



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE  
ESCUELA DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE LA COMPUTACION

## Criptografía y Seguridad Computacional - IIC3253

### Tarea 2

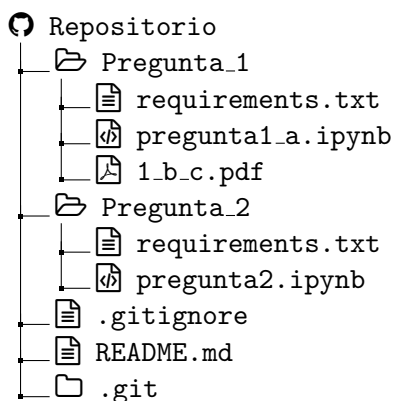
Plazo de entrega: Martes 6 de junio, 20hrs

## Instrucciones

Cualquier duda sobre la tarea se deberá hacer en los *issues* del repositorio del curso. Si quiere usar alguna librería en sus soluciones debe preguntar primero si dicha librería está permitida. El foro es el canal de comunicación oficial para todas las tareas.

**Configuración inicial.** Para esta tarea utilizaremos *github classroom*. Para acceder a su repositorio privado debe ingresar al siguiente link, seleccionar su nombre y aceptar la invitación. El repositorio se creará automáticamente una vez que hagas esto y lo podrás encontrar junto a los repositorios del curso. Para la corrección se utilizará Python 3.10.

**Entrega.** Al entregar esta tarea, su repositorio se deberá ver exactamente de la siguiente forma:



Deberá considerar lo siguiente:

- El archivo `requirements.txt` dentro de la carpeta de una pregunta deberá especificar todas las librerías que se necesitan instalar para ejecutar el código de su respuesta a dicha pregunta. Este archivo debe seguir la especificación de Pip, es decir se debe poder ejecutar el comando `pip install -r requirements.txt` suponiendo una versión de Pip mayor o igual a 22.0 que apunte a la versión 3.10 de Python. Si su respuesta no requiere librerías adicionales, este archivo debe estar vacío (pero debe estar en su repositorio).

- Se recomienda utilizar tipado para las variables y funciones en Python.
- La solución de cada problema de programación debe ser entregada como un Jupyter Notebook (esto es, un archivo con extensión `ipynb`). Este archivo debe contener comentarios que expliquen claramente el razonamiento tras la solución del problema, idealmente utilizando *markdown*. Más aun, su archivo deberá ser exportable a un módulo de Python utilizando el comando de consola

```
jupyter nbconvert --to python preguntaX.ipynb
```

Este comando generará un archivo `preguntaX.py`, del cual se deben poder importar las funciones y clases que se piden en cada pregunta. Por ejemplo, luego de ejecutar este comando, se debe poder importar desde otro archivo Python (ubicado en el mismo directorio) la clase `Receiver` simplemente con `from pregunta1_a import Receiver`.

- Para cada problema cuya solución se deba entregar como un documento (en este caso la preguntas 1), usted deberá entregar un archivo `.pdf` que, o bien fue construido utilizando  $\text{\LaTeX}$ , o bien es el resultado de digitalizar un documento escrito a mano. En caso de optar por esta última opción, queda bajo su responsabilidad la legibilidad del documento. Respuestas que no puedan interpretar de forma razonable los ayudantes y profesores, ya sea por la caligrafía o la calidad de la digitalización, serán evaluadas con la nota mínima.

## Preguntas

1. En esta pregunta usted va a implementar y demostrar la corrección de un esquema criptográfico que utiliza claves más simples que las de RSA, y que además es aleatorizado, produciendo con una alta probabilidad cifrados distintos si un mensaje es encriptado más de una vez.

Para definir este esquema, necesitamos introducir un poco de notación. Dado un número natural  $n$ , sea  $\#Bit(n)$  el número de bits en la representación binaria de  $n$ . Además, dados dos números naturales  $n, m$  tales que  $m > 0$ , sea

$$\text{Div}(n, m) = \left\lfloor \frac{n-1}{m} \right\rfloor.$$

Entonces, la clave pública  $P_A$  y la clave secreta  $S_A$  de un usuario  $A$  son generadas de la siguiente forma.

- (a) Genere dos números primos distintos  $P$  y  $Q$  tales que  $P \geq 3$ ,  $Q \geq 3$  y  $\#Bit(P) = \#Bit(Q)$ . Sea  $N = P \cdot Q$  y  $\phi(N) = (P-1) \cdot (Q-1)$ .
- (b) Defina  $P_A = N$  y  $S_A = \phi(N)$ .

La función de cifrado  $Enc_{P_A}$  es definida de la siguiente forma. Dado un mensaje  $m \in \{0, \dots, N-1\}$ , se genera al azar un número  $r \in \{1, \dots, N-1\}$  tal que  $MCD(r, N) = 1$ , y se construye

$$Enc_{P_A}(m) = ((N+1)^m \cdot r^N) \bmod N^2$$

La función de descifrado  $Dec_{S_A}$  es definida de la siguiente forma. Sea  $B \in \{0, \dots, N-1\}$  el inverso de  $\phi(N)$  en módulo  $N$ , vale decir,  $B$  satisface la condición

$$\phi(N) \cdot B \equiv 1 \bmod N$$

Entonces dado un texto cifrado  $c \in \{0, \dots, N^2-1\}$ , se define

$$Dec_{S_A}(c) = [\text{Div}(c^{\phi(N)} \bmod N^2, N) \cdot B] \bmod N$$

Responda las siguientes preguntas, en las cuales va a implementar el esquema criptográfico y va a demostrar que es correcto.

- (a) Implemente el esquema criptográfico definido en esta pregunta completando el Jupyter notebook `pregunta1.a.ipynb`. Para que su pregunta sea considerada correcta, su notebook deberá correr de principio a fin habiendo modificado exclusivamente las funciones marcadas con `#### POR COMPLETAR`. En particular, se evaluará con un programa externo la implementación de sus clases `Receiver` y `Sender`.
- (b) Demuestre que  $MCD(N, \phi(N)) = 1$ . Nótese que de esto se deduce la existencia del número  $B$ , que es el inverso de  $\phi(N)$  en módulo  $N$ .
- (c) Dado  $m \in \{0, \dots, N-1\}$ , demuestre que:

$$Dec_{S_A}(Enc_{P_A}(m)) = m$$

2. En esta pregunta deberá escribir un programa que verifique la autenticidad de un Json Web Token (JWT) en sus variantes HS256 y RS256. Para esto, deberá escribir un Jupyter notebook siguiendo las instrucciones explicadas arriba que al menos defina la siguiente función:

```
def validate_jwt(jwt: str, key: str) -> bool:
    """
    Arguments:
        jwt: a well-formed Json Web Token
        key: the key to verify the validity of the jwt
    Returns:
        valid: is the jwt is valid w.r.t the provided key?
    """
```

Su notebook podrá definir funciones auxiliares que ayuden a simplificar la lectura. Deberá estar explicado y ser fácil de seguir para una persona que entiende los contenidos del curso.

**Importante:** Su notebook sólo podrá importar las siguientes librerías externas

```
from hashlib import sha256
from base64 import urlsafe_b64decode, urlsafe_b64encode
```

Para validar un JWT que usa HS256, el parámetro key es un string que representa la llave a usar en HMAC-SHA256. Por ejemplo el siguiente JWT es válido con la llave IIC3253.

```
eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJjbGFzcyI6IkkNyaXB0b2dy
YWbDrWEgeSBTZWd1cm1kYWQgQ29tcHV0YWNPb25hbCI6InVuaXZlcnNpdHkiO
iJQVUMgQ2hpbGUifQ.Cn1AACqINaUTbAJuh_V4lBcr9X4dRp8FUX9sGDkX-Ss
```

Para un JWT que usa RS256, el parámetro key es una llave pública RSA en formato PKCS#8 para validar la firma RSA contenida en el JWT. Por ejemplo el JWT

```
eyJhbGciOiJSUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJ1YXZlcnNpdHkiOiJQVUMgQ2hpbGUifQ.CmoMizX-_E2Ugd7-JDThCfrXTJbg38W
La13HipmnA8oAUh1yG9IU1n_klJkmPIT3knxrmrJMXxh6gTC0ylLQfKSQI7pHsYUr
-y0d5gL7XpnT3stv0tYD0383cBnrL5X8EV011UxJJenYG5Qr4uVG7Msg-4fUJbTqT
R2t0Jx2UQ2pfi_jxgfg6lAjSLK9TygntJJ-eJV0Q8IipVYnqtCxBS-0IXekalyjpB
Hksf_ibiJtPrMJI3Kvyj3dwrETth8c4yg2IIh22uoJHrJArNk3xPfeSsasZT0ixfM
E8Mlnkd4HwpbcNZZ1-FpsBPbPWHKynZXptq8uS65PxKmTggg8kA
```

es válido con la llave pública

```
-----BEGIN PUBLIC KEY-----
MIIBIjANBgkqhkiG9w0BAQEFAAOCAQ8AMIIBCgKCAQEAu1SU1LfVLPPhCozMxH2Mo
4lg0EePzNm0tRgeLezV6ffAt0gunVTLw7onLRnrq0/IzW7yWR7QkrmBL7jTKEn5u
+qKhbwKfBstIs+bMY2Zkp18gnTxKLxoS2tFczGkPLPgizskuemMghRniWaoLcyeh
kd3qqGElvW/VDL5AaWTgOnLVkjRo9z+40RQzuVaE8AkAFmxZzow3x+VJYKdjykJ
Oit9wCS0DRTXu269V264Vf/3jvredZiKRkgwll9xNAwxXFg0x/XFw005UWVRIdkg
cKWTjpBP2dPwVZ4WVC+9aGVd+Gyn1o0CLelf4rEjGoXbAAEgAqeGUxrcIlbjXfbc
mwIDAQAB
-----END PUBLIC KEY-----
```