

## FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE BLOCKCHAINS

### Homework 3

Depto. de Computación, UBA, 2do. Cuatrimestre 2025

9/10/25

Student: Juan DElia

Due: 21/10/25, 15:00 hs

#### Instructions

- Upload your solution to Campus; make sure it's only one file, and clearly write your name on the first page. Name the file '<your last name>\_HW3.pdf.'

If you are proficient with  $\text{\LaTeX}$ , you may also typeset your submission and submit in PDF format. To do so, uncomment the "`%\begin{solution}`" and "`%\end{solution}`" lines and write your solution between those two command lines.

- Your solutions will be graded on *correctness* and *clarity*. You should only submit work that you believe to be correct.
- You may collaborate with others on this problem set. However, you must **write up your own solutions** and **list your collaborators and any external sources (including ChatGPT and similar generative AI chatbots)** for each problem. Be ready to explain your solutions orally to a member of the course staff if asked.

This homework contains 4 questions, for a total of 65 points.

## 1. Bitcoin transactions:

- (a) (7 points) Describe the mechanism used in the actual Bitcoin application that the miners follow in order to insert transactions into a block. Would the Consistency (aka Persistence) and Liveness properties we saw in class, as well as the  $V, I, R$  functions have to be modified to capture the actual mechanism? Elaborate.

**Solution:** Para describir el mecanismo que usan los mineros de Bitcoin para agregar un bloque use los siguientes recursos:

En la seccion 5 del paper

El sitio de developers de Bitcoin

El mecanismo se resume en:

1. Nuevas transacciones son transmitidas en la red a los nodos.
2. Cada nodo recolecta transacciones para formar un bloque, sumando la public key a donde se debe enviar el coinbase.
3. Cada nodo intenta resolver el PoW para el target correspondiente
4. Cuando un nodo encuentra una PoW transmite el bloque en la red para todos los nodos (la primera tx es la coinbase)
5. Los nodos de la red aceptan el bloque si todas las transacciones son validas usando las merkle root y verificando que no haya double spending
6. Los nodos expresan su aceptacion de un bloque poniendose a crear el siguiente bloque de la cadena, usando como "hash del bloque anterior" el hash del bloque que aceptan

No es necesario cambiar Consistency (If an honest miner reports a transaction tx in a block that is "deep enough" in the ledger, then tx will be reported in the same position by any honest miner in the same position in the ledger, from this round round on) ni Liveness (If all honest miners attempt to insert a transaction in the ledger, then, after u rounds, all honest miners will report it as stable). Ambas tienen sentido en el contexto del mecanismo real de bitcoin. Por como funciona el mecanismo la idea es que mediante PoW se mantenga la persistencia de las transacciones, ya que se extienden las cadenas donde se usa "esfuerzo" si la mayoría de los nodos son honestos todos van a ver la misma cadena, o al menos el mismo prefijo (los ultimos bloques son mas volatiles).

Tampoco hace falta cambiar Liveness. Cualquiera puede enviar transacciones en la red y van a ser eventualmente incluidas.

No nos interesa cambiar la idea de las funciones, sirven para expresar la esencia del mecanismo:

- V:  $V(\langle x_1, \dots, x_m \rangle)$  is true if and only if the vector  $V(\langle x_1, \dots, x_m \rangle)$  is a valid ledger.  $V(\langle x_1, \dots, x_m \rangle) \in L$

Esto nos interesa hacerlo. Los nodos de la red cuando verifican que todas las transacciones del ledger sean validas con las merkle root, verificando que no haya double spending, verificando que las firmas sean validas y que quienes hayan hecho transacciones tengan los fondos suficientes.

- R: If  $V(\langle x_1, \dots, x_m \rangle) = \text{True}$ , the value  $R(C)$  is equal to  $V(\langle x_1, \dots, x_m \rangle)$ ; undefined otherwise.

Nos interesa, en la aplicacion de blockchain cumple el proposito de listar las transacciones de los bloques.

- I:  $I(st, C, round, INPUT())$  operates as follows: if the input tape contains (Insert,  $v$ ), it parses  $v$  as a sequence of transactions and retains the largest subsequence  $x' \leq v$  that is valid with respect to  $x_C$  (and whose transactions are not already included in  $x_C$ ). Finally,  $x = tx_0x'$  where  $tx_0$  is a neutral random nonce transaction. The state  $st$  remains always  $\epsilon$ .

En este paso la definicion tambien es parecida y nos importa esta funcionalidad. Describe que selecciona un conjunto de transacciones, habria que agregar que agrega la coinbase.

(b) (3 points) Describe the purpose of a *coinbase* transaction.

**Solution:**

La transaccion coinbase es la primera de cada bloque y representa la recompensa que se le va a pagar a quien mine el bloque. Esta transaccion crea bitcoins, sirve no solo como recompensa sino como forma de poner moneda en circulacion, ya que no hay una autoridad central que lo haga.

## 2. Proofs of work:

- (a) (5 points) Describe the purpose and implementation of the **2x1 PoW** technique.

**Solution:** La idea de implementar 2x1 PoW es lograr consenso soportando  $\frac{1}{2}$  de nodos deshonestos, a diferencia de las soluciones que vimos que toleraban  $\frac{1}{3}$ .

Conceptualmente el problema es que el "backbone protocol" no asegura suficiente chain-quality. No sabemos si suficientes bloques provienen de nodos honestos.

Para garantizar que la cantidad de transacciones sea equivalente al "hashing power" de cada uno se puede implementar PoW para "minar" transacciones. Va a haber un doble proceso de minería, uno para generar bloques y otro para insertar transacciones. Así soporta hasta un poder de hashing menor a  $\frac{1}{2}$  de los participantes maliciosos.

En líneas generales se divide en dos etapas:

- **Operation:** En cada ronda las "parties" corren dos protocolos en paralelo. El primero es  $\Pi_{PL}$  que mantiene el ledger de transacciones y requiere  $q$  queries al oráculo  $H_0(\cdot)$ . El segundo proceso es el de "transaction production  $\Pi_{tx}$ " que continuamente genera transacciones que satisfacen  $(H_1(ctr, G(\text{nonce}, v)) < T) \wedge (ctr \leq q)$  El protocolo hace  $q$  queries a  $H_1(\cdot)$
- **Termination:** Después de la ronda  $L$ , una partie recolecta todas las transacciones únicas que hay en los primeros  $O(k)$  bloques y retorna el valor que mas aparece de entre las transacciones

El problema de tener dos subprocesos es que un adversario podría mover su poder de cómputo de uno al otro.

Este protocolo que usa dos subprocesos de PoW se puede juntar en un único proceso que usa un único oráculo  $H(\cdot)$  con un total de  $q$  queries por ronda. Se puede conseguir cambiando la estructura de los PoWs de pares de la pinta  $\langle w, ctr \rangle$  a  $\langle w, ctr, label \rangle$

A grandes rasgos es como el algoritmo que conocemos de PoW pero en cada iteración verifica si resolvió una PoW y/o la otra para un mismo target. Cuando verifica si  $H(ctr, h)$  es menor al Target lo hace tanto para ese hash como para el reverso (Una Pow para minar bloques y otra PoW para transacciones). De esta manera verifica dos PoW **independientes** en un único intento.

(El algoritmo está en la página 36 de The Bitcoin Backbone Protocol: Analysis and Applications)

- (b) (7 points) Let  $T_1$  and  $T_2$  be the target values in 2x1 PoW, and  $\kappa$  the size of the

hash function's output. What relation should they satisfy for the technique to work? Elaborate.

**Solution:** Tiene que valer que  $T_1 = T_2 = T$  y  $t > k/2$  tomando:

Sea  $U$  una variable aleatoria uniforme en el rango sobre los enteros  $[0, 2^k)$  y  $T$  un entero tal que:  $T = 2^t$ . Para  $t > k/2$  los eventos  $U < T$  y  $[U]^R < T$  son independientes y ambos tienen probabilidad  $T \cdot 2^{-k}$

$U$  y su reverso son los hashes que explique en el inciso anterior que buscamos para el mismo Target

Dem:

Se puede ver que cada evento sucede con probabilidad  $T \cdot 2^{-k}$ . La conjunción de los eventos es elegir un entero  $U$  tal que  $U < T$  y  $U^R < T$ . Como  $T = 2^t$  la probabilidad condicional de  $U < T$  deja los  $t$  bits menos significativos de  $U$  de manera uniformemente aleatoria y fija el resto de los  $k - t$  bits.

El caso para  $U^R$  es análogo. Quedan los  $t$  bits mas significativos de manera uniformemente aleatoria y los  $k - t$  restantes quedan fijos.

El evento  $U^R < T$  tiene probabilidad  $2^{t-(k-t)/2^t} = T \cdot 2^{-k}$  en el espacio condicional, así que ambos eventos son independientes.

- (c) (8 points) Design and argue correctness of an  $\ell \times 1$  PoW scheme. Note that such a scheme would enable an  $\ell$ -parallel blockchain. What properties of the blockchain or ledger application would, if any, benefit from a parallel blockchain? Elaborate.

**Solution:**

Con un  $\ell \times 1$  PoW scheme se podrían hacer  $\ell$  PoW's en paralelo, si queremos seguir con un esquema como el de  $2 \times 1$  donde hay que hacer PoW para transacciones y bloques, esto implicaría que podríamos hacer  $\ell/2$  de PoW para bloques y  $\ell/2$  de PoW para transacciones.

De esta manera se beneficiaría la propiedad de chain-growth ya que por cada ronda se podrían minar mas bloques. También se beneficiaría liveness ya que también se minarían mas transacciones por bloque y sin perder chain-quality ya que mantenemos el esquema de  $2 \times 1$ .

La correctitud de este esquema es igual al de  $2 \times 1$ , con un unico target podríamos definir eventos disjuntos tal que un atacante no pueda usar mas computo del que tiene a disposicion para hacer una PoW.

3. **Strong consensus:** We saw how the Bitcoin backbone protocol can be used to solve the *consensus* problem (aka *Byzantine agreement*). In the *strong consensus* problem, the *Validity* condition is strengthened to require that the output value be one of the honest parties' inputs—this property is called *Strong Validity*. (Note that this distinction is relevant only in the case of non-binary inputs.)

- (a) (5 points) What should be the assumption on the adversarial computational power (similar to the “Honest Majority Assumption”) for Strong Validity to hold?

<b>Solution:</b> Pagina 37 del paper
--------------------------------------

- (b) (5 points) State and prove the Strong Validity lemma.

4. **Smart contract programming:** In this assignment you will create your **own custom token**. Your contract should implement the public API described below:

- **owner:** a public payable address that defines the contract's "owner," that is, the user that deploys the contract
- *Transfer(address indexed from, address indexed to, uint256 value):* an event that contains two addresses and a uint256
- *Mint(address indexed to, uint256 value):* an event that contains an address and a uint256
- *Sell(address indexed from, uint256 value):* an event that contains an address and a uint256
- **totalSupply():** a view function that returns a uint256 of the total amount of minted tokens
- **balanceOf(address account):** a view function returns a uint256 of the amount of tokens an address owns
- **getName():** a view function that returns a string with the token's name
- **getSymbol():** a view function that returns a string with the token's symbol
- **getPrice():** a view function that returns a uint128 with the token's price (at which users can redeem their tokens)
- **transfer(address to, uint256 value):** a function that transfers *value* amount of tokens between the caller's address and the address to; if the transfer completes successfully, the function emits an event *Transfer* with the sender's and receiver's addresses and the amount of transferred tokens and returns a boolean value (*true*)
- **mint(address to, uint256 value):** a function that enables *only the owner* to create value new tokens and give them to address to; if the operation completes successfully, the function emits an event *Mint* with the receiver's address and the amount of minted tokens and returns a boolean value (*true*)
- **sell(uint256 value):** a function that enables a user to sell tokens for wei at a price of *600 wei per token*; if the operation completes successfully, the sold tokens are removed from the circulating supply, and the function emits an event *Sell* with the seller's address and the amount of sold tokens and returns a boolean value (*true*)
- **close():** a function that enables *only the owner* to destroy the contract; the contract's balance in wei, at the moment of destruction, should be transferred to the owner's address
- **fallback** functions that enable anyone to send Ether to the contract's account
- **constructor** function that initializes the contract as needed

You should implement the smart contract and deploy it on the course's Sepolia Testnet. Your contract should be as secure and gas efficient as possible. After deploying your contract, you should buy, transfer, and sell a token in the contract.

Your contract should implement the above API **exactly as specified**. *Do not* omit implementing one of the above variables/functions/events, do not change their name or parameters, and do not add other public variables/functions. You can define other private/internal functions/variables, if necessary.

You should provide:

- (a) (5 points) A detailed description of your high-level design decisions, including (but not limited to):
- What internal variables did you use?
  - What is the process of buying/selling tokens and changing the price?
  - How can users access their token balance?

**Solution:** Mis variables internas son las siguientes:

- owner: Esta variable de tipo address payable sirve para guardar la address de quien es propietario del contrato. Es necesario tener este registro ya que es el unico que puede mintear tokens y destruir el contrato.
- supply: Un uint256 que guarda cuantos tokens hay actualmente en circulacion. Es necesario para totalSupply() y es un uint256 porque es el tipo de dato que retorna la funcion.
- name y symbol: son strings necesarios para guardar el nombre y simbolo del contrato para usar en getName() y getSymbol() respectivamente.
- price: Un uint128 que es necesario para la funcion getPrice(). Se usa en sell por ejemplo para calcular cuanto eth enviarle a un usuario que vende sus tokens. Su precio es fijo.
- balances: Es un mapping de address a uint256 para llevar el registro de cuantos tokens tiene cada usuario.

No hay una manera directa de comprar tokens, la API dice que solo el owner puede mintear tokens y enviarlos a los usuarios y no hay ninguna funcion de compra implementada. Podria haber un proceso de compra paralelo entre los usuarios pero de eso no se encarga el contrato. La venta si esta en la API, un usuario puede ejecutar sell y vender sus tokens a 600 wei cada uno (siempre que el contrato tenga fondos!).



El precio del token esta fijo en el contrato, si un usuario quiere venderlo va a poder hacerlo por 600 wei.

Los usuarios pueden acceder a su balance usando la funcion `balanceOf(address account)` que retorna el balance de la address ingresada.

El modo de uso seria algo asi:

- Se crea el contrato con un owner (el constructor es payable asi que lo puede inicializar con eth).
- Los datos del contrato son conocidos: nombre, simbolo, suministro.
- Solo el owner puede crear tokens, otorgandoselos a todo usuario que el quiera.
- Los usuarios pueden transferirse esos tokens todo lo que quieran entre ellos.
- Los usuarios pueden vender sus tokens en el contrato a cambio de eth siempre que el contrato tenga los fondos suficientes.
- El contrato puede recibir eth mediante fallback que es payable.
- Solo owner puede destruir el contrato, recibiendo todos los eth que se encuentren dentro.

Nota: En el codigo hay un require comentado en la funcion mint que obliga al contrato a tener eth suficientes para respaldar esos tokens para intercambiarse por el eth equivalente. Esa seria una forma de hacer que todo usuario que tenga token sepa que lo va poder vender por su equivalente en eth. Como la consigna dice "implement the above API exactly as specified" y no dice nada al respecto lo deje comentado. No tener esta precaucion no necesariamente esta mal, funciona como un banco que quiza no tiene toda la liquidez necesaria para otorgar a los clientes. Pero si quisieramos el comportamiento mencionado bastaria con descomentar el require en la funcion de mint. (Puede pasar que aunque el contrato tenga mucho eth de repente muchos usuarios quieran retirar sus tokens y no alcancen los eth para todos)

(b) (5 points) A detailed gas evaluation of your implementation, including:

- The cost of deploying and interacting with your contract.
- Techniques to make your contract more cost effective.

(c) (5 points) A thorough listing of potential hazards and vulnerabilities that can occur in the smart contract and a detailed analysis of the security mechanisms that can mitigate these hazards.

**Solution:** Voy a listar algunos posibles peligros que fui encontrando y como los mitigue:

- Re-entrancy: En sell use transfer que deberia ser segura en este sentido. Ademas antes de enviar los eth correspondientes reste los tokens correspondientes al usuario y antes de transferir se verifica que el balance de tokens sea mayor a la cantidad a vender, asi que aunque llegara a haber reentrancy es seguro.
- Privilegios: Necesitamos que solo el owner pueda mintear y destruir el contrato. Para que no lo pueda hacer cualquiera se usan requires en mint() y close() que verifican que quien invoque a las funciones sea el owner.
- Como menciones en el inciso a) podria no haber suficiente eth para que todos vendan sus tokens al precio indicado si todos decidieran vender a la vez. Esto no esta mitigado pero como ya explique es tan sencillo como agregar un require en mint que verifique que el eth del contrato respalde al supply total. No lo considero una vulnerabilidad pero si es algo a tener en cuenta si se quisiera un comportamiento diferente

- (d) (5 points) The transaction history of the deployment of and interaction with your contract.
- (e) (5 points) The code of your contract.

