

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Escuela de Ingeniería en Computación  
IC-5701 Compiladores e intérpretes  
Proyecto #2, la fase de análisis contextual de un compilador

Historial de revisiones:

- 2020.06.21: Versión base (v0). Precedido por comunicaciones y ejemplos en clase.

**Lea con cuidado este documento.** Si encuentra errores en el planteamiento<sup>1</sup>, por favor comuníquelos inmediatamente al profesor.

### Objetivo

Al concluir este proyecto Ud. habrá terminado de comprender los detalles relativos a fase de análisis contextual de un compilador escrito "a mano" usando las técnicas expuestas por Watt y Brown en su libro *Programming Language Processors in Java*. Ud. deberá extender el compilador del lenguaje  $\Delta$  (escrito en Java), desarrollado por Watt y Brown, de manera que sea capaz de procesar el lenguaje descrito en el enunciado del Proyecto #1 y en la sección *Lenguaje fuente* que aparece abajo. Su compilador será la modificación de uno existente, de manera que sea capaz de procesar el lenguaje  $\Delta$  extendido conforme las características contextuales (identificación y tipos) especificadas en este documento. Además, su compilador deberá coexistir con un ambiente de edición, compilación y ejecución ("IDE"). Se le suministra un IDE construido en Java por el Dr. Luis Leopoldo Pérez, ajustado por estudiantes de Ingeniería en Computación del TEC.

### Base

Para entender las técnicas expuestas en el libro de texto, Ud. podrá estudiar el compilador del lenguaje imperativo  $\Delta$  y el intérprete de la máquina abstracta TAM, ambos desarrollados en Java por los profesores David Watt y Deryck Brown. Los compiladores e intérpretes han sido ubicados en la carpeta 'Recursos' del curso, para que Ud. los descargue y estudie, para luego modificarlos según lo especificado en los proyectos del curso. En el repositorio también pueden encontrar un ambiente interactivo de edición, compilación y ejecución (IDE) desarrollado por el Dr. Luis Leopoldo Pérez (implementado en Java) y corregido por los estudiantes Pablo Navarro y Jimmy Fallas. Si desea aprender acerca de cómo integrar el IDE y el compilador, siga las indicaciones preparadas por nuestro ex-asistente, Diego Ramírez Rodríguez, en cuanto a las partes del compilador que debe desactivar para poder trabajar, así como los ajustes necesarios para que el IDE y el compilador funcionen bien conjuntamente. *No se darán puntos extra a los estudiantes que desarrollen su propio IDE; no* es objetivo de este curso *desarrollar* IDEs para lenguajes de programación. Sin embargo, si uno o más grupos de estudiantes aportan un IDE interesante, podemos considerarlo para futuras ediciones de este curso.

¡Lea los apéndices **B** y **D** del libro de Watt y Brown, así como el código del compilador, para comprender el lenguaje fuente original (que vamos a extender) y las interdependencias entre las partes del compilador!

En clases dimos sugerencias sobre cómo abordar algunos de los retos que plantea la extensión de  $\Delta$  sujeto de este proyecto. Ud. extenderá el compilador que resultó de su trabajo en el Proyecto #1 de este curso (aunque es lícito basarse en trabajo de otros compañeros, según indicamos abajo).

Si su proyecto *anterior* fue deficiente, *puede utilizar el programa desarrollado (para el Proyecto #1) por otros compañeros como base para esta tarea programada, pero deberá pedir la autorización de reutilización a sus compañeros y darles créditos explícitamente* en la documentación del proyecto que presenta el equipo del cual Ud. es miembro<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> El profesor es un ser humano, falible como cualquiera.

<sup>2</sup> Asegúrese de comprender bien la representación que sus compañeros hicieron para los árboles de sintaxis abstracta, la forma en que estos deben ser recorridos, y las implicaciones que tienen las decisiones de diseño tomadas por ellos, pero en el contexto de los requerimientos de este Proyecto #2..

## Entradas

Los programas de entrada serán suministrados en archivos de texto. Los archivos fuente deben tener la terminación `.tri`. Si su equipo ‘domestica’ un IDE, como el suministrado por el profesor o alguno alterno, puede usarlo en este proyecto. En ese caso, el usuario seleccionará el archivo que contiene el texto del programa fuente desde el ambiente de programación (IDE), o bien lo editará en la ventana que el IDE provea para el efecto (que también debe permitir guardarlo de manera persistente).

## Lenguaje fuente

### Sintaxis

Remítase a la especificación del Proyecto #1 (‘IC-5701 2020-1 Proyecto 1 v0.pdf’).

### Contexto: identificación y tipos

Usaremos las reglas sintácticas del lenguaje  $\Delta$  extendido para indicar las restricciones de contexto. Interprete las reglas sintácticas desde una perspectiva contextual, esto es, vea en ellas *árboles de sintaxis abstracta* y no secuencias de símbolos. En lo que sigue usaremos las siguientes *meta-variables* para hacer referencia a árboles de sintaxis abstractas de las clases sintácticas indicadas<sup>3</sup>:

<ul style="list-style-type: none"><li>• <math>V</math>: V-name</li><li>• <math>Id, N, Id_1, Id_2, Id_p, Id_q</math>: Identifier</li><li>• <math>Exp, Exp_1, Exp_2, Exp_3, Exp_i</math>: Expression</li><li>• <math>Com, Com_1, Com_2</math>: Command</li><li>• <math>Dec, Dec_1, Dec_2, Dec_3</math>: Declaration</li><li>• <math>TD</math>: Type-denoter</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <math>PF_1, PF_2, PF_i, PF_n</math>: Proc-Func</li><li>• <math>PFs</math>: Proc-Func*</li><li>• <math>FPS</math>: Formal-Parameter-Sequence</li><li>• <math>Il</math>: Integer-Literal</li><li>• <math>Cl</math>: Character-Literal</li></ul>
---	---

El comando **nil** no requiere de revisión contextual, pues no depende de tipos ni de declaraciones de identificadores.

Considere el *comando* de asignación,  $V := Exp$ . Las restricciones contextuales son:

- $V$  debe haber sido declarada como una *variable*<sup>4</sup>.
- $Exp$  debe tener el mismo tipo que se declaró o se infirió para la variable  $V$ .

Considere estos comandos repetitivos añadidos a  $\Delta$ :

```
repeat while  $Exp$  do  $Com$  end
repeat until  $Exp$  do  $Com$  end
repeat do  $Com$  while  $Exp$  end
repeat do  $Com$  until  $Exp$  end
```

Las restricciones contextuales son:

- $Exp$  debe ser de tipo Boolean.
- $Com$  y sus partes deben satisfacer las restricciones contextuales<sup>5</sup>.

En el comando de repetición controlada por contador

```
repeat var  $Id$  in  $Exp_1$  to  $Exp_2$  do  $Com$  end
```

las restricciones son:

- $Exp_1$  y  $Exp_2$  deben ser ambas de tipo *entero*. Los tipos de  $Exp_1$  y  $Exp_2$  deben ser determinados en el contexto en el que aparece *este* comando **repeat\_var\_in\_to\_do\_end**.

---

<sup>3</sup> Usamos los subíndices de manera liberal.

<sup>4</sup> Recuerde que tenemos *dos* formas de declaración de variables: variable con tipo y variable inicializada. También los parámetros formales **var** declaran variables.

<sup>5</sup> Observe que ésta, como muchas de las restricciones contextuales, se formulan de manera recursiva. Es decir, ‘están bien’ en todos sus niveles de anidamiento.

- *Id* es conocida como la “variable de control”. *Id* es de tipo entero. *Id* es **declarada** en este comando y su alcance es *Com*; *esta* declaración de *Id* **no** es conocida por *Exp<sub>1</sub>* ni por *Exp<sub>2</sub>*.
- *Com* debe cumplir con las restricciones contextuales. Su contexto es el mismo que rige el comando **repeat\_var\_in\_to\_do\_end** dentro del cual aparece *Com*, enriquecido por la variable de control *Id*.
- La variable de control *Id* **no** puede aparecer a la izquierda de una asignación ni pasarse como parámetro **var**<sup>6</sup> en la invocación de un procedimiento o función dentro del cuerpo del comando repetitivo **repeat\_var\_in\_to\_do\_end**<sup>7</sup>.
- Este comando repetitivo *funciona como un bloque* al declarar una variable local (la variable de control). Las reglas usuales de anidamiento aplican aquí (si se re-declara la variable en un comando, en una expresión, en una lista de parámetros o en cualquier bloque anidado, esta es *distinta* y hace inaccesible la variable de control declarada en el **repeat\_var\_in\_to\_do\_end**, que sería más externa).

El condicional de  $\Delta$  extendido fue modificado solo sintácticamente. Las expresiones *Exp* deben ser booleanas. *Com<sub>1</sub>* y *Com<sub>2</sub>*, así como sus partes, deben satisfacer las restricciones contextuales

**if** *Exp* **then** *Com<sub>1</sub>* (**elsif** *Exp<sub>i</sub>* **then** *Com<sub>i</sub>*)\* **else** *Com<sub>2</sub>* **end**

El comando

**let** *Dec* **in** *Com* **end**

se analiza contextualmente de manera idéntica al comando correspondiente en  $\Delta$  original (el original no tiene **end** y ahora permitimos Command en lugar del single-Command original, pero esos son asuntos sintácticos).

Los parámetros de una abstracción (función o procedimiento) forman parte de un nivel léxico (alcance) inmediatamente más profundo que aquel en el cual aparece el identificador de la abstracción que los declara<sup>8</sup>. *Usted debe verificar que ningún nombre de parámetro se repita dentro de la declaración de una función o procedimiento (en el encabezado).*

Veamos la declaración de variable inicializada:

**var** *Id* **:=** *Exp*

Aquí, el tipo de la *variable* inicializada *Id* debe inferirse a partir del tipo de la expresión inicializadora *Exp*<sup>9</sup>. *Id* se “exporta” al resto del bloque donde aparece esta declaración.

En una declaración **private** *Dec<sub>1</sub>* **in** *Dec<sub>2</sub>* **end**, los identificadores declarados en *Dec<sub>1</sub>* son conocidos *exclusivamente* en *Dec<sub>2</sub>*. Únicamente se “exportan” los identificadores declarados en *Dec<sub>2</sub>*. Observe que tanto *Dec<sub>1</sub>* como *Dec<sub>2</sub>* son declaraciones generales (Declaration)<sup>10</sup>.

En una declaración **rec** *PFs* **end** se permite combinar las declaraciones de varios procedimientos o funciones, de manera que puedan invocarse unos a otros (para posibilitar la recursión mutua).

- Consideremos primero el caso de *dos* declaraciones: **rec** *PF<sub>1</sub>* **and** *PF<sub>2</sub>* **end**. Allí se declaran funciones y(o) procedimientos mutuamente recursivos: el identificador<sup>11</sup> declarado en *PF<sub>1</sub>* es conocido por *PF<sub>2</sub>*, y viceversa.
- Los nombres de función o procedimiento que aparecen en *PF<sub>1</sub>* y *PF<sub>2</sub>* deben ser todos *distintos*.
- Las secuencias de parámetros que aparecen en *PF<sub>1</sub>* y *PF<sub>2</sub>* están en un nivel de profundidad léxica mayor que el de los nombres de la función o procedimiento que les corresponden.

<sup>6</sup> No podrá pasarse por referencia.

<sup>7</sup> En clase discutimos que, en el cuerpo de este comando repetitivo (*Com*), la ‘variable’ de control *Id* en realidad debe comportarse como una *constante*.

<sup>8</sup> Es decir, los parámetros se comportan como identificadores declarados localmente en el bloque de la función o procedimiento. Repase lo expuesto en el libro de Watt y Brown, el código del compilador de  $\Delta$  original en Java, así como lo discutido en clases.

<sup>9</sup> El procesamiento es semejante al que se hace para la declaración **const** *Id*  $\sim$  *Exp*. La diferencia es que, en el caso que nos ocupa, se está declarando a *Id* como una *variable*, **no** como una *constante*. Un identificador declarado como *variable* sí puede ser destino de una asignación o ser pasado por referencia en una invocación a procedimiento o función.

<sup>10</sup> Revise lo explicado en clases.

<sup>11</sup> Ese identificador da nombre a la función o al procedimiento.

- Se "exportan"<sup>12</sup> los identificadores de función o de procedimiento declarados en  $PF_1$  y  $PF_2$ . Los *parámetros* declarados en un encabezado de función o de procedimiento son *privados* (es decir, *locales*) y, por lo tanto, no se "exportan".
- En el caso general, es posible declarar dos o más procedimientos o funciones como mutuamente recursivos. Sintácticamente: **rec**  $PF_1$  **and**  $PF_2$  **and** ... **and**  $PF_n$  **end**. Todos los identificadores de *función* o *procedimiento* introducidos por las declaraciones  $PF_i$  ( $1 \leq i \leq n$ ) deben ser *distintos* y son conocidos al procesar los cuerpos de *todas* las funciones o procedimientos declarados en las  $PF_i$ .
- Es un error declarar más de una vez el mismo identificador<sup>13</sup> en las declaraciones simples que componen una misma declaración compuesta **rec**.
- Todos los identificadores de procedimiento o función declarados vía **rec** son "exportados"; esto es, son agregados al contexto subsiguiente y son conocidos después de la declaración compuesta **rec**<sup>14</sup>.
- Funciones o procedimientos *distintos* declarados vía **rec** pueden declarar *parámetros* con nombres idénticos pero en listas de parámetros distintas, eso *no* es problema.

### Extras

En un comando repetitivo con nombre *Id*

**repeat loop** *Id* **in** *Com* **end**

- *Id* el nombre del comando repetitivo indefinido. *Id* es *declarada* en este comando y su alcance es únicamente *Com*. *Esta* declaración de *Id* puede ser *explícitamente* referenciada por comandos **exit** *Id* o **next** *Id* que aparezcan dentro de *Com*. Ninguna otra referencia al nombre *Id* es válida dentro del alcance de este comando **repeat\_loop\_in\_end**.
- Las reglas de anidamiento de bloques y alcances aplican también aquí. Esto es, *Id* no es visible después del **end** de este comando repetitivo e *Id* puede ser redefinido en el interior de *Com*.
- Un comando **repeat\_loop\_in\_end** puede ser referenciado *implícitamente* por comandos **exit** o **next** anónimos (sin *Id*), que aparezcan dentro de *Com*, siempre que el **repeat\_loop\_in\_end** sea el más cercano a los comandos de escape **exit** o **next** (desde adentro hacia afuera).
- *Com* y sus partes deben respetar las restricciones contextuales.

Considere el comando repetitivo *sin nombre* (anónimo)

**repeat loop** **in** *Com* **end**

- Este comando **repeat\_loop\_in\_end** puede ser referenciado *implícitamente* por comandos **exit** o **next** anónimos (sin *Id*), que aparezcan dentro de *Com*, siempre que el **repeat\_loop\_in\_end** sea el más cercano a los comandos de escape **exit** o **next** (desde adentro hacia afuera).
- *Com* y sus partes deben satisfacer las restricciones contextuales.

Considere el comando de escape

**exit** *Id*

- El identificador *Id* debe corresponder a un comando repetitivo **repeat\_loop\_in\_end** que lleve ese nombre y que esté en el contexto del comando **exit** *Id*.

Considere el comando de escape

**exit**

- Este comando de escape anónimo debe tener en su contexto un comando **repeat\_loop\_in\_end**, que opcionalmente puede tener nombre.

<sup>12</sup> Después de la declaración **rec** los identificadores de procedimiento o función serán visibles y podrán ser utilizados por declaraciones subsiguientes.

<sup>13</sup> De función o procedimiento.

<sup>14</sup> Esto no sucede cuando **rec** aparece dentro de una declaración **private** (antes del **in**).

Considere el comando de escape

**next** *Id*

- El identificador *Id* debe corresponder a un comando repetitivo que lleve ese nombre y que esté en el contexto del comando **next** *Id*.

Considere el comando de escape

**next**

- Este comando de escape anónimo debe tener en su contexto un comando **repeat\_loop\_in\_end**, que opcionalmente puede tener nombre.

Considere el comando de retorno de procedimiento

**return**

- Este comando debe aparecer dentro del cuerpo de un procedimiento. No debe aparecer dentro del cuerpo de una función o como parte del programa (comando) principal.

### Proceso y salidas

Ud. modificará el procesador de  $\Delta$  extendido que preparó para el Proyecto #1, de manera que sea capaz de procesar las restricciones contextuales especificadas arriba.

- El analizador contextual debe realizar completamente el trabajo de identificación (manejo del alcance en la relación entre ocurrencias de definición y ocurrencias de aplicación de los identificadores) y realizar la comprobación de tipos sobre el lenguaje  $\Delta$  extendido; debe reportar la posición de *cada uno* de los errores contextuales detectados (esto es, avisar de *todos* los errores contextuales encontrados en el proceso).
- Las técnicas por utilizar son las expuestas en clase y en el libro de Watt y Brown. Recuerde las reglas contextuales que el profesor expuso en clase.
- Nos interesa que el analizador contextual deje el árbol sintáctico ‘decorado’ apropiadamente para la fase de generación de código subsiguiente (Proyecto #3)<sup>15</sup>. Esto es particularmente delicado para el procesamiento de la variante **var** del comando **repeat** y las nuevas formas de declaración compuesta.

Como se indicó, ustedes deben basarse en los programas que se le dan como punto de partida. Su programación debe ser consistente con el estilo presente en el procesador en Java usado como base, y ser respetuosa de ese estilo. En el código fuente deben incluir comentarios que indiquen claramente los lugares donde ustedes han introducido modificaciones.

*Debe dar crédito por escrito a cualquier otra fuente de información o ayuda.*

**Debe ser posible activar la ejecución del IDE de su compilador desde el Explorador de Windows haciendo clics sobre el ícono de su archivo .jar, o bien generar un .exe a partir de su .jar.** *Por favor indique claramente cuál es el archivo ejecutable del IDE, para que el profesor o su asistente puedan someter a pruebas su programa sin dificultades.*

### Documentación

Debe documentar clara y concisamente los siguientes puntos<sup>16</sup>:

#### *Analizador contextual*

- Describir la manera en que se comprueban los tipos para todas las variantes de **repeat ... end**.

---

<sup>15</sup> Esto comprende introducir información de tipos en los árboles de sintaxis abstracta (ASTs) correspondientes a expresiones, así como dejar “amarradas” las ocurrencias aplicadas de identificadores (poner referencias hacia el subárbol donde aparece la ocurrencia de definición correspondiente), vía la tabla de identificación. También interesa determinar si un identificador corresponde a una variable, etc.

<sup>16</sup> Nada en la documentación es opcional. La documentación tiene un peso importante en la calificación del proyecto.

- Describir la solución dada al manejo de alcance, del tipo y de la protección de la variable de control del **repeat var ... end**.
- Describir el procesamiento de la declaración de variable inicializada (**var Id := Exp**).
- Descripción de su validación de la unicidad<sup>17</sup> de los nombres de parámetros en las declaraciones de funciones o procedimientos.
- Describir la manera en que se procesa la declaración compuesta **private**. Interesa que la primera declaración introduzca identificadores que son conocidos *privadamente (localmente)* por la segunda declaración; al finalizar, se "exporta" solamente lo introducido por la segunda declaración.
- Describir el procesamiento de la declaración compuesta **rec**. Interesa la no-repetición de los identificadores *función* o de *procedimiento* declarados y que estos identificadores sean conocidos en los *cuerpos* de las funciones o procedimientos declarados en una misma declaración compuesta **rec**.
- Explicación del manejo del alcance que realizó para el comando **repeat\_loop\_in\_end**.
- Explicación de su comprobación de identificación de **exit** y **next**.
- Explicación del manejo que dio al comando de retorno temprano **return**.
- Nuevas rutinas de análisis contextual, así como cualquier modificación a las existentes.
- Lista de errores contextuales detectados.
- Plan de pruebas para validar el compilador. Debe separar las pruebas que validan la fase de análisis contextual, para no confundirlas con las pruebas dirigidas a validar los analizadores léxico y sintáctico. Debe incluir pruebas *positivas* (para confirmar funcionalidad con datos correctos) y pruebas *negativas* (para evidenciar la capacidad del compilador para detectar errores). Debe especificar lo siguiente para cada caso de prueba:
  - Objetivo del caso de prueba
  - Diseño del caso de prueba
  - Resultados esperados
  - Resultados observados
- En las pruebas del analizador contextual es importante comprobar que los componentes de análisis léxico y sintáctico siguen funcionando bien. Si hacen correcciones a ellos, deben documentar los cambios en un apéndice de la documentación de este Proyecto #2.
- Discusión y análisis de los resultados obtenidos. Conclusiones a partir de esto.
- Una reflexión sobre la experiencia de modificar fragmentos de un compilador/ambiente escrito por terceras personas.
- Descripción resumida de las tareas realizadas por cada miembro del grupo de trabajo.
- Indicar cómo debe compilarse su programa.
- Indicar cómo debe ejecutarse su programa.
- Archivos con el texto fuente de su compilador. El texto fuente debe incluir comentarios que indiquen con claridad los puntos en los cuales se han hecho modificaciones.
- Archivos con el código objeto del compilador. **El compilador debe estar en un formato ejecutable directamente desde el sistema operativo Windows<sup>18</sup> o llegar a un acuerdo alterno con el profesor.**
- Debe guardar su trabajo en una carpeta comprimida (formato **zip**) según se indica abajo<sup>19</sup>. Esto debe incluir:
  - Documentación indicada arriba, con una portada donde aparezcan los nombres y números de carnet de los miembros del grupo. Los documentos descriptivos deben estar en formato .pdf.
  - Código fuente, organizado en carpetas.
  - Código objeto. Recuerde que el código objeto de su compilador (programa principal) debe estar en un formato directamente ejecutable en Windows (o una alternativa, negociada con el profesor).
  - Programas (.tri) de entrada que han preparado para probar su analizador contextual.

## Entrega

Fecha límite: **lunes 2020.07.13**, antes de las 23:55. No se recibirán trabajos después de la fecha y la hora indicadas.

<sup>17</sup> I.e. no-repetición.

<sup>18</sup> En principio, se permitirá entregar el trabajo en otro ambiente, pero debe avisar de previo al profesor y al asistente.

<sup>19</sup> **No use** formato **rar**, porque es rechazado por el sistema de correo-e del TEC.

Los grupos pueden ser de *hasta 3* personas.

Debe enviar por correo-e el *enlace*<sup>20</sup> a un archivo comprimido almacenado en la nube con todos los elementos de su solución a estas direcciones: [itrejos@itcr.ac.cr](mailto:itrejos@itcr.ac.cr) y [andres.mirandaarias@gmail.com](mailto:andres.mirandaarias@gmail.com) (Andrés Miranda Arias, nuestro asistente).

El asunto (subject) debe ser:

"IC-5701 - Proyecto 2 - " <carnet> [ " + " <carnet> [ " + " <carnet> ] ]

Los carnets deben ir ordenados ascendentemente.

Si su mensaje no tiene el asunto en la forma correcta, su proyecto será castigado con -10 puntos; podría darse el caso de que su proyecto no sea revisado del todo (y sea calificado con 0) sin responsabilidad alguna del profesor o del asistente (caso de que su mensaje fuera obviado por no tener el asunto apropiado). Si su mensaje no es legible (por cualquier motivo), o contiene un virus, la nota será 0.

La redacción y la ortografía deben ser correctas. El profesor tiene *altas expectativas* respecto de la calidad de los trabajos escritos y de la programación producidos por estudiantes universitarios de tercer año de la carrera de Ingeniería en Computación del Tecnológico de Costa Rica. Los profesores esperamos que los estudiantes tomen en serio la comunicación profesional.

---

<sup>20</sup> Los sistemas de correo han estado rechazando el envío o la recepción de carpetas comprimidas con componentes ejecutables. Suban su carpeta comprimida (en formato **.zip**) a algún 'lugar' en la nube y envíen el hipervínculo al profesor y a su asistente mediante un mensaje de correo con el formato indicado.