



**UNIVERSIDAD  
DE GRANADA**

**TRABAJO FIN DE GRADO**  
**INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN**

**Desarrollo de un videojuego para la configuración  
y análisis de redes de computadores**

---

**GNS3sharp**

**Autor**

Ángel Oreste Rodríguez Romero

**Directores**

Juan José Ramos Muñoz

Jonathan Prados Garzón



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS INFORMÁTICA Y DE  
TELECOMUNICACIÓN**

Granada, agosto de 2018









# Desarrollo de un videojuego para la configuración y análisis de redes de computadores

---

GNS3sharp

## **Autor**

Ángel Oreste Rodríguez Romero

## **Directores**

Juan José Ramos Muñoz

Jonathan Prados Garzón



# **Desarrollo de un videojuego para la configuración y análisis de redes de computadores: GNS3sharp**

Ángel Oreste Rodríguez Romero

**Palabras clave:** palabra\_clave1, palabra\_clave2, palabra\_clave3, .....

## **Resumen**

El jugar ha sido desde siempre un gran amigo de la educación. Aprender jugando es un lema que cada vez se repite más. Los videojuegos, concretamente, toman en cierta forma el relevo de los juegos tal y como tradicionalmente estos se han entendido y amplían sus posibilidades.

La era digital afecta a casi todos los ámbitos de nuestro entorno. Las redes no iban a quedar excluidas de ese avance. Así, se pueden encontrar decenas de implementaciones virtuales de redes de telecomunicaciones, permitiéndonos visualizar su funcionamiento evitando el desembolso que equivale una real.

Digitalizados ambos ámbitos, ¿por qué no unirlos? ¿Y por qué no unirlos con un propósito educacional?

El presente documento pretende realizar un acercamiento a tal propósito. Se listará una serie de tecnologías que permiten llevar esto a cabo así como el desarrollo de mi aproximación.





# **Development of a videogame for the configuration and analysis of computer networks: GNS3sharp**

Ángel Oreste, Rodríguez Romero

**Keywords:** Keyword1, Keyword2, Keyword3, ....

## **Abstract**

Playing has always been a great friend of education. Learning by playing is a motto that is repeated more and more. Videogames, in particular, take over from games as they have traditionally been understood and expand their possibilities.

The digital age affects almost every area of our environment. Networks would not be excluded from this development. Thus, dozens of virtual implementations of telecommunication networks can be found, allowing us to visualize them working, avoiding the disbursement that is equivalent to a real one.

Digitized both areas, why not unite them, and why not unite them for an educational purpose?

This document is intended to bring this about. A number of technologies will be listed that allow this to be done as well as the development of my approach.



---

Yo, **Ángel Oreste Rodríguez Romero**, alumno de la titulación Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación de la **Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación de la Universidad de Granada**, con DNI 25351379C, autorizo la ubicación de la siguiente copia de mi Trabajo Fin de Grado en la biblioteca del centro para que pueda ser consultada por las personas que lo deseen.

Fdo: Ángel Oreste Rodríguez Romero

Granada a 1 de septiembre de 2018.



---

D. **Juan José Ramos Muñoz**, Profesor del Área de Telemática del Departamento TSTC de la Universidad de Granada.

D. **Jonathan Prados Garzón**, Profesor del Área de Telemática del Departamento TSTC de la Universidad de Granada.

**Informan:**

Que el presente trabajo, titulado *Desarrollo de un videojuego para la configuración y análisis de redes de computadores: GNS3sharp*, ha sido realizado bajo su supervisión por **Ángel Oreste Rodríguez Romero**, y autorizamos la defensa de dicho trabajo ante el tribunal que corresponda.

Y para que conste, expiden y firman el presente informe en Granada a 1 de septiembre de 2018.

**Los directores:**

**Juan José Ramos Muñoz**

**Jonathan Prados Garzón**



# Agradecimientos

A Juanjo, por su increíble paciencia e inestimable ayuda, tanto en nuestras tutorías presenciales como aquellas improvisadas por Telegram. A todos aquellos profesores que confiaron en mí y en mis capacidades más que yo mismo en tantos momentos. A todos aquellos compañeros como Alfonso que no solo me facilitaron la vida académica con su conocimiento, sino también con su compañía. A Alberto, que aunque algo reticente de primeras, está dispuesto a echarme una mano de pedírselo. A mis compañeros de Francia, que me impulsaron a ampliar mis conocimientos. A Antonio por el logo tan genial que ha hecho. A mi grupo, porque sin él no habría tenido el ánimo suficiente durante este año para afrontar el proyecto. A todos aquellos amigos que me oyeron quejarme de mi proyecto con estoicismo. A la comunidad de StackOverflow que de tantos apuros me ha sacado.

Pero ante todo, a mis padres, pilar fundamental y soporte absoluto de toda mi vida, universitaria o no. Por la educación que me han dado, por todos aquellos caprichos que me permitieron y por velar siempre por mi salud.





# Índice general

<b>Índice de figuras</b>	<b>III</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción . . . . .	1
1.2. Los videojuegos docentes . . . . .	1
1.3. Nuestro problema . . . . .	1
1.4. Nuestra solución . . . . .	1
1.5. Motivación personal . . . . .	1
<b>2. Introducción</b>	<b>3</b>
2.1. Descripción del problema . . . . .	3
2.2. Estructura del trabajo . . . . .	3
<b>3. Estado del arte</b>	<b>5</b>
3.1. Motores de videojuegos . . . . .	5
3.1.1. Motores más famosos . . . . .	5
3.1.2. Nuestra elección: Unity . . . . .	5
3.2. Simuladores de redes . . . . .	5
3.2.1. Simuladores más famosos . . . . .	5
3.2.2. Nuestra elección: GNS3 . . . . .	5
3.3. Juegos docentes . . . . .	6
<b>4. Diseño de la solución</b>	<b>7</b>
4.1. Diseño de la API . . . . .	7
4.1.1. Elección del lenguaje . . . . .	8
4.1.2. La API . . . . .	9
4.1.3. Estructura de clases . . . . .	11
4.1.4. GitHub y la comunidad . . . . .	13
4.2. Diseño del videojuego . . . . .	14
4.2.1. Interacción con el simulador . . . . .	14
4.2.2. Modelo de videojuego . . . . .	15

<b>5. Integración</b>	<b>19</b>
5.1. Desarrollo de la API . . . . .	19
5.1.1. GNS3sharp . . . . .	19
5.1.2. Node . . . . .	26
5.1.3. Link . . . . .	29
5.1.4. Herederos de Node . . . . .	29
5.1.5. Clases auxiliares . . . . .	29
5.1.6. Compilación . . . . .	29
5.2. Desarrollo del videojuego . . . . .	29
5.2.1. El proyecto de GNS3 . . . . .	29
5.2.2. El proyecto de Unity . . . . .	29
<b>Bibliografía</b>	<b>31</b>

# Índice de figuras

4.1. Boceto de diagrama UML de la API . . . . .	11
4.2. Diagrama de la interacción entre Unity y GNS3 . . . . .	14
4.3. Boceto del juego . . . . .	16



# Capítulo 1

## Introducción

fgxdh

### 1.1. Introducción

huigk

### 1.2. Los videojuegos docentes

Mucha bibliografía

### 1.3. Nuestro problema

Aquí puedes poner tasas de abandono escolar

### 1.4. Nuestra solución

Explicar qué has hecho

### 1.5. Motivación personal

Código 1.1: C# example

```
foreach(Node n in handler.Nodes){  
    Console.WriteLine("host: {0}, port: {1}, name: {2}, component:  
    {3}",
```

```
        n.ConsoleHost, n.Port, n.Name, n.GetType().ToString());
    foreach(Link link in n.LinksAttached){
        Console.Write($" , link: {link.ID}");
    }
    foreach(Dictionary<string,dynamic> port in n.Ports){
        Console.Write($" ,\n\tport, adapter number: {port["
            adapterNumber"]}");
        Console.Write($" ,\n\tport, port number: {port["
            portNumber"]}");
        Console.Write($" ,\n\tport, link: {port["link"]}");
    }
    Console.WriteLine();
}
```

## Capítulo 2

# Introducción

fgxdh

### 2.1. Descripción del problema

huigk

### 2.2. Estructura del trabajo





## Capítulo 3

# Estado del arte

El estado del arte se define como el nivel de desarrollo de un ámbito concreto, generalmente relacionado con el mundo técnico-científico.

### 3.1. Motores de videojuegos

#### 3.1.1. Motores más famosos

#### 3.1.2. Nuestra elección: Unity

huigk

### 3.2. Simuladores de redes

#### 3.2.1. Simuladores más famosos

#### 3.2.2. Nuestra elección: GNS3

#### Nodos

Cada elemento de una red está representado en GNS3 por un elemento llamado **nodo**. Estos nodos, que pueden ser desde un router a un switch, no son más que virtualizaciones de aparatos reales. De normal, estas virtualizaciones se realizan en base a imágenes de los sistemas operativos que se integran en los aparatos. Así, podemos tener varios routers distintos de Cisco montados sobre la misma estructura, permitiéndonos jugar con ellos con verdadera facilidad.

**Enlaces**

**La API de GNS3**

### **3.3. Juegos docentes**

Con todo lo anterior nuestro objetivo es tal. Ya hay ejemplos

## Capítulo 4

# Diseño de la solución

Expuestas ya las distintas tecnologías que serán implementadas en nuestro trabajo, queda definir de qué modo estas serán utilizadas y cuál será su papel en la creación del proyecto.

### 4.1. Diseño de la API

La programación se rige por **capas de abstracción**. Partiendo de conceptos concretos se desarrolla una capa de abstracción haciendo uso de ellos que permite elevar el trato de elementos concretos un nivel por encima[1]. De esta forma ganamos en eficiencia y agilidad de escritura sin perder flexibilidad de desarrollo.

Una **API**, a grandes rasgos, no es más que una capa de abstracción sobre un lenguaje de programación o, más aún, sobre un framework del mismo. Comprende una serie de funciones que facilitan en mayor o menor medida trabajar sobre un cierto motivo. Como ejemplo de API famosa tenemos la de Google Maps, que contiene un compendio de métodos para JavaScript que permiten interactuar directamente con la plataforma de Google y crear nuestros programas jugando con ella[2]. Podemos verlo como una biblioteca de funciones.

Como se ha citado previamente, GNS3 hace uso de una **API REST** (*REpresentational State Transfer*). Esto es, mediante una serie de métodos (los conocidos GET, POST...) asociados a una URI concreta podemos interactuar **vía web** con una aplicación. La diferencia fundamental con otra clase de servicios web es que REST está orientado a recursos y no a métodos. Esto permite a la web utilizar comunicaciones sin estado, facilitando de este modo su escalabilidad[3].

Aunque de increíble utilidad (ya veremos qué papel concreto juega en

nuestro trabajo), necesitamos algo más para poder propiciar la interacción entre el simulador de redes y el videojuego. Necesitamos crear nuestra propia API que haga uso de la API REST de GNS3 y que defina métodos que permita a Unity interactuar con el simulador de redes de forma automática.

#### 4.1.1. Elección del lenguaje

En pleno 2018 la cantidad de lenguajes de programación existentes roza el absurdo. Desde el tradicional C, pasando por el multifuncional Java, el sencillo Python o incluso los llamados lenguajes esotéricos como LOLCODE[4]. De entre todos ellos nosotros elegiremos uno sobre el que trabajar. Esta decisión está condicionada, como es natural, por el motor de videojuegos a utilizar.

Ya que nuestra intención es que el motor sea capaz de establecer interacción con el simulador, es necesario que la API a desarrollar esté escrita en un lenguaje con el que el propio motor sea capaz de trabajar. C# parecía la opción más sensata. ¿Por qué? Las razones se exponen a continuación:

- **Porque es el lenguaje más usado en Unity.** Unity admite varios lenguajes de programación con los que desarrollar los scripts asociados a los juegos. C++, usado en otros muchísimos otros motores de videojuegos como Unreal Engine, es uno de ellos. Aunque se trate de un lenguaje increíblemente potente y eficiente, su complejidad de uso es mucho mayor, ya que se encuentra a más bajo nivel. JavaScript es otro de ellos, pero no es tan recomendable como C#, pues entre otras razones, a diferencia de JS, C# es fuertemente tipado[5]. En general, C# es el lenguaje usado por defecto en Unity y el recomendado por todos, documentación incluida.
- **Porque son más motores quienes lo utilizan.** Unity está en el podio de entre los motores de videojuegos más usados en el mundo. Como tal se convierte en un referente. El resto de motores miran hacia él y, si quieren atraer a nuevos programadores, tendrán que hacer de su incursión en el nuevo motor algo sencillo. Este es el caso de Godot Engine, que unos meses atrás decidió incluir tal lenguaje entre los soportados[6]. Esto quiere decir que la API no solo podrá ser usada en juegos creados en Unity, si no que su terreno de juego se verá ampliado. CryEngine es otro de los motores que permiten el uso de C# como lenguaje de scripting.
- **Porque, ante todo, es un gran lenguaje.** C#, similar en cuanto a sintaxis a Java, nació como respuesta a este de la mano de Microsoft. Se trata de un lenguaje de propósito general, aunque es usado primordialmente para la construcción de aplicaciones para infraestructuras

Windows. Es uno de los lenguajes que componen la plataforma .NET de Microsoft. Tal es su importancia que a día de hoy se posiciona como el cuarto lenguaje de programación más usado a nivel mundial[7]. Alguna de las características que lo hacen especialmente atractivo:

- Es un **lenguaje de programación orientado a objetos**, con lo que posee todas las características propias de estos (encapsulado, herencia y poliformismo). Sin embargo, no admite multiherencia. Su componente fundamental es una unidad de encapsulamiento de datos y funciones llamada **type** o “tipo”. C# tiene un sistema de tipos unificado, donde todos los tipos en última instancia comparten un tipo de base común.
- Aunque es principalmente un lenguaje orientado a objetos, también **toma prestado del paradigma de programación funcional**. Las funciones pueden ser tratadas como valores mediante el uso de delegados, permite el uso de expresiones lambda, acercándose a los patrones declarativos del paradigma funcional...
- Admite **tipado estático**, lo cual se traduce en que el lenguaje obliga a que haya coherencia entre los tipos durante el tiempo de compilado. El tipado estático elimina un gran número de errores antes de que se ejecute un programa. Desplaza la carga del momento de la ejecución hacia el compilador para verificar que todos los tipos en un programa encajan correctamente. Esto hace que las aplicaciones grandes sean mucho más fáciles de administrar, más predecibles y más robustas. Además, la escritura estática permite que herramientas como IntelliSense en Visual Studio ayuden a desarrollar, pues conoce el tipo de una variable determinada y, por lo tanto, qué métodos puede utilizar está habilitada a usar. C# incluye además el tipo **dynamic** que permite sortear el tipado estático y dejar que el tipo de variable se averigüe durante el momento de la ejecución[8].

Particularmente, nosotros haremos uso de C#7, lanzado a la vez que Visual Studio 2017. Entre sus características más interesantes se incluye la aparición de tuplas, especialmente útil cuando queremos devolver más de una variable como resultado de una función.

Aclarada las razones, pasamos a analizar el uso que le daremos a este lenguaje.

#### 4.1.2. La API

Antes de desarrollar la API, que llamaremos **GNS3sharp** por un ingenioso juego de palabras entre GNS3 y C#, es necesario reflexionar sobre la

forma que tendrá. Para dar soluciones, tenemos que plantearnos antes las preguntas adecuadas:

### ¿Cómo debe interactuar con el simulador?

Como ya se dijo con anterioridad, GNS3 crea un servidor en el equipo desde el que se ejecuta. Este servidor acepta peticiones REST, creando así una suerte de interacción con el programa sin necesidad de poner las manos en él de forma directa. Se abre de esta forma al mundo del scripting y así a nosotros para crear un conjunto de métodos que faciliten su acceso y gestión.

Tratándose de una API REST, lo único que nos es necesario para la conexión es un **cliente web**. El framework de .NET ya cuenta con una clase dedicada a ello denominada `System.Net.WebClient`, que contiene métodos más que suficientes para nuestro uso[9]. Será pues sobre esto sobre lo que se base primordialmente la relación entre nuestra librería y el simulador de redes como tal. A continuación veremos que habremos de emplear alguna tecnología más.

### ¿Cómo queremos que interactúe con el exterior?

Es importante tener esto claro, pues el uso de la librería y de sus métodos por parte de una aplicación externa deben ser lo más cómodos posibles. Aquel que vaya a hacer uso de ellas debe tener un esquema claro del modo en que puede gestionar la interacción, haciéndola cercana pues al usuario (más bien desarrollador) último.

GNS3 funciona a través de proyectos. En un proyecto se puede incluir tantos nodos como se desee e interconectarlos a placer. Las posibilidades son infinitas. La singularidad del proyecto apenas pasa por permitir arrancar o apagar todos los nodos contenidos en él a la vez.

Siendo así, se ha optado por concentrar lo crucial de la interacción entre el simulador y el desarrollador en **una sola clase-objeto**. Esta clase, que se explicará con detalle más adelante, permitirá hacer de puente entre el proyecto y los distintos elementos que lo componen y aquel que haga uso de ella.

### Más importante aún, ¿qué queremos que haga?

Todo lo explicado hasta ahora es correcto: definimos una forma con la que el código pueda acceder al simulador y reflexionamos en la manera en la que el desarrollador que la use pueda sacarle partido. Sin embargo, ¿qué significa entonces *sacarle partido*?

Para responder no hay más que irse al propio GNS3 y ver todas las opciones que nos ofrece: desplegar nodos, enlazarlos entre sí, cortar esos enlaces, arrancar todos los nodos juntos, parar algunos de ellos a voluntad...

Y por supuesto y aún más importante, **gestionar los aparatos desplegados desde dentro**. Es aquí donde está su verdadero potencial. Manejar un switch conectado a varios PCs, modificar sus VLANs dinámicamente; un router conectado a varias redes distintas, desactivando y activando algunas de ellas en función de un booleano con el que estemos trabajando... Y todo esto sin necesidad de acceder a GNS3 directamente; todo mediante scripting. ¡Se abre un mundo de posibilidades!

#### 4.1.3. Estructura de clases

Nuestra API hará uso de todas las características propias de los lenguajes orientados a objetos, ya expuestas. A nivel de estructura, la que nos interesa citar ahora es la **herencia**.

La herencia es un mecanismo por el que una clase hija (llamémosla B) va a heredar los métodos y las propiedades de una clase padre (llamémosla A). La cantidad de elementos heredados entre padre e hijo puede ser determinado en C# mediante el uso de modificadores de acceso. Como dato adicional, este lenguaje no admite herencia de constructores, así que nuestra clase B tendrá que definir su propio constructor (o bien explicitar su herencia respecto al de A).

Aclarado el concepto de herencia, mostramos la estructura básica sobre la que nuestra librería será construida:

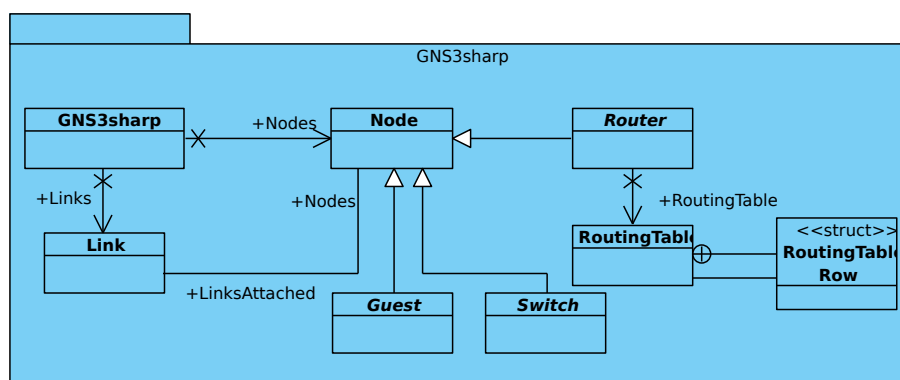


Figura 4.1: Boceto de diagrama UML de la API

A continuación pasamos a desarrollar cada una de las clases conceptualmente:

### GNS3sharp, la clase principal

Tal y como expusimos en la sección 4.1.2, crearemos una clase principal que gestionará toda la interacción con el simulador de redes. Hemos llamado a esta clase del mismo modo que a la API, **GNS3sharp**. Recalcamos entonces: los objetos que se encarguen de gestionar los proyectos serán del tipo **GNS3sharp**.

¿Y en qué consistirá esta gestión concretamente? Básicamente, esta clase debe encargarse de:

1. Establecer la conexión con el servidor de GNS3 y recopilar toda la información acerca del proyecto que se pretende controlar.
2. Convertir toda esa información en objetos útiles que puedan ser utilizados.
3. Crear una gestión eficiente de esos recursos de manera que sean fácilmente accesibles y manipulables.

Estos recursos de los que hablamos serán en gran medida los representados por las clases que se desarrollarán justo debajo.

Sin embargo, la creación de proyectos y despliegue de nodos en los mismos quedarán excluidos, ya sea por la complejidad añadida que conlleva o porque no son funciones que nos sean vitales para la construcción de juegos. Estas funcionalidades deberán ser llevadas a cabo manualmente. Más adelante podrán ser controladas desde la librería sin problema.

### Node

Sin lugar a dudas es aquí donde se encuentra la característica más interesante de GNS3 y es hacia donde nuestros esfuerzos deben dirigirse. Dado que cada nodo representa un aparato de la red, lo ideal es que ese aparato pueda ser convertido a un objeto en nuestra biblioteca desde el que se nos permita su control.

Esta es la finalidad de la clase **Nodo**. Su deber será el de contener todos los parámetros necesarios para habilitar la conexión con el nodo y así abrir un canal de comunicación con él; un canal que habilite tanto el envío como la recepción de mensajes.

Para la creación de las instancias de la clase se tendrá que recurrir a **GNS3sharp**, que mediante los datos que recoja del servidor de GNS3 será capaz de crear asimismo el objeto.

Como GNS3 admite todo tipo de aparatos de red, cada uno con sus peculiaridades, lo más sensato es crear una clase para cada uno de esos



equipos. Esta individualización permite definir métodos propios para cada elemento y, de este modo, facilitar su uso final. Tal y como se puede ver en el diagrama de la figura 4.1, definiremos tres clases principales (**Guest**, **Router** y **Switch**) que heredarán de **Node**. De estas clases nacerán asimismo otra serie de clases referidas a aparatos concretos y a no tipos genéricos.

## Link

Los nodos están interconectados entre sí mediante enlaces. Representaremos cada uno de ellos mediante la clase **Link**. Esta clase guardará como objetos a los nodos que interconecta así como información sobre el propio enlace (cuánto jitter, latencia... posee). Al igual que **Link**, la generación de instancias de esta clase pasará por **GNS3sharp**.

La clave de representar los enlaces en la API es que nos permitirá añadir, eliminar o incluso eliminarlos del proyecto desde el código, ampliando las posibilidades de interacción con el simulador.

## Otras clases

Además de las anteriormente expuestas, se creará otra serie de clases que, o bien ayuden al desarrollo de la API (una clase con funciones de ayuda), o bien faciliten la representación de los datos (tal será el caso de **RoutingTable**, que puede atisbarse en la figura 4.1).

### 4.1.4. GitHub y la comunidad

Hemos considerado esencial que la API sea reutilizable. El objetivo de su desarrollo en ningún caso ha sido el de nacer y morir para el presente trabajo. Lejos de esto, se pretende que esta librería pueda ser utilizada por quien quiera, ya tenga como propósito la construcción de un videojuego o cualquier otra aplicación.

Con esto en mente, todo el código utilizado por la librería se encuentra disponible en [este repositorio](#) de mi GitHub personal. Está liberado bajo una licencia MIT, tremendamente permisiva a la hora de reutilizar el código.

Además de los archivos de la propia API, se puede encontrar un README que explica algunos puntos importantes que considerar a la hora de utilizarla. En el repositorio de GitHub existe asimismo una sección de “releases”, donde se suben los distintos compilados de la librería en formato “.dll” a medida que esta se expande o se reparan problemas aparecidos. Por supuesto, todo el código y su documentación están escritos en inglés para así llegar a más desarrolladores.

## 4.2. Diseño del videojuego

Establecida una plataforma sobre la que GNS3 pueda interactuar con código, llega el momento de diseñar el videojuego que haga uso de ella.

### 4.2.1. Interacción con el simulador

A grandes rasgos, esto ya ha sido explicado. Ahora se va a dar una visión de la interacción desde el punto de vista del motor del videojuego; desde la creación del juego.

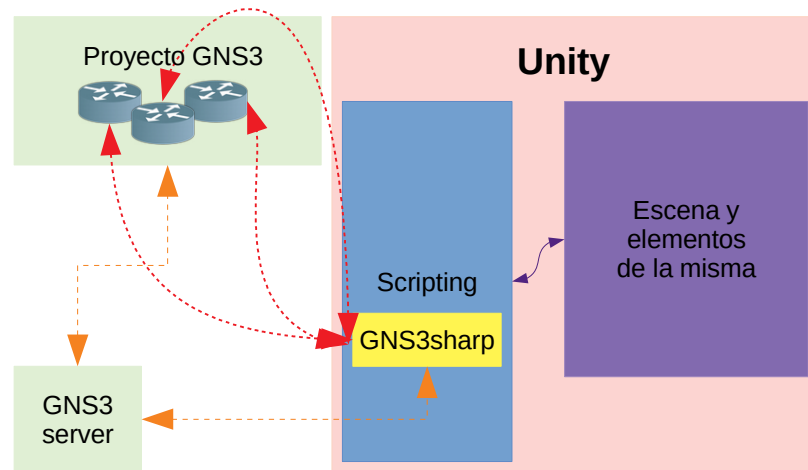


Figura 4.2: Diagrama de la interacción entre Unity y GNS3

Los proyectos de Unity están basados en un elemento llamado `GameObject`. Todos los objetos que componen las escenas del proyecto se pueden abstraer en última instancia en ese tipo. El primer paso para que un proyecto de Unity pueda conectarse y controlar un esquema de red de GNS3 pasa por **insertar un `GameObject` que tenga una instancia de la clase `GNS3sharp`**. La única condición que se le impone a este objeto es que este parámetro contenido en él (la instancia) ha de ser accesible por todo el resto de elementos de la escena.

¿Para qué? Pura simplicidad: para que todos esos elementos no tengan que crear la suya propia. Creando una sola instancia de la clase centralizamos el trabajo en un solo objeto. La instancia contendrá información de los datos del proyecto de GNS3; información que podrá ser tomada por todos los componentes de la escena sin más que copiar la referencia al objeto. Si estos decidieran su propia instancia cada uno perdería en tiempo (la recopilación de datos desde el servidor no es instantánea) y en eficiencia.

La idea es que el jugador (en otros términos, el usuario final), posea interacción con el simulador de redes de forma que **las consecuencias puedan verse reflejadas en el juego**. Pongamos un ejemplo e invirtamos el orden lógico de desarrollo para entender mejor cómo funcionaría esto:

1. El jugador se encuentra en una habitación que no es más que una **representación de un router**. Tiene un botón justo delante suya. En la pantalla se le avisa de que si lo pulsa, la puerta asociada a una determinada interfaz se cerrará, de forma que los enemigos que se ven acercarse en esa dirección no podrán pasar. Lo pulsa entonces.
2. Ese botón es un `GameObject` de la escena actual que tiene un *trigger* asociado a él y un script que lo gestiona. Uno de los atributos de tal código es la referencia a la instancia del objeto `GNS3sharp`, construido al arrancar la escena y que suponemos ya contiene toda la información del proyecto de GNS3. Cuando se activa el trigger (una condición del script pasa a ser `True`), se toma la referencia del objeto asociado al router donde el personaje está. Se utiliza tal objeto para enviar un comando al router que le haga apagar la interfaz correspondiente.
3. El mensaje llega al router. Este lo ejecuta y devuelve el resultado.
4. El script recibe la respuesta y, tras analizarla, confirma que la interfaz se ha cerrado. Envía un mensaje al `GameObject` de la puerta para que la cierre.

Este flujo es de alguna forma lo que se ha representado en la figura 4.2. El bloque morado hace referencia a todo el entorno que comprende una escena de Unity. Esta escena contendrá una serie de `GameObjects`, cuyo comportamiento vendrá determinado mayormente mediante lógica programada por scripts. El bloque azul hace referencia a este compendio. Alguno de esos scripts será el encargado de contener una instancia de `GNS3sharp`. Al ser creada, esta se conecta al servidor de GNS3 desde donde recibe toda la información del proyecto con el que se quiere trabajar. A partir de ahí, el resto de `GameObjects` de la escena no tendrán más que usar esa instancia para poder conectarse a los nodos (entre otras cosas) de la simulación.

#### 4.2.2. Modelo de videojuego

Ahora que sabemos de qué forma se interconecta el juego con la red y en qué consiste exactamente la interacción, queda por concretizar qué clase de juegos podríamos crear. Hay que tener en mente en todo momento que pretendemos crear un **juego didáctico**, así que no nos vale cualquier construcción. La dificultad es, entonces, doble, pues es necesario seguir los

cánones que dictan el buen hacer de un videojuego (véase un inteligente diseño de niveles, una estética atractiva y coherente, apartado técnico gráfico y sonoro propio, niveles a prueba de bugs...) a la vez que planear **qué** se quiere enseñar en ellos y **cómo** se pretende hacerlo.

Para sortear estas dificultades se ha decidido que la estructura del juego esté basada en pequeños niveles interconectados entre sí por una plataforma común. La linealidad de un juego exige de un guion y de una cohesividad de los que el juego “federado” puede permitirse prescindir.

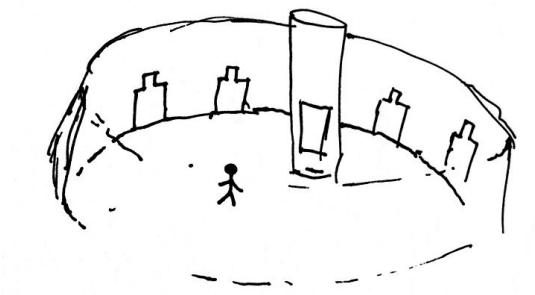


Figura 4.3: Boceto del juego

En el boceto de la figura de arriba se quiere ejemplificar (de forma extremadamente simplista) en qué consistiría este diseño.

- Cada vez que el jugador entre en el juego se encontrará en una suerte de “hall”. El hall estará acotado por paredes con un número determinado de puertas.
- Estas puertas conducen a los distintos niveles del juego. Cada puerta corresponde a una lección diferente sobre redes y telemática. El jugador no tiene que superar una lección (un nivel, una zona) para acceder a la siguiente, sino que puede elegir qué quiere aprender indistintamente. Por supuesto, se podría vetar la entrada a una zona hasta que supere una concreta. Idealmente, cada nivel al que se accede contaría con varias fases que van incrementando en dificultad.
- Al superar estas zonas, se desbloquea un “manual” acerca de lo aprendido en esa sala. Este manual puede ser consultado en un monitor localizado en el centro del hall. Gracias a esto, se podría repasar rápidamente lo aprendido en niveles anteriores desde un solo lugar.

Esta forma de acceder a los niveles es similar a la que siguen los videojuegos de la saga *Crash Bandicoot* (2, 3, *La venganza de Cortex...*), donde existe una sala de “descanso” desde la que elegir cuál será la siguiente fase a jugar.

Abstrayendo esta idea algo más, no es más que un menú estático desde donde elegir el nivel (juegos de corte más “clásico” como *Super Meat Boy* utilizan este patrón) salvo que gozando de una interacción más directa y natural con el jugador, integrándolo más.

Existen dos aproximaciones al modo en el que estos niveles se conectan con el simulador de redes:

- Por un lado, podría existir **un proyecto de GNS3 por cada nivel** y/o fase. Aunque mucho más estructurado y por ende posiblemente más sencillo de gestionar, es necesario establecer conexión con el servidor de GNS3 por cada nivel para recopilar la información del mismo. Esto se traduce en tiempo. Además, el servidor de GNS3 no registra el proyecto de GNS3 a menos que este se abra manualmente desde GNS3 en una sesión. Más tiempo.
- La otra solución pasa por crear **un solo proyecto** para todo el juego. Sería necesario desplegar todos los aparatos que vayan a ser utilizados en él, incrementando altamente los recursos que el sistema utiliza. Para paliar este último problema existen dos opciones:
  1. Encender los aparatos que vayan a ser necesitados en el nivel a jugar y cerciorarse de que el resto permanece apagado.
  2. Reconfigurar los aparatos que vayan a ser utilizados para que sus propiedades se correspondan a lo que se necesita para el respectivo nivel.

De entre estos dos acercamientos al problema, quizás el primero sea más simple, pero el arranque de cada nodo no es inmediato. El segundo entraña una mayor dificultad ingenieril y mayor propensión al error aunque la configuración de los aparatos conlleve menos tiempo.

Sin embargo, aunque todas estas ideas pueden sonar realmente interesantes, el juego final desarrollado no ha podido alcanzarlas. En el siguiente capítulo, donde se detalla la integración real de lo expuesto en este capítulo, se comprobarán cuáles han sido las dificultades encontradas en el camino que han frenado de una forma u otra el prometedor escenario inicial.



## Capítulo 5

# Integración

Trazado el esquema del trabajo a realizar, el siguiente es lógicamente llevarlo a cabo. Las soluciones empleadas para todo el proceso será lo que componga este capítulo.

### 5.1. Desarrollo de la API

Si bien en la sección 4.1 ya se habló de la estructura con la que nuestra API contaría, en esta ocasión se contará con todo detalle el modo en el que esta ha sido desarrollada. Se describirán los puntos más importantes de cada una de las clases así como el modo en que fueron originados. Naturalmente, no se pretende explicar todo el contenido, pues no es su propósito. Se evitará así explicar en muchos casos métodos y propiedades privadas para centrarnos en aquellas públicas.

Para finalizar se explicará la relación existente entre las clases con ayuda de un diagrama UML así como la forma en la que estas han sido compiladas para ser unificadas como librería.

Todas estas clases conforman un único **namespace** o espacio de nombres. Conviene recalcar que la API ha sido enteramente desarrollada desde cero.

#### 5.1.1. GNS3sharp

##### Constructor

El constructor de **GNS3sharp** es sin duda uno de los elementos más importantes de toda a API. ¿Por qué? Tendrá la responsabilidad de conectarse al servidor de GNS3, recibir todos los datos de un cierto proyecto que solicitemos, procesarlos y guardarlos de tal forma que sean útiles. Su cabecera

se muestra justo a continuación:

Código 5.1: Cabecera del constructor de GNS3sharp

```
public GNS3sharp(string _projectId, string _host = "
    localhost", ushort _port = 3080)
```

Cosas que serán necesarias entonces para inicializarlo:

- **ID del proyecto:** cada proyecto de GNS3 tiene un ID asociado que el servidor guarda junto a su referencia. Más adelante, en la subsección 5.1.5, veremos cómo no es necesario conocer el ID del proyecto sino que con el nombre del mismo será más que suficiente.
- **Host:** la dirección del equipo donde el servidor está alojado. Por defecto se toma `localhost`; se supone que la mayor parte de las veces se encontrará en el mismo equipo desde el que se utiliza la API.
- **Puerto:** además de la dirección del servidor, es necesario conocer el puerto en el que está montado. GNS3 determina el 3080 por defecto.

De acuerdo, ¿y qué hace exactamente con estos tres parámetros?

1. Crea la cadena de texto de la URI donde está el recurso asociado a los nodos del proyecto. En esta dirección existe únicamente un JSON con toda la información sobre él. Se instancia un cliente web y **se descarga el recurso como cadena de texto**.
2. Hay que **deserializar el JSON**. Este paso no es en absoluto trivial, ya que los métodos de *Json.NET* son incapaces de extraer los datos que necesitamos directamente. Así que, valiéndonos de las herramientas en forma de clases que nos ofrece, lo hacemos manualmente.

Código 5.2: Deserialización de JSON

```
// JSON array object
JSONArray jsonArray = JSONArray.Parse(json);
Dictionary<string,object> tempDict = new Dictionary<
    string, object>();

// Variables in which store the JSON info temporaly
string name; object value;
if (jsonArray.HasValues){
    foreach (JsonObject j0 in jsonArray.Children<JsonObject>
        >()) {
        foreach (JProperty jP in j0.Properties()) {
            name = jP.Name;
            value = (object)jP.Value;
            tempDict.Add(name, value);
        }
    }
}
```



```
// The last key of every node
if (jP.Name.Equals(lastKey)) {
    // If we do not copy the content of the
    // dictionary into another
    // we will be copying by reference and
    // erase the content once
    // we 'clear' the dict
    Dictionary<string, object> copyDict =
        new Dictionary<string, object>(
            tempDict);
    dictList.Add(copyDict);
    tempDict.Clear();
}
}
}
```

Sin entrar mucho al detalle, lo que hace es parsear el objeto como objeto de tipo `JArray` y luego este se discretiza por cada elemento de esa cadena. Cada elemento representa a un nodo. Se recorre a su vez cada subelemento que lo conforma, que no son más que sus pares *llave-valor*.

Los datos que se han extraído se guardan en una lista de diccionarios de par `<string,object>`. Se usa la clase genérica `object` porque el tipo del valor asociado a la clave varía.

3. Se hace lo mismo para los enlaces. El proceso es similar.
4. A partir de los objetos extraídos de la deserialización del JSON, se **crean las instancias representantes** de los nodos del proyecto. Existe un problema de cierta gravedad en esto: en el JSON no existe ningún parámetro que explicita de que tipo de nodo estamos hablando. Es decir, que no podemos conocer directamente con qué aparato concreto estamos tratando.

La solución que nosotros hemos tomado para sortear este problema es el añadir una etiqueta al nombre del nodo en el momento de la creación de la red en GNS3. Por ejemplo, si el nodo es un *VPC* (nodo predefinido y propio del simulador), su nombre sería de la forma “[VPC]NombreDelNodo”. Será necesario entonces definir una etiqueta por cada tipo de aparato a utilizar.

Sin embargo, sigue existiendo un problema de peso en todo esto: no conocemos el tipo de cada nodo antes del tiempo de ejecución (*runtime*, en inglés) del código. En otras palabras, hasta el momento de la descarga y el análisis del JSON es imposible saber con qué tipo de nodos estamos lidiando, con lo que es a su vez imposible escribir el constructor que se va a utilizar. Recordemos que nuestra intención es

usar una clase por cada modelo de nodo concreto. Por supuesto, se podría crear una sentencia condicional en la que, dependiendo de la etiqueta, llevara al constructor de una clase u otra. Sin embargo, requeriría de muchas líneas de código y sería necesario añadir más cada vez que se introduzca una nueva clase de modelo de aparato en la API. La solución pasa entonces por lo que en programación se conoce como *reflexión*. Poniéndolo en términos puramente técnicos: “inspeccionar los metadatos y el código compilado en tiempo de ejecución se llama reflexión” [8].

Código 5.3: Instanciación de los nodos

```
Type classType; int i = 0;
try{
    foreach(Dictionary<string, object> node in JSON){
        try{
            Console.WriteLine($"Gathering information
                                for node #{i}... ");
            // Assign a class or another depending on
            // the node
            classType = Aux.NodeType(node["name"].
                                      ToString());
            listOfNodes[i] = (Node)Activator.
                              CreateInstance(
                                  classType,
                                  node["console_host"].ToString(),
                                  ushort.Parse(node["console"].ToString()
                                                  ),
                                  node["name"].ToString(),
                                  node["node_id"].ToString(),
                                  GetNodeListOfPorts(node)
                              );
            nodesByName.Add(listOfNodes[i].Name,
                             listOfNodes[i]);
            nodesByID.Add(listOfNodes[i].ID,
                           listOfNodes[i]);
            i++;
        } catch(Exception err1){
            Console.Error.WriteLine(
                "Impossible to save the configuration
                 for the node #{0}: {1}",
                i.ToString(), err1.Message
            );
        }
    }
} catch(Exception err2){
    Console.Error.WriteLine(
        "Some problem ocured while saving the nodes
         information: {0}",
        err2.Message
    );
    listOfNodes = null;
}
```

```
}
```

Con esto en mente pues, tomamos el tipo de la clase asociada al aparato mediante la etiqueta que ya hemos mencionado y usamos el método `Activator.CreateInstance()` para instanciar el objeto. Únicamente requiere los metadatos del tipo representante (la clase) del nodo (representados a su vez por la clase `System.Type`) y los parámetros que el constructor de la clase necesita.

Añadimos la instancia a una lista donde se guardan todos los objetos representantes de los nodos. Esta propiedad se verá más adelante.

La obtención de las interfaces que cada nodo posee así como de cuáles están libres y cuáles están usadas por cierto enlace requiere de más trabajo que no se considera necesario explicar aquí.

5. Es ahora el momento de instanciar los enlaces a través de la información extraída previamente. Aunque el problema que vimos con los nodos no se va a dar aquí, la obtención de los enlaces y sus parámetros tampoco es fácil. La principal dificultad aparece, una vez más, cuando se trata con las interfaces de los nodos.

Código 5.4: Matcheo entre los enlaces y las interfaces de los nodos

```
List<Dictionary<string, object>> dictList = null;
try{
    dictList = DeserializeJSONList(nodesJSON, "
        port_number");
} catch (Exception err){
    Console.Error.WriteLine(
        "Some problem occurred while trying to gather
        information about the nodes connect to the
        link: {0}",
        err.Message
    );
}

if (dictList.Count > 0){
    // Iterates through the JSON dictionary
    foreach (Dictionary<string, object> nodeTemp in
        dictList){
        // Iterates through the nodes the link connects
        foreach (Node node in link.Nodes){
            if (node != null && node.ID.Equals(nodeTemp
                ["node_id"].ToString())){
                // Search for the port that matches the
                found one
                var foundPort = node.Ports.Where(
                    x => (
                        x["adapterNumber"].ToString()
                        == nodeTemp["adapter_number"]
```

```

        ].ToString() &&
        x["portNumber"].ToString() ==
        nodeTemp["port_number"].
        ToString()
    )
);
// If exists, add the link into the key
// "link" of the ports list
// of dictionaries of the node
if (foundPort.Count() > 0) foundPort.
    First()["link"] = link;
    }
}
}
}

```

Una vez localizada la sección relacionada con los nodos en el diccionario que contiene la información de los enlaces extraída del JSON, se deserializa y se hace un barrido por entre esos nodos. Hecho esto, se busca entre los nodos que ya tenemos almacenados aquel que posea la misma ID que el del nodo sobre el que estamos barriendo. Si se encuentra, se busca la interfaz del mismo que dicte el nodo del barrido. De encontrarse, el puerto (usado aquí como sinónimo de interfaz) del nodo que teníamos almacenado guardará la información del enlace que contiene todos esos nodos que se están analizando. Es bastante confuso, sí.

El método principal que se encarga de la extracción de los enlaces, `GetLinks()`, se verá ayudado por un par de funciones declaradas localmente. Estas funciones locales aparecen por vez primera en C#7.

Se guardan todos estos enlaces como lista en otra de las propiedades que se verán más adelante.

6. Finalmente, se añade a cada nodo la información de los enlaces a los que está conectado.

## Propiedades

- **ProjectID, Host y Port:** propiedades que se toman directamente de los parámetros que el constructor necesitaba.
- **NodesJSON y LinksJSON:** diccionarios que contienen los JSON descargados desde el servidor una vez han sido parseados. Por lo general esta propiedad no tendría porque ser usada por un usuario que no esté desarrollando la API, pero se mantiene como **public** por si hay algún caso en el que sí.

- **Nodes y Links:** posiblemente las propiedades más importantes de la clase. Son listas que contienen los objetos que representan los nodos y enlaces, respectivamente, del proyecto.

## Métodos

La mayor parte de los métodos de esta clase son privados, pues son usados internamente como subrutinas de otros métodos más grandes. Sin embargo podemos encontrar algunos accesibles desde fuera de la clase:

- **StartNode() y StopNode():** activan/desactivan un nodo del proyecto. Esto se consigue haciendo uso del método POST de REST hacia la URI correspondiente al nodo. En el código se lleva a cabo mediante la clase `System.Net.Http.HttpClient`, que provee las herramientas suficientes para enviar y recibir datos de un recurso web.

Código 5.5: Activación/desactivación de un nodo

```
// First part of the URL
string URLHeader = $"http://{host}:{port}/v2/projects/{
    projectID}/nodes";

// Pack the content we will send
ByteArrayContent byteContent = null;
try{
    string content = JsonConvert.SerializeObject(new
        Dictionary<string, string> { { "", "" } });
    byteContent = new ByteArrayContent(System.Text.
        Encoding.UTF8.GetBytes(content));
    byteContent.Headers.ContentType = new
        MediaTypeHeaderValue("application/json");
} catch(JsonSerializationException err){
    Console.Error.WriteLine("Impossible to serialize
        the JSON to send it to the API: {0}", err.
        Message);
}

if (byteContent != null){
    try{
        responseStatus = HttpClient.PostAsync(
            $"{URLHeader}/{node.ID}/{status}",
            byteContent
        ).Result.IsSuccessStatusCode;
    } catch(HttpRequestException err){
        Console.Error.WriteLine("Some problem occurred
            with the HTTP connection: {0}", err.Message)
            ;
        responseStatus = false;
    } catch(Exception err){
```

```
        Console.Error.WriteLine("Impossible to {2} node  
                                {0}: {1}", node.Name, err.Message, status);  
        responseStatus = false;  
    }  
    } else{  
        responseStatus = false;  
    }  
}
```

- **StartProject()** y **StopProject()**: activan/desactivan todos los nodos del proyecto. Se intentó paralelizar el activado/desactivado de los nodos sin resultado.
- **SetLink()**: pasándole los objetos representantes de dos nodos del proyecto, es capaz de descubrir cuáles de sus interfaces están vacías y, de haber, crea un enlace entre ellas. También se consigue mediante POST. Actualiza **Links** y otra serie de parámetros tras la inserción. Es un método de cierta longitud (algo más de 100 líneas sin contar otras definidas fuera de las que hace uso).
- **EditLink()**: método polimórfico, pues dependiendo de si su parámetro es un **Link** o dos **Node** su comportamiento varía. Se parece a **SetLink()** pero este hace PUT y no POST a la URI. Ambas formas del método llaman a un método interno de **Link**. Tal y como su nombre indica, edita un enlace, permitiendo hacer variar los parámetros del mismo.
- **RemoveLink()**: con la misma base polimórfica que el anterior. Elimina un enlace del proyecto de GNS3 con un DELETE e inmediatamente a su representante objeto.
- **GetNodeByName()** y **GetNodeByID()**: dado un nombre o un identificador, respectivamente, devuelve el objeto representante de tal nodo.

### 5.1.2. Node

#### Constructor

El constructor principal de **Node** solo es llamado desde **GNS3sharp**. Es bastante sencillo: asigna parámetros básicos que la instancia de **GNS3sharp** toma del servidor. Entre ellos se encuentra la dirección del nodo. Gracias a ella y mediante otro método interno de la clase, se crea un cliente TCP y se establece un flujo de conexión para el envío y recepción de mensajes.

Código 5.6: Establecimiento de la conexión con el nodo

```
protected (TcpClient Connection, NetworkStream Stream)  
Connect(int timeout = 10000){
```

```
// Network endpoint as an IP address and a port number
IPEndPoint address = new IPEndPoint(IPAddress.Parse(this
    .consoleHost), this.port);
// Set the socket for the connection
TcpClient newConnection = new TcpClient();
// Stream used to send and receive data
NetworkStream newStream = null;
try{
    newConnection.Connect(address);
    newStream = newConnection.GetStream();
    newStream.ReadTimeout = timeout; newStream.
        WriteTimeout = timeout;
} catch(Exception err){
    Console.Error.WriteLine("Impossible to connect to
        the node {0}: {1}", this.name, err.Message);
    newConnection = null;
}
return (newConnection, newStream);
}
```

Especial atención a este método, que devuelve una tupla (recordemos, también nuevo en C#7) en lugar de una simple variable.

Para que solo clases que pertenecen a esta librería puedan hacer uso del constructor, se ha aplicado el modificador de clase **internal**, el cual solo permite llamadas desde el espacio de nombres donde esté definido. Encapsulamiento en estado puro. La API no permite la creación de nodos nuevos así que se ha optado por ocultar este método del desarrollador final.

No obstante, sí que se incluye un constructor-clonador. Se trata de un constructor de clase cuyo parámetro de entrada es otro **Node**, de forma que se replica enteramente en una nueva instancia.

Código 5.7: Clonador de nodos

```
public Node(Node clone){
    this.consoleHost = clone.ConsoleHost; this.port = clone.
        Port;
    this.name = clone.Name; this.id = clone.ID; this.ports =
        clone.Ports;
    this.tcpConnection = clone.TCPConnection; this.netStream
        = clone.NetStream;
}
```

## Propiedades

- **ConsoleHost** y **Port**: dirección y puerto donde el nodo está ubicado. Gracias a estos datos podremos establecer una conexión con el aparato.

- **Name y ID:** nombre e identificador único del nodo. El nombre debería comenzar por *[<EtiquetaDelNodo>]* para que **GNS3sharp** sea capaz de construir el objeto con la clase asociada a tal aparato.
- **Ports:** interfaces que posee el nodo. Es un diccionario de tres llaves: “adapterNumber”, “portNumber” y “link”. Los dos primeros son parámetros que GNS3 asigna a las interfaces. El último guarda la referencia del enlace asociado a la interfaz en caso de que esté siendo utilizada y null si no.
- **LinksAttached:** lista de **Link**. Referencias a los que el nodo está conectado.

## Métodos

Esta clase destaca por sus dos métodos principales: **Send()** y **Receive()**.

- **Send():** haciendo uso del flujo establecido durante la creación del objeto, se envía una cadena de texto previamente convertida a bytes.

Código 5.8: Envío de mensajes a un nodo

```
byte[] out_txt = Encoding.Default.GetBytes($"{message}\n");  
this.netStream.Write(buffer: out_txt, offset: 0, size: out_txt.Length);  
this.netStream.Flush();
```

- **Receive():** algo más complejo que **Send()**, hace también uso del canal establecido, aunque necesita de pasos adicionales para gestionar correctamente la información que se recibe.

## Destructor

Esta es la única clase de la librería que hace uso de un destructor personalizado. Los destructores ayudan a definir las sentencias que serán ejecutadas junto antes de que el objeto en cuestión sea destruido (se desreferencie).



### 5.1.3. Link

Constructor

Propiedades

Métodos

### 5.1.4. Herederos de Node

### 5.1.5. Clases auxiliares

### 5.1.6. Compilación

## 5.2. Desarrollo del videojuego

### 5.2.1. El proyecto de GNS3

Aparatos usados

Despliegue

### 5.2.2. El proyecto de Unity

Materiales

Creación del juego



# Bibliografía

- [1] Pavol Návrat. Hierarchies of programming concepts: Abstraction, generality, and beyond. *Sigse Bulletink*, 26(3):17–28, 1994. Available at <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=187397>.
- [2] Google maps platform. Available at <https://cloud.google.com/maps-platform/?hl=es>.
- [3] Roy Thomas Fielding. *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. PhD thesis, University of California, 2000. Available at [https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/rest\\_arch\\_style.htm](https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/rest_arch_style.htm).
- [4] Esolang, the esoteric programming languages wiki. Available at [https://esolangs.org/wiki/Hello\\_world\\_program\\_in\\_esoteric\\_languages](https://esolangs.org/wiki/Hello_world_program_in_esoteric_languages).
- [5] Joseph Hocking. *Unity in action*. Manning, 2000.
- [6] Ignacio Roldán Etcheverry. Introducing c# in godot. Disponible en <https://godotengine.org/article/introducing-csharp-godot>.
- [7] Armina Mkhitarian. Why is c# among the most popular programming languages in the world? Disponible en <https://medium.com/sololearn/why-is-c-among-the-most-popular-programming-languages-in-the-world-ccf26824ffcb>.
- [8] Joseph Albahari and Ben Albahari. *C# 7.0 in a Nutshell*. O'Reilly Media, 2018.
- [9] Microsoft. *Clase WebClient*, Octubre 2016. Disponible en [https://msdn.microsoft.com/es-es/library/system.net.webclient\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/system.net.webclient(v=vs.110).aspx).
- [10] Microsoft. *What's new in C# 7.0*, Diciembre 2016. Disponible en <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/whats-new/csharp-7#out-variables>.



