultados sincronicamente
— Esta función envia al servidor la acciona a ejecutar y espera recibir el
— resultado para luego devolverlo
runIn :: ServerHandle -> InterpreterT IO a
    -> IO (Either InterpreterError a)
runIn server action = runHere $ do

```

```

me <- self
sendTo (handle server) $ try action >>= sendTo me
recv

-- Finalmente, definimos una funcion que detiene al servidor utilizando la
-- la funcion kill
stop :: ServerHandle -> IO ()
stop = kill . handle

```

Cabe destacar la simpleza de este módulo que, con no más de 25 líneas de código es capaz de ejecutar todas las acciones que provee *hint* en un proceso aislado y controlado.

4.3.3. Módulos de *λPage*

El módulo principal de la aplicación es el denominado **HPage.Control**. Este módulo describe la mónada **HPage** e incluye todas las acciones que pueden realizarse en ella. Es el encargado de mantener el estado del sistema, para lo cual hemos definido un tipo de datos llamado **Context**, que mostraremos a continuación.

Los principales componentes del estado del sistema son:

activePackage El paquete *Cabal* activo, si es que se ha cargado alguno.

pages Las páginas que el usuario está viendo. Cabe notar que un usuario puede tener varias páginas activas a la vez, una con cada documento.

loadedModules / importedModules Los módulos que el usuario ha cargado / importado

server El handle del **Hint Server** que el mismo **HPage Server** inicia y mantiene

ioServer El handle del **IO Server** que el mismo **HPage Server** inicia y mantiene

running La acción que se encuentra ejecutándose de manera asincrónica, si es que hay alguna

recoveryLog El log de acciones realizadas hasta el momento, útil al momento de detener el **Hint Server**

```

newtype Expression = Exp {exprText :: String}
    deriving (Eq, Show)

data InFlightData = LoadModules { loadingModules :: Set String ,
                                    runningAction :: Hint.InterpreterT IO () }
                    |
                    ImportModules { importingModules :: Set String ,
                                    runningAction :: Hint.InterpreterT IO () }
                    |
                    SetSourceDirs { settingSrcDirs :: [FilePath] ,
                                    runningAction :: Hint.InterpreterT IO () }

```

```

        } |
SetGhcOpts { settingGhcOpts :: String ,
             runningAction :: Hint.InterpreterT IO ()
           } |
Reset

data Page = Page { — Display —
                  expressions :: [ Expression ] ,
                  currentExpr :: Int ,
                  undoActions :: [ HPage () ] ,
                  redoActions :: [ HPage () ] ,
                  — File System —
                  original :: [ Expression ] ,
                  filePath :: Maybe FilePath
                }

data Context = Context { — Package —
                           activePackage :: Maybe PackageIdentifier ,
                           pkgModules :: [ Hint.ModuleName ] ,
                           — Pages —
                           pages :: [ Page ] ,
                           currentPage :: Int ,
                           — GHC State —
                           loadedModules :: Set String ,
                           importedModules :: Set String ,
                           extraSrcDirs :: [ FilePath ] ,
                           ghcOptions :: String ,
                           server :: HS.ServerHandle ,
                           ioServer :: HPIO.ServerHandle ,
                           — Actions —
                           running :: Maybe InFlightData ,
                           recoveryLog :: Hint.InterpreterT IO ()
                         }

```

Notese que el paquete *Cabal*, las extensiones y los módulos cargados o importados, etc. son independientes de las páginas con las que el usuario esté trabajando, por lo que el usuario por ejemplo no puede manejar dos paquetes *Cabal* a la vez. Ésto se debe a que la API de *GHC* no permite la utilización de *multi-threading*, por lo tanto, dentro de un programa sólo puede haber una única lista de módulos cargados/importados, una única lista de extensiones, etc.

También debe notarse que mucha de la información de estado guardada en el **Context** es “redundante” pues se configura directamente en el **Hint Server**. Eso se debe a que ante la eventual caída del **Hint Server**, el **HPage Server** lo reinicia y restaura su estado utilizando esos datos.

Finalmente, `running` y `recoveryLog` se utilizan para permitir al usuario cancelar acciones que intenta ejecutar. Cada acción que se desea realizar de forma asíncrona, devuelve una `MVar` que se llenará en caso de finalizar la acción con éxito y se acumulará en el `recoveryLog`. En caso de cancelar, el **HPage Server** reinicia al **IO Server** y al **Hint Server**, configura a este último según los demás parámetros (ej: `ghcOptions`) y vuelve a ejecutar el `recoveryLog` para “ponerlo al día”.

El estado de las páginas con las que el usuario trabaja está definido como una lista de expresiones y dos listas de acciones para permitir el uso de *undo* y *redo*. Finalmente, si la página corresponde a un archivo en disco, `λPage` identifica el “path” del mismo para poder guardarlo o recargarlo de ser necesario.

Gracias a haber separado la lógica correspondiente a la interfaz de usuario y la propia de `λPage`, hemos podido desarrollar esta última utilizando la técnica de TDD (Test Driven Development) [21]. Para ello utilizamos `QuickCheck` [29], una herramienta que nos permitió ir desarrollando y verificando tests de manera incremental hasta alcanzar la actual definición del **HPage Server**. Los tests desarrollados pueden ser ejecutados utilizando el siguiente comando:

```
$ cabal test hpage
```

4.3.4. UI

La interfaz gráfica de `λPage` está desarrollada utilizando `wxHaskell`, un framework elegido por ser multiplataforma y, gracias a estar construido sobre `wxWidgets`, presentar un “look&feel” nativo en distintos entornos. `wxHaskell` es un framework sencillo para utilizar y entender y, pese a que aún se encuentra en período de evolución, es suficientemente estable. Sin embargo, tal como puede verse en `wxhNotepad` hemos tenido que superar varios escollos hasta lograr una UI estable e intuitiva. A los lectores interesados en estos detalles técnicos les recomendamos los artículos escritos por Jeremy O’Donoghue en su tutorial [Building a text editor](#) [31].

5. Resultados

5.1. Objetivos Alcanzados

Results! Why, man? I have gotten a lot of results. I know several thousand things that wont work

Thomas A. Edison
Kids, you tried your best and you failed miserably. The lesson is: “never try”

Homer Simpsons

A primera vista, ***λPage*** puede parecer simplemente un editor de texto al que se le agrega la posibilidad de interpretar expresiones *Haskell*. Esta visión es cierta, y en sí misma es un avance con respecto a las herramientas ya existentes pues permite intercalar en un mismo documento texto libre y expresiones *Haskell*.

Sin embargo, ***λPage*** presenta varios atributos que generan un importante valor agregado:

- Permite configurar el entorno manual o automáticamente en base a un paquete *Cabal*
- Permite buscar documentación sobre expresiones *Haskell* utilizando *Hayoo!*
- Permite al usuario editar texto mientras espera el resultado de la evaluación de una expresión
- Permite visualizar y analizar expresiones que contengan errores, “bottoms” o que generen cálculos “infinitos”

Son todas estas características las que convierten a ***λPage*** en una herramienta de gran utilidad para todo desarrollador *Haskell*, desde el estudiante universitario que generalmente se encuentra frente a la necesidad de “entender” funciones del lenguaje y así aprenderlo hasta el desarrollador avanzado que necesita debuggear sus aplicaciones.

5.2. Trabajo a Realizar

Inside every large program, there is a small
program trying to get out

C.A.R. Hoare
I'm a man with a one-track mind, so much to
do in one life-time

Queen

λ Page es todavía una aplicación en desarrollo y de código abierto. Aún queda mucho por hacer y por eso la hemos publicado en internet utilizando [github](#) [6]. Gracias a este servicio, se encuentra habilitada [una lista de bugs y sugerencias](#) en constante actualización. Entre las tareas que allí se encuentran al día de hoy, cabe destacar:

ByteStrings Las aplicaciones *Haskell* tradicionales manejan el texto utilizando **Strings** (o sea, listas de caracteres), pero ya se encuentra a disposición del desarrollador *Haskell* una nueva herramienta que permite manejar texto de una manera más óptima: **ByteStrings**. **λ Page** utiliza en su mayoría **Strings** y podría ser optimizado migrando la mayor cantidad posible a **ByteStrings**.

Mejoras Visuales La UI de **λ Page** tiene mucho por mejorar y optimizar. Ejemplos de esto son el coloreo de código y la autocompletación. *wxHaskell* se encuentra en constante desarrollo y sus optimizaciones deberían ser aprovechadas por **λ Page** cuando sea posible.

Cabal La actual integración con *Cabal* cubre lo básico de la configuración de paquetes, como las extensiones y los módulos, pero *Cabal* permite describir varias cosas más que podrían ser aprovechadas por **λ Page** como la ubicación de librerías y otros archivos.

Auto Reload Una característica que sería muy útil agregar a **λ Page** es la recarga automática de los módulos modificados. De este modo, el desarrollador no necesitaría presionar el botón “reload” cada vez que modifica un módulo para que **λ Page** tome los cambios realizados.

6. Agradecimientos

Este proyecto nunca se podría haber llevado a cabo sin la ayuda de muchas personas que contribuyeron de una u otra manera a su realización. Entre ellas debemos agradecer especialmente a quienes nos han ayudado en la comprensión, **corrección** y manejo de *wxHaskell*: [Arjan van IJzendoorn](#), [Eric Y. Kow](#) y [Jeremy O. Donoghue](#). También queremos agradecer a [Timo B. Hübel](#) y [Sebastian M. Schlat](#) que nos han permitido integrar λ **Page** con su herramienta *Hayoo!*. Y no podríamos dejar de mencionar a nuestros “beta-testers”: [Abram Hindle](#), [Mariano Perez Rodriguez](#), [Facundo Villanueva](#), [Federico Grassi](#) y [Bernabé Panarello](#). Por último, pero no por eso menos importante, queremos agradecer a [Darío Ruellan](#) quien ha creado nuestra [página web](#).

Personalmente yo, [Fernando Benavides](#), quisiera agradecer a mi mujer, Constanza Zappala, que me ha acompañado, ayudado y soportado durante el más de un año y medio que duró el desarrollo de este proyecto, a Juan José Comellas, Alejandro Tolomei, Francisco de Ezcurra y toda la gente de [Novamens S.A.](#), la empresa en la que trabajo, por su interés y contribución al proyecto, a todos los profesores de *Algorítmos I* (Incluida la Caja Vengadora) y *Paradigmas de Lenguajes de Programación* por introducirme en el apasionante mundo de la programación funcional y especialmente en *Haskell*, y por supuesto, a mis profesores Daniel Gorín y Diego Garverbetsky, que desde el primer momento creyeron en mí y en esta idea loca de “hacer algo parecido a las cosas que tienen los que trabajan con objetos” con la que llegué a aquella primera reunión con ellos.

Referencias

- [1] Couchdb [online]. Available from: <http://couchdb.apache.org>.
- [2] ejabberd [online]. Available from: <http://www.ejabberd.im>.
- [3] Erlang [online]. Available from: <http://www.erlang.org>.
- [4] Ghci [online]. Available from: http://www.haskell.org/ghc/docs/latest/html/users_guide/ghci.html.
- [5] Ghci debugger [online]. Available from: http://www.haskell.org/ghc/docs/6.10-latest/html/users_guide/ghci-debugger.html.
- [6] Github [online]. Available from: <http://github.com>.
- [7] The glasgow haskell compiler [online]. Available from: <http://www.haskell.org/ghc>.
- [8] Hackagedb [online]. Available from: <http://hackage.haskell.org>.
- [9] Haskell [online]. Available from: <http://www.haskell.org>.
- [10] The haskell cabal [online]. Available from: <http://www.haskell.org/cabal>.
- [11] Haskell platform [online]. Available from: <http://hackage.haskell.org/platform/>.
- [12] Hat - the haskell tracer [online]. Available from: <http://www.haskell.org/hat>.
- [13] Hayoo! [online]. Available from: <http://holumbus.fh-wedel.de/hayoo>.
- [14] Java scrapbook pages [online]. Available from: <http://help.eclipse.org/help33/index.jsp?topic=/org.eclipse.jdt.doc.user/reference/ref-34.htm>.
- [15] Microsoft visual c++ 2008 sp1 redistributable package (x86) [online]. Available from: <http://www.microsoft.com/downloads/details.aspx?familyid=A5C84275-3B97-4AB7-A40D-3802B2AF5FC2>.
- [16] Smalltalk [online]. Available from: <http://www.smalltalk.org>.
- [17] Smalltalk workspace [online]. Available from: <http://wiki.squeak.org/squeak/1934>.
- [18] Wxhaskell [online]. Available from: <http://haskell.org/haskellwiki/WxHaskell>.
- [19] Wxwidgets [online]. Available from: <http://www.wxwidgets.org/>.
- [20] Java [online]. October 2007. Available from: <http://www.java.com>.
- [21] Kent Beck. Test Driven Development: By Example. Addison-Wesley Professional, 2002.
- [22] Fernando Benavides. eprocess. <http://hackage.haskell.org/package/eprocess>, October 2009. Available from: <http://hackage.haskell.org/package/eprocess>.
- [23] Fernando Benavides. λpage [online]. 2009. Available from: <http://haskell.hpage.com>.
- [24] Fernando Benavides. wxhnotepad, December 2009. Available from: <http://github.com/elbrujojalcon/wxhnotepad>.
- [25] Fernando Benavides. hfiar [online]. January 2010. Available from: <http://hackage.haskell.org/package/hfiar>.

- [26] Paradigmas de Lenguajes de Programación. Práctica de Programación Funcional. Universidad de Buenos Aires, Segundo Cuatrimestre 2009. Available from: <http://www.dc.uba.ar/materias/plp/cursos/2009/cuat2/descargas/guias/Practica-funcional.pdf>.
- [27] Daniel Gorín. Hint. <http://projects.haskell.org/hint>, January 2009.
- [28] Keith Hanna. A document-centered environment for haskell. April 2005. Available from: <http://www.cs.kent.ac.uk/projects/vital/description/2005/all.ps>.
- [29] John Hughes Koen Claessen. Quickcheck [online]. Available from: <http://www.cs.chalmers.se/~rjmh/QuickCheck/>.
- [30] Wilf R. LaLonde and John R. Pugh. Inside Smalltalk: vol. 1, volume I, page 71. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA, 1990.
- [31] Jeremy O'Donoghue. Building a text editor. <http://wewantarock.wordpress.com>, January 2010.
- [32] Bryan O'Sullivan, John Goerzen, and Don Stewart. Real World Haskell. O'Reilly Media, Inc., 1 edition, 2008.
- [33] Chris Piro. Facebook chat, February 2009. Available from: http://www.facebook.com/note.php?note_id=51412338919.