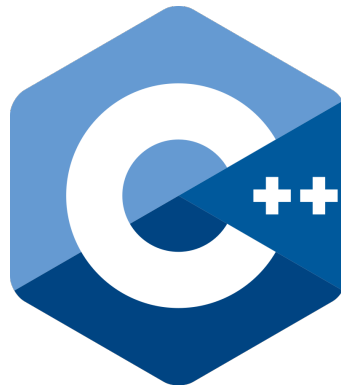




Metodología de la Programación

DGIM, GI-C y DGADE

Curso 2022/2023



Guion de prácticas

Valgrind y memoria dinámica

Abril de 2023

Contents

1 Descripción	5
2 Chequeo de memoria con Valgrind	5
3 Ejemplos de uso de Valgrind	6
3.1 Uso de memoria no inicializada	6
3.2 Lectura y/o escritura en memoria liberada	9
3.3 Sobrepasar los límites de un array en operación de lectura de memoria	11
3.4 Sobrepasar los límites de un array en operación de escritura en memoria	13
3.5 Problemas con delete sobre arrays	16
3.6 Aviso sobre el uso masivo de memoria no dinámica	17
4 Integración de Valgrind en NetBeans	18
4.1 Desde las propiedades del proyecto	18
4.2 Desde la consola del proyecto	18



1 Descripción

En esta práctica aprenderemos a utilizar la herramienta `valgrind` para diagnosticar varios problemas, entre otros, los problemas de mala gestión de memoria dinámica en un programa.

2 Chequeo de memoria con Valgrind

Valgrind es una plataforma de análisis del código. Contiene un conjunto de herramientas que permiten detectar problemas de memoria y también obtener datos detallados de la forma de funcionamiento (rendimiento) de un programa. Es una herramienta de libre distribución que puede obtenerse en: valgrind.org. **¡No está disponible para Windows!** Algunas de las herramientas que incorpora son:

- **memcheck**: detecta errores en el uso de la memoria dinámica
- **cachegrind**: permite mejorar la rapidez de ejecución del código
- **callgrind**: da información sobre las llamadas a métodos producidas por el código en ejecución
- **massif**: ayuda a reducir la cantidad de memoria usada por el programa.

Nosotros trabajaremos básicamente con la opción de chequeo de problemas de memoria. Esta es la herramienta de uso por defecto. El uso de las demás se indica mediante la opción **tool**. Por ejemplo, para obtener información sobre las llamadas a funciones y métodos mediante **callgrind** haríamos:

```
valgrind --tool=callgrind ...
```

Quizás la herramienta más necesaria sea la de chequeo de memoria (por eso es la opción por defecto). La herramienta **memcheck** presenta varias opciones de uso (se consideran aquí únicamente las más habituales):

- **leak-check**: indica al programa que muestre los errores en el manejo de memoria al finalizar la ejecución del programa. Los posibles valores para este argumento son **no**, **summary**, **yes** y **full**
- **undef-value-errors**: controla si se examinan los errores debidos a variables no inicializadas (sus posibles valores son **no** y **yes**, siendo este último el valor por defecto)
- **track-origins**: indica si se controla el origen de los valores no inicializados (con **no** y **yes** como posibles valores, siendo el primero el valor por defecto). El valor de este argumento debe estar en concordancia con el del argumento anterior (no tiene sentido indicar que no se desea información sobre valores no inicializados e indicar aquí que se controle el origen de los mismos)

Una forma habitual de lanzar la ejecución de esta herramienta es la siguiente (observad que el nombre del programa y sus posibles argumentos van al final de la línea):

```
valgrind --leak-check=full --track-origins=yes ./programa
```

Esta forma de ejecución ofrece información detallada sobre los posibles problemas en el uso de la memoria dinámica requerida por el programa. Iremos considerando algunos ejemplos para ver la salida obtenida en varios escenarios.

Nota: Es preciso compilar los programas con la opción **-g** para que se incluya información de depuración en el ejecutable.

3 Ejemplos de uso de Valgrind

Se consideran a continuación algunos ejemplos de código con problemas usuales con gestión dinámica de memoria. Se analizan para ver qué mensajes de aviso nos muestra esta herramienta en cada caso (marcados en rojo). En concreto, vamos a identificar los siguientes escenarios, todos ellos relacionados con el acceso a memoria para leer y/o escribir un valor en una variable: uso de memoria no inicializada, lectura y/o escritura en memoria ya liberada, sobrepasar los límites de un array en operación de lectura, sobrepasar los límites de un array en operación de lectura o escritura, problemas con delete sobre arrays, aviso sobre el uso masivo de memoria no inicializada.

3.1 Uso de memoria no inicializada

Imaginemos que el siguiente código se encuentra en un archivo llamado **ejemplo1.cpp**.

Listing 1: ejemplo1.cpp

```
1 #include <iostream>
2 using namespace std;
3
4 int main() {
5     int array[5];
6     cout << array[3] << endl; // Memoria NO inicializada
7 }
```

Compilamos mediante la sentencia:

```
g++ -g -o ejemplo1 ejemplo1.cpp
```

Si ejecutamos ahora **valgrind** como hemos indicado antes:

```
valgrind --leak-check=full --track-origins=yes ./ejemplo1
```

se obtiene un informe bastante detallado de la forma en que el programa usa la memoria dinámica. Parte del informe generado es:



```
==4630== Memcheck, a memory error detector
==4630== Copyright (C) 2002-2013, and GNU GPL'd, by Julian
==4630== Using Valgrind-3.10.0.SVN and LibVEX; rerun with -h
==4630== Command: ./ejemplo1
==4630==
==4630== Conditional jump or move depends on uninitialised
==4630==   at 0x4EBFE9E: std::ostreambuf_iterator<char,
==4630==   by 0x4EC047C: std::num_put<char, std::ostreambu
==4630==   by 0x4ECC21D: std::ostream& std::ostream::_M_in
==4630== by 0x400843: main (ejemplo1.cpp:6)
==4630== Uninitialised value was created by a stack allocation
==4630==   at 0x40082D: main (ejemplo1.cpp:4)
==4630==
==4630== Use of uninitialised value of size 8
==4630==   at 0x4EBFD83: ??? (in /usr/lib/x86_64-linux-gnu/
==4630==   by 0x4EBFEC5: std::ostreambuf_iterator<char,
==4630==   by 0x4EC047C: std::num_put<char, std::ostreambuf
==4630==   by 0x4ECC21D: std::ostream& std::ostream::_M_ins
==4630==   by 0x400843: main (ejemplo1.cpp:6)
==4630== Uninitialised value was created by a stack allocation
==4630==   at 0x40082D: main (ejemplo1.cpp:4)
.....
```

Si nos fijamos en los mensajes que aparecen en el informe anterior (**Conditional jump or move depends on uninitialised values**) se alude a que los valores del array no han sido inicializados y que se pretende usar el contenido de una posición no inicializada. Si arreglamos el código de forma conveniente y ejecutamos de nuevo, veremos que desaparecen los mensajes de error:

Listing 2: ejemplo1-ok.cpp

```
1 #include <iostream>
2 using namespace std;
3
4 int main() {
5     int array[5]={1,2,3,4,5};
6     cout << array[3] << endl; // Memoria SI inicializada
7 }
```

El informe de que todo ha ido bien es el siguiente:



```
==4654== Memcheck, a memory error detector
==4654== Copyright (C) 2002-2013, and GNU GPL'd, by Julian
==4654== Using Valgrind-3.10.0.SVN and LibVEX; rerun with
==4654== Command: ./ejemplo1-ok
==4654==
4
==4654==
==4654== HEAP SUMMARY:
==4654==      in use at exit: 0 bytes in 0 blocks
==4654==    total heap usage: 0 allocs, 0 frees, 0 bytes alloc
==4654==
==4654== All heap blocks were freed -- no leaks are possible
==4654==
==4654== For counts of detected and suppressed errors,
rerun with: -v
==4654== ERROR SUMMARY: 0 errors from 0 contexts
(suppressed: 0 from 0)
```

No es necesario hacer caso a la indicación final de usar la opción **-v** (modo **verbose**). Si se usa se generaría una salida mucho más extensa que nos informa de errores de la propia librería de **valgrind** o de las librerías aportadas por C++ (lo que no nos interesa, ya que no tenemos posibilidad de reparar sus problemas).

3.2 Lectura y/o escritura en memoria liberada

Supongamos ahora que el código analizado es el siguiente:

Listing 3: usoMemoriaLiberada.cpp

```
1  #include <cstdio>
2  #include <cstdlib>
3  #include <iostream>
4
5  using namespace std;
6
7  int main(void){
8      // Se reserva espacio para p
9      char *p = new char;
10
11     // Se da valor
12     *p = 'a';
13
14     // Se copia el caracter en c
15     char c = *p;
16
17     // Se muestra
18     cout << "Caracter_c:_\n" << c;
19
20     // Se libera el espacio
21     delete p;
22
23     // Se copia el contenido de p (YA LIBERADO) en c
24     c = *p;
25     return 0;
26 }
```

El análisis de este código ofrece el siguiente informe valgrind



```
==4662== Memcheck, a memory error detector
==4662== Copyright (C) 2002-2013, and GNU GPL'd, by Julian
Seward et al.
==4662== Using Valgrind-3.10.0.SVN and LibVEX; rerun with
-h for copyright info
==4662== Command: usoMemoriaLiberada
==4662==
==4662== Invalid read of size 1
==4662== at 0x4008E2: main (usoMemoriaLiberada.cpp:24)
==4662== Address 0x5a1d040 is 0 bytes inside a block
of size 1 free'd
==4662== at 0x4C2C2BC: operator delete(void*) (in
/usr/lib/valgrind/vgpreload_memcheck-amd64-linux.so)
==4662== by 0x4008DD: main (usoMemoriaLiberada.cpp:21)
==4662==
Caracter c: a==4662==
==4662== HEAP SUMMARY:
==4662== in use at exit: 0 bytes in 0 blocks
==4662== total heap usage: 1 allocs, 1 frees, 1 bytes
allocated
==4662==
==4662== All heap blocks were freed -- no leaks are possible
==4662==
==4662== For counts of detected and suppressed errors,
rerun with: -v
==4662== ERROR SUMMARY: 1 errors from 1 contexts
```

El informe indica explícitamente la línea del código en que se produce el error (línea 24): lectura inválida (sobre memoria ya liberada). En esta línea se muestra que se ha hecho la liberación sobre el puntero **p**.

3.3 Sobrepasar los límites de un array en operación de lectura de memoria

Veremos ahora el mensaje obtenido cuando se sobrepasan los límites de un array:

Listing 4: ejemplo2.cpp

```
1 #include<iostream>
2 using namespace std;
3
4 int main(){
5     int *array=new int[5];
6     cout << array[10] << endl; // Lectura de memoria fuera
7 }                               // de limites validos
```

Entre los mensajes de error aparece ahora el siguiente texto (parte del informe completo generado):

```
==4670== Memcheck, a memory error detector
==4670== Copyright (C) 2002-2013, and GNU GPL'd, by Julian
Seward et al.
==4670== Using Valgrind-3.10.0.SVN and LibVEX; rerun with
-h for copyright info
==4670== Command: ./ejemplo2
==4670==
==4670== Invalid read of size 4
==4670== at 0x40088B: main (ejemplo2.cpp:6)
==4670== Address 0x5a1d068 is 20 bytes after a block of
size 20 alloc'd
==4670== at 0x4C2B800: operator new[](unsigned long) (in
/usr/lib/valgrind/vgpreload_memcheck-amd64-linux.so)
==4670== by 0x40087E: main (ejemplo2.cpp:5)
==4670==
==4670==
==4670== HEAP SUMMARY:
==4670== in use at exit: 20 bytes in 1 blocks
==4670== total heap usage: 1 allocs, 0 frees, 20 bytes
allocated
==4670==
==4670== 20 bytes in 1 blocks are definitely
lost in loss record 1 of 1
==4670== at 0x4C2B800: operator new[](unsigned long) (in
/usr/lib/valgrind/vgpreload_memcheck-amd64-linux.so)
==4670== by 0x40087E: main (ejemplo2.cpp:5)
==4670==
==4670== LEAK SUMMARY:
==4670== definitely lost: 20 bytes in 1 blocks
==4670== indirectly lost: 0 bytes in 0 blocks
==4670== possibly lost: 0 bytes in 0 blocks
==4670== still reachable: 0 bytes in 0 blocks
==4670== suppressed: 0 bytes in 0 blocks
==4670==
==4670== For counts of detected and suppressed errors,
rerun with: -v
==4670== ERROR SUMMARY: 2 errors from 2 contexts
```



Observad el error: (**Invalid read of size 4** ocurrido en relación al espacio de memoria reservado en la línea 5). Observad también el error relativo a memoria reservada pero no liberada (20 bytes).

3.4 Sobrepasar los límites de un array en operación de escritura en memoria

También es frecuente exceder los límites del array para escribir en una posición que ya no le pertenece (alta probabilidad de generación de **core**):

Listing 5: ejemplo3.cpp

```
1 #include <iostream>
2 using namespace std;
3
4 int main() {
5     int *array=new int [5];
6     for (int i=0; i <= 5; i++){
7         array[i]=i; // Escritura en memoria fuera de
8     }               // limite valido cuando i == 5
9 }
```

Además del problema mencionado con anterioridad, en este programa no se libera el espacio reservado al finalizar. La información ofrecida por **valgrind** ayudará a solucionar todos los problemas mencionados:



```
==4678== Memcheck, a memory error detector
==4678== Copyright (C) 2002-2013, and GNU GPL'd, by Julian
Seward et al.
==4678== Using Valgrind-3.10.0.SVN and LibVEX; rerun with
-h for copyright info
==4678== Command: ./ejemplo3
==4678==
==4678== Invalid write of size 4
==4678== at 0x400743: main (ejemplo3.cpp:7)
==4678== Address 0x5a1d054 is 0 bytes after a block of
size 20 alloc'd
==4678== at 0x4C2B800: operator new[](unsigned long) (in
/usr/lib/valgrind/vgpreload_memcheck-amd64-linux.so)
==4678== by 0x40071E: main (ejemplo3.cpp:5)
==4678==
==4678==
==4678== HEAP SUMMARY:
==4678== in use at exit: 20 bytes in 1 blocks
==4678== total heap usage: 1 allocs, 0 frees,
20 bytes allocated
==4678==
==4678== 20 bytes in 1 blocks are definitely lost
in loss record 1 of 1
==4678== at 0x4C2B800: operator new[](unsigned long) (in
/usr/lib/valgrind/vgpreload_memcheck-amd64-linux.so)
==4678== by 0x40071E: main (ejemplo3.cpp:5)
==4678==
==4678== LEAK SUMMARY:
==4678== definitely lost: 20 bytes in 1 blocks
==4678== indirectly lost: 0 bytes in 0 blocks
==4678== possibly lost: 0 bytes in 0 blocks
==4678== still reachable: 0 bytes in 0 blocks
==4678== suppressed: 0 bytes in 0 blocks
==4678==
==4678== For counts of detected and suppressed errors,
rerun with: -v
==4678== ERROR SUMMARY: 2 errors from 2 contexts
```

Observad los dos mensajes de error indicados: escritura inválida de tamaño 4 (tamaño asociado al entero) y en el resumen de memoria usada (leak summary) se indica que hay memoria perdida (20 bytes formando parte de un bloque: 5×4 bytes). Con esta información es fácil arreglar estos problemas:

Listing 6: ejemplo4.cpp

```
1 #include <iostream>
2 using namespace std;
3
4 int main(){
5     int *array=new int [5];
6     for(int i=0; i < 5; i++){
7         array[i]=i;
8     }
9     delete [] array;
10 }
```



De esta forma desaparecen todos los mensajes de error previos:

```
==4683== Memcheck, a memory error detector
==4683== Copyright (C) 2002-2013, and GNU GPL'd, by Julian
Seward et al.
==4683== Using Valgrind-3.10.0.SVN and LibVEX; rerun with
-h for copyright info
==4683== Command: ./ejemplo4
==4683==
==4683==
==4683== HEAP SUMMARY:
==4683==       in use at exit: 0 bytes in 0 blocks
==4683==    total heap usage: 1 allocs, 1 frees,
20 bytes allocated
==4683==
==4683== All heap blocks were freed -- no leaks are possible
==4683==
==4683== For counts of detected and suppressed errors,
rerun with: -v
==4683== ERROR SUMMARY: 0 errors from 0 contexts
```

3.5 Problemas con delete sobre arrays

Otro problema habitual al liberar el espacio de memoria usado por un array suele consistir en olvidar el uso de los corchetes. Esto genera un problema de uso de memoria, ya que no se indica que debe eliminarse un array. El código y los mensajes correspondientes de **valgrind** aparecen a continuación:

Listing 7: ejemplo5.cpp

```
1 #include<iostream>
2 using namespace std;
3
4 int main(){
5     int *array=new int [5];
6     for(int i=0; i < 5; i++){
7         array[i]=i;
8     }
9     delete array; // Liberacion de memoria incorrecta
10 }
```

```
==4686== Memcheck, a memory error detector
==4686== Copyright (C) 2002-2013, and GNU GPL'd, by
Julian Seward et al.
==4686== Using Valgrind-3.10.0.SVN and LibVEX; rerun
with -h for copyright info
==4686== Command: ./ejemplo5
==4686==
valgrind --leak-check=full --track-origins=yes ./ejemplo4
==4686== Mismatched free() / delete / delete []
==4686==      at 0x4C2C2BC: operator delete(void*) (in
/usr/lib/valgrind/vgpreload_memcheck-amd64-linux.so)
==4686== by 0x4007AA: main (ejemplo5.cpp:9)
==4686== Address 0x5a1d040 is 0 bytes inside a block of
size 20 alloc'd
==4686==      at 0x4C2B800: operator new[](unsigned long) (in
/usr/lib/valgrind/vgpreload_memcheck-amd64-linux.so)
==4686==      by 0x40076E: main (ejemplo5.cpp:5)
==4686==
==4686==
==4686== HEAP SUMMARY:
==4686==      in use at exit: 0 bytes in 0 blocks
==4686==    total heap usage: 1 allocs, 1 frees,
20 bytes allocated
==4686==
==4686== All heap blocks were freed -- no leaks are possible
==4686==
==4686== For counts of detected and suppressed errors,
rerun with: -v
==4686== ERROR SUMMARY: 1 errors from 1 contexts
```

El mensaje relevante aquí es **Mismatched free() / delete / delete []**. Indica que no hizo la liberación de espacio (reservado en la línea 5) de forma correcta.

3.6 Aviso sobre el uso masivo de memoria no dinámica

Si usamos mucha memoria alojada en vectores no dinámicos, memcheck se quejará y nos dará un buen montón de errores. Por ejemplo, si con el siguiente código

Listing 8: ejemplo6.cpp

```
1 #include <iostream>
2 using namespace std;
3
4 int main() {
5     int array[1000000]={1,2,3,4,5};
6     cout << array[3] << endl;
7 }
```

ejecutamos:

```
valgrind --leak-check=full --track-origins=yes ./ejemplo6
obtenemos una larguísima salida
```

```
==4687== Memcheck, a memory error detector
==4687== Copyright (C) 2002-2013, and GNU GPL'd, by Julian
Seward et al.
==4687== Using Valgrind-3.10.0.SVN and LibVEX; rerun
with -h for copyright info
==4687== Command: ./ejemplo6
==4687==
==4687== Warning: client switching stacks?  SP change:
0xffffeffd40 --> 0xffec2f438
==4687==           to suppress, use:
--max-stackframe=4000008 or greater
==4687== Invalid write of size 8
==4687==       at 0x40088C: main (ejemplo6.cpp:5)
==4687==       Address 0xffec2f438 is on thread 1's stack
==4687==
==4687== Invalid write of size 8
==4687==       at 0x4C313C7: memset (in /usr/lib/valgrind/vgpreload
==4687==       by 0x400890: main (ejemplo6.cpp:5)
==4687==       Address 0xffec2f440 is on thread 1's stack
.....
==4687== Warning: client switching stacks?
SP change: 0xffec2f440 --> 0xffffeffd40
==4687==           to suppress, use:
--max-stackframe=4000000 or greater
==4687==
==4687== HEAP SUMMARY:
==4687==       in use at exit: 0 bytes in 0 blocks
==4687==       total heap usage: 0 allocs, 0 frees,
0 bytes allocated
==4687==
==4687== All heap blocks were freed -- no leaks are possible
==4687==
==4687== For counts of detected and suppressed errors,
rerun with: -v
==4687== ERROR SUMMARY: 499992 errors from 9 contexts
```

Afortunadamente también nos dice como solucionar este problema:



to suppress, use: `--max-stackframe=4000008` or greater. Por tanto, ejecutando

```
valgrind --leak-check=full --track-origins=yes  
--max-stackframe=4000008 ./ejemplo6
```

obtenemos una salida de ejecución correcta

```
==4697== Memcheck, a memory error detector  
==4697== Copyright (C) 2002-2013, and GNU GPL'd, by  
Julian Seward et al.  
==4697== Using Valgrind-3.10.0.SVN and LibVEX; rerun  
with -h for copyright info  
==4697== Command: ./ejemplo6  
==4697==  
==4697==  
==4697== HEAP SUMMARY:  
==4697==    in use at exit: 0 bytes in 0 blocks  
==4697==   total heap usage: 0 allocs, 0 frees,  
0 bytes allocated  
==4697==  
==4697== All heap blocks were freed -- no leaks are possible  
==4697==  
==4697== For counts of detected and suppressed errors,  
rerun with: -v  
==4697== ERROR SUMMARY: 0 errors from 0 contexts
```

4 Integración de Valgrind en NetBeans

Igual que Doxygen, Valgrind no tiene soporte de integración en NetBeans a través de sus menús o botones, pero existen varias formas de hacerlo.

4.1 Desde las propiedades del proyecto

Igual que se pueden configurar las ejecuciones del programa para incluir parámetros en la llamada, se puede configurar la llamada a valgrind. Propiedades del proyecto - Run - Run Command (Figura 1)

4.2 Desde la consola del proyecto

Ejecutar valgrind desde la línea de comandos integrada en el proyecto (Figura 2).

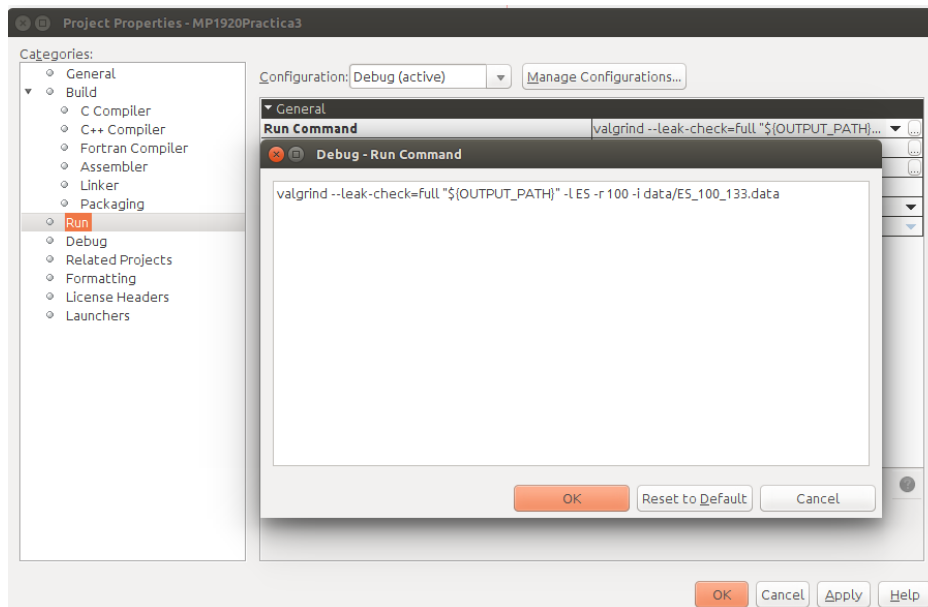


Figura 1: Incluir la llamada a Valgrind en las propiedades del proyecto

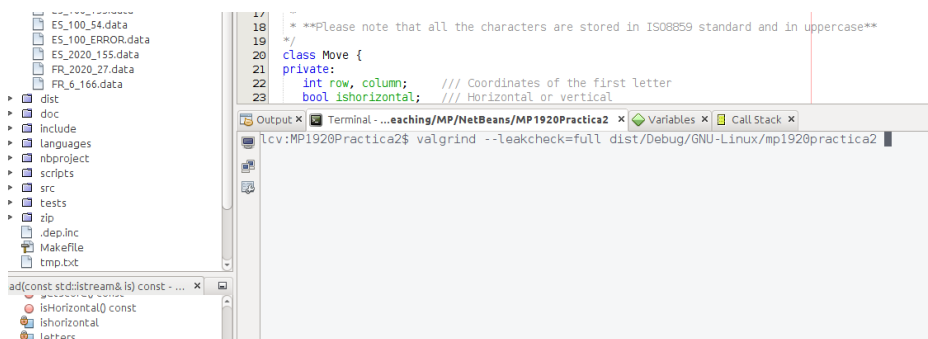


Figura 2: Ejecutar valgrind desde la consola de órdenes del proyecto